

UNIVERSIDADE DE LISBOA

INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO



**AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE HIDROGEOGRÁFICA  
À RECARGA AQUÍFERA EM MEIOS POROSOS.  
ESTUDO DE HIDROGEOGRAFIA.**

**Valter Manuel Sanches Albino**

MESTRADO EM GEOGRAFIA FÍSICA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

2010



UNIVERSIDADE DE LISBOA



INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO



**AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE HIDROGEOGRÁFICA  
À RECARGA AQUÍFERA EM MEIOS POROSOS.  
ESTUDO DE HIDROGEOGRAFIA.**

**Valter Manuel Sanches Albino**

MESTRADO EM GEOGRAFIA FÍSICA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

**Dissertação orientada pela  
Professora Doutora Ana Ramos Pereira**

2010



## Resumo

A tese tem como tema de investigação a avaliação da susceptibilidade hidrogeográfica de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos em meios porosos para aplicação no Ordenamento do Território e Planeamento Ambiental, no contexto da Reserva Ecológica Nacional. Pretende-se que seja um contributo científico-técnico para a evolução da arte sobre estudos hidrogeográficos, sendo que no caso da avaliação da susceptibilidade hidrogeográfica à ocorrência de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos é um processo que até à data é pouco consensual.

A dissertação é composta por 5 capítulos, nomeadamente, o capítulo 1 onde são definidos os objectivos e caracterizada a área de estudo; o capítulo 2, onde é apresentado o estado da arte, desde a importância da protecção dos recursos hídricos ao enquadramento legal do tema; o capítulo 3, onde são apresentados os métodos, técnicas e cartografia utilizados e a utilizar para analisar os parâmetros do modelo de dados, aqui também apresentado, nomeadamente o método multicritério e método estatístico; o capítulo 4, onde se executa o modelo de dados, numa primeira fase do método multicritério e numa segunda, o método estatístico e sua avaliação; no capítulo 5 efectua-se uma análise crítica aos métodos utilizados. Em anexo, encontram-se figuras e quadros, incluindo um mapa de topónimos de nomes citados no texto, relatórios de sondagens ao subsolo e registos de imagens de entidades geomorfológicas, e um pequeno glossário de termos e expressões utilizadas no texto. A avaliação hidrogeográfica encontra-se sustentada por um modelo de dados com um conjunto de factores essenciais, relacionados com: a geologia, geomorfologia, pedologia e hidrologia. São construídos dois mapas de susceptibilidade, assentes no método multicritério, onde não existe divisão em classes, e que por isso é mais rígido, e o método estatístico, através do valor informativo, que possui divisão em classes, e que por isso é mais estratégico, e permite avaliar o sucesso do mesmo modelo de dados.

A área de estudo situa-se no concelho de Salvaterra de Magos, numa área geográfica de descarga e recarga aquífera (uma das mais importantes do território nacional) mas também de grande vulnerabilidade à contaminação. A investigação apresentada evidencia que 46,8% do espaço da área de estudo está abrangida por áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos. Este valor encontra-se por defeito, pois não inclui áreas impermeabilizadas. As áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos constituem espaços únicos de que dependem diversas actividades económicas e o abastecimento de água potável para consumo humano, em muitos dos concelhos da Bacia Cenozóica do Baixo Tejo, incluindo o concelho de Salvaterra de Magos. Por esse motivo, o Ordenamento do Território municipal deve consubstanciar a preservação deste recurso territorial também consignado no art.º 10.º do RJIGT, através do uso, ocupação e transformação do território regrada e de forma sustentada.

*Palavras-chave:* áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos, Reserva Ecológica Nacional, Hidrogeografia, Ordenamento Biofísico do Território.

## Abstract

This thesis is about the evaluation of the hydrogeographical prone to the occurrence of strategic areas of protection and aquifers recharge in porous environment applied to Spatial and Environmental Planning, in the Ecological National Reserve framework. It is intended to be a scientific-technician contribution for the evolution of the art on hydrogeographical studies, and in the case of the evaluation of the hydrogeographical prone of strategic areas of protection and aquifers recharge, which process is not very consensual until now.

This dissertation have 5 chapters, in the chapter 1 are defined the goals and characterized the study area; in the chapter 2 it is presented the state of the art, concerning the importance of the hydrological resources and the legal framework; in the chapter 3, are presented the methods, technique and cartography used in order to analyze the parameters of the data model, presented also here; in the chapter 4, the data model is executed, in a first phase with the multicriterium method and on a second phase, with the statistical method and its evaluation; in the chapter 5 it is made a critical analysis of the used methods. In volume of enclosures, there are figures and tables, including a map of toponymy mentioned in the text, reports of lithological surveys to the and images of some geomorphological units, and a small glossary of terms and expressions used in the text. The hydrogeographical evaluation is sustained by a data model based in a group of essential factors, related with: the geology, geomorphology, soils and hydrology. Two prone maps are built, based in the multicriterium method, where classes division doesn't exist, and that it is more rigid, and the statistical method, through the informative value, which possesses classes divisions, that it is more strategic, and it allows to evaluate the success of the same data model.

The Salvaterra de Magos county is located in a discharge and recharge region (one of the more important in the country) but also with great vulnerability to groundwater contamination. The study area shows that 46,8% are strategic areas of protection and aquifers recharge. This value is underestimated, because it doesn't include impervious areas. The strategic areas of protection and aquifers recharge areas are unique to the development of several economical activities and to the provisioning of drinkable water for human consumption, in many of the Lower Tagus Cenozoic Basin counties, including Salvaterra de Magos. For these reasons, the local Spatial Planning public activity should aim the preservation of this territorial resource also consigned in art.º 10.º of RJIGT, through the use, occupation and transformation of the territory in a sustained way.

*Key words:* strategic areas of protection and aquifers recharge, Ecological National Reserve, Hydrogeography, Biophysical Spatial Planning.

## Résumé

Le sujet de recherche concerne l'évaluation de la susceptibilité hydrogéographique d'espaces stratégiques de protection et de recharge d'aquifères dans des milieu poreux pour application à l' Aménagement du Territoire et Planification Environnementale, dans le contexte de la Réserve Écologique Nationale. On prétend que ce soit une contribution scientifique-technique pour l'évolution de l'art en ce qui concerne les études hydrogéographiques, car l'évaluation de la susceptibilité hydrogéographique à l'occurrence d'espaces stratégiques de protection et de recharge d'aquifères est jusqu'à présent controversée.

La thèse a 5 chapitres notamment, le chapitre 1 où sont définits les objectifs et la caractérisation du domaine d'étude; le chapitre 2, où est présent l'état de l'art, dès l'importance de la protection des ressources hydriques jusqu'à l'encadrement légal du thème; le chapitre 3, où sont présente les méthodes, techniques et sont analysé les paramètres du modèle de données présenté ici; le chapitre 4, où est accomplit le modèle de données, dans une première phase par la méthode multicritère et dans une deuxième, par la méthode statistique ainsi que ses évaluation; dans le chapitre 5 est fait une analyse critique des méthodes utilisés. En volume d'annexes, sont présenté figures et tables, une carte de toponymes cités dans le texte, des rapportes de sondages et des registres d'images unités géomorphologiques et un petit glossaire avec des mots et expressions utilisés dans le texte. L'évaluation hydrogéographique est soutenue par un modèle de données avec un ensemble de facteurs essentiels, rapportés par la géologie, la géomorphologie, la pédologie et l'hydrologie. Deux cartes de susceptibilité sont présentées, basé sur la méthode multicritère. Cette méthode, où il n'y a pas de division en classes, est plus rigide, tandis que la méthode statistique, permet d'évaluer le succès du même modèle de données.

La municipalité de Salvaterra de Magos est une région de décharge et recharge aquifère (une des plus importantes du territoire national) mais aussi de grande vulnérabilité à la contamination. La recherche présenté ici, a mis en évidence que 46,8% de l'espace est stratégique pour la protection et la recharge d'aquifères. Cette valeur se retrouve par défaut, car elle n'a pas les espaces imperméabilisés. Les espaces stratégiques de protection et la recharge d'aquifères sont d'espaces uniques de qui dépendent de diverses activités économiques et d'eau potable pour la consommation humaine dans de nombreux comtés du Bassin Cénozoïque du Tage Inférieur, y compris la municipalité de Salvaterra de Magos. Pour cette raison, l'Aménagement du Territoire municipale doit préserver cette ressource territoriale également consacré à l'art.º 10.º de RJGT par l'utilisation, l'occupation et la transformation du territoire de manière soutenable.

*Mots-clés:* espaces stratégiques de protection et de recharge d'aquifères, Réserve Écologique Nationale, Hydrogéographie, Aménagement Biophysique du Territoire.



# Índice

Resumo.....	i
Abstract.....	ii
Résumé.....	iii
Índice.....	v
Índice de Figuras.....	vi
Índice de Quadros.....	viii
Índice de Equações.....	ix
Índice de Anexos.....	x
Índice de Fotos (anexos).....	xi
Agradecimentos.....	xiii
CAPÍTULO I – Os objectivos e a área de estudo.....	1
1.1 As questões de investigação.....	1
1.2 O estudo de caso.....	6
1.2.1 Administração territorial, população e actividades económicas.....	6
1.2.2 Uso e ocupação do território.....	9
1.2.3 Litologia e estrutura.....	13
1.2.4 Geomorfologia.....	17
1.2.4.1 Caracterização do relevo.....	17
1.2.4.2 Morfometria.....	24
1.2.4.3 Geomorfologia e hidrologia subterrânea.....	29
1.2.5 Fitogeografia.....	31
1.2.6 Tipos de solos.....	32
1.2.6 Hidrologia.....	34
1.2.6.1 Caracterização hidrodinâmica dos aquíferos (água subterrânea ou zona saturada): circulação, energia e pressão.....	34
1.2.6.1.1 Sistemas aquíferos.....	34
1.2.6.1.1.1 Caracterização hidrodinâmica do sistema aquífero: Aluviões do Tejo (T7).....	35
1.2.6.1.1.2 Caracterização hidrodinâmica do sistema aquífero: Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda (T3).....	37
1.2.7 Águas subterrâneas: recarga de aquíferos e vulnerabilidade à contaminação.....	47
1.2.8 Hidroclimatologia.....	51
1.2.8.1 Ritmo das temperaturas, pluviosidade e vento.....	51
1.2.8.2 Balanço hidrológico.....	53
1.2.8.3 Classificação e regime climático.....	56
CAPÍTULO II – O estado da arte.....	59
1 Recursos hídricos e problemática da sua protecção.....	59
1.1 A importância da protecção dos recursos hídricos no contexto euro-mediterrâneo.....	59
1.2 Recursos hídricos em Portugal continental.....	60
1.2.1 Disponibilidade de recursos hídricos.....	62
1.2.2 Os recursos hídricos nas regiões transfronteiriças luso-espanholas.....	64
1.2.3 Enquadramento temático das áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos.....	66
2 Estudos e métodos de avaliação de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos.....	71
CAPÍTULO III – Metodologia, técnicas e cartografia.....	77
1 Modelo metodológico.....	77
2 Enquadramento cartográfico.....	78
3 Recolha e tratamento dos dados.....	79
3.1 Litologia e estrutura.....	79
3.1.1 Parametrização da condutividade hidráulica em meios rochosos.....	80
3.1.1.1 Valores de condutividade hidráulica padrão.....	80
3.2 Geomorfologia.....	82

3.2.1 Pré-processamento da morfometria e identificação morfológica .....	82
3.3 Tipos de solos .....	88
3.3.1 Integração em sistema de informação geográfica .....	88
3.3.2 Parametrização da condutividade hidráulica subsuperficial (água do solo ou zona vadosa) .....	92
3.3.2.1 Valores de condutividade hidráulica padrão .....	92
3.3.3 Parâmetros da água no solo (zona insaturada) .....	93
3.3.4 Água utilizável na área de estudo .....	97
3.3.5 Grupos hidrológicos de solos .....	99
3.4 Hidrologia .....	105
3.4.1 Revisão teórica do movimento da água em meios saturados e não saturados .....	105
3.4.1.1 Zona saturada, zona não saturada/insaturada e zona de tensão saturada/capilar .....	107
3.4.1.2 Estado energético da água no solo .....	110
3.4.2 Cartografia do hidrodinamismo dos sistemas aquíferos .....	112
4 Usos e Ocupação do Território .....	118
4.1 Determinação da densidade do edificado .....	118
5 Proposta metodológica .....	118
1 Método multicritério .....	120
2 Método estatístico .....	120
Capítulo IV – Avaliação da susceptibilidade hidrogeográfica à ocorrência de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos em meios porosos .....	123
1 Método multicritério .....	123
1.1 As variáveis de entrada .....	123
1.1.1 Classes de condutividade hidráulica do subsolo .....	123
1.1.2 Entidades hidrogeomorfológicas (aluviões e cabeceiras de vale) .....	124
1.1.3 Classes de grupos hidrológicos de solo .....	125
1.2 A cartografia da susceptibilidade e da vulnerabilidade dos aquíferos .....	126
1.2.1 Avaliação da susceptibilidade à ocorrência de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos .....	127
1.2.2 Avaliação da vulnerabilidade hidrogeográfica dos aquíferos .....	128
2 Método estatístico .....	129
2.1 Cálculo do valor informativo e das classes de susceptibilidade .....	129
2.2 Validação do modelo de dados do método estatístico do valor informativo .....	132
CAPÍTULO V – Discussão .....	135
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS .....	143
Componente escrita .....	143
Componente cartográfica .....	153

## Índice de Figuras

Figura 1- Subsistemas do sistema ambiental. Entre parêntesis referem-se as componentes ambientais de cada um deles. (Ext. de RAMOS PEREIRA <i>et al.</i> , 1997, p. 5) .....	3
Figura 2 – Modelo de dados simplificado para determinar a susceptibilidade hidrogeográfica à ocorrência de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos .....	5
Figura 3 - Localização da área de estudo na Região Hidrográfica do Tejo (nome de concelho a sublinhado). .....	6
Figura 4 - Distribuição da população por subsecção estatística em 2001. ....	8
Figura 5 – Ocupação e uso do território em 2006 (CLC). ....	10
Figura 6 – Classes de ocupação e uso do território e densidade edificatória associada, em 2006. ....	11
Figura 7 – Classes de água utilizável (AGUT) pelas plantas. ....	12
Figura 8 – Enquadramento geológico da Bacia Cenozóica do Baixo Tejo (BCBT). Unidades morfoestruturais e paleogeográficas da Península Ibérica, segundo Lautensach (1932), Lotze (1945), Juliver <i>et al.</i> (1974) e Ramos Pereira (1985, 1988). (Ext. de MARTINS, 1999, p. 1-A) .....	13

Figura 9 – Unidades litoestratigráficas .....	15
Figura 10 – Coluna litoestratigráfica esquemática .....	16
Figura 11 – Sector de estudo (contorno a cheio) sobreposta à geomorfologia da parte central e nordeste da Bacia do Baixo Tejo (Adaptado de MARTINS, 1999, p. 100-A) .....	18
Figura 12 – Mapa geomorfológico com os principais níveis de terraços do baixo vale do Tejo. (Ext. de MARTINS, 1999, p. 300-A) .....	20
Figura 13 – Perfil geomorfológico da serra de Almeirim para o v.g. Junco, cruzando as ribeiras de Muge e Lamarosa. (Ext. de MARTINS, 1999, p. 136-A) .....	21
Figura 14 – Perfil dos terraços do Tejo na área de Foros de Almeirim. (Ext. de MARTINS, 1999, p. 300-B) .....	21
Figura 15 – Perfil dos terraços da margem esquerda do Tejo a E de Salvaterra de Magos. (Ext. de MARTINS, 1999, p. 300-B) .....	21
Figura 16 – Perfil dos terraços da margem esquerda do Tejo na área de Glória do Ribatejo. (O perfil não chega a cruzar o terraço T4) (Ext. de MARTINS, 1999, p. 302-A) .....	21
Figura 17 – Mapa Geomorfológico .....	23
Figura 18 – Curva hipsométrica .....	26
Figura 19 – Rectângulo equivalente .....	26
Figura 20 – Repartição geográfica das classes de altitude .....	27
Figura 21 – Repartição geográfica de classes de declive .....	27
Figura 22 – Repartição da exposição de vertentes por octante .....	28
Figura 23 – Rede de drenagem classificada .....	30
Figura 24 - Densidade de drenagem .....	31
Figura 25 – Unidades dos tipos de solos ao nível da categoria taxonómica Ordem .....	33
Figura 26 – Sondagens em séries sedimentares dos furos de captação da C.M.S.M. ....	40
Figura 27 – Perfis geológicos transversais ao rio Tejo: a) à latitude da freguesia de Marinhais; b) à latitude da freguesia de Foros de Salvaterra. (Ext. de SIMÕES, 1998) .....	42
Figura 28 - Superfície piezométrica do sistema aquífero cenozóico (somente Miocénico e Pliocénico) do Baixo Tejo (exclui subunidade aquífera Plisto-holocénica - T7 (Ext. de SIMÕES, 1998, p. 153) .....	43
Figura 29 - Modelo conceptual de fluxo na Bacia do Tejo em regime natural apresentado por Mendonça e Cabral, 2003, <i>in</i> MENDONÇA, 2009) .....	43
Figura 30 – Isopiezas do sistema aquífero T3 .....	44
Figura 31 – Depressão piezométrica na área de Almeirim do sistema aquífero T3 (Ext. de MENDONÇA, 2009, f. 26, <i>in</i> MENDONÇA e CABRAL, 2003) .....	45
Figura 32 – Isopiezas do sistema aquífero T7 .....	45
Figura 33 – Profundidade do topo do sistema aquífero T3 .....	46
Figura 34 – Profundidade do topo do sistema aquífero T7 .....	47
Figura 35 – Zona vulnerável n.º 5 (Tejo) .....	50
Figura 36 – Classes de vulnerabilidade à poluição (Ext. de fig. C.3.10, INAG, 2000) .....	51
Figura 37 – Ritmo mensal de temperaturas na estação climatológica de Salvaterra de Magos (1951-73) .....	52
Figura 38 – Ritmo pluviométrico na estação climatológica de Salvaterra de Magos (1951-73) .....	52
Figura 39 – Frequência e velocidade do vento na estação climatológica de Salvaterra de Magos (1951-73) .....	52
Figura 40 – Representação gráfica do balanço hidrológico (método de Thornthwaite e Matter), com cursos normais de precipitação, evapotranspiração potencial e real, e disponibilidades normais de água no solo, para a estação climatológica de Salvaterra de Magos (valores médios de 23 anos: 1951-1973) .....	55
Figura 41 – Representação gráfica dos meses secos de acordo com o critério de Gausson para a estação climatológica de Salvaterra de Magos (valores médios de 23 anos: 1951-1973) .....	58
Figura 42 – NUT III de âmbito básico e adjacentes .....	65
Figura 43 – Hidrogeomorfologia e hidrogeologia em corte transversal de um vale. (Ext. de MCHARG, 1992, p. 59) .....	67
Figura 44 – Água enquanto valor estratégico do OVT. (Ext. de RCM n.º 64-A/2009, de 06/08) .....	69
Figura 45 – Planta da R.E.N.- Situação existente – Proposta de exclusão, Abril de 1996 (ref.ª A.8.2, possui várias componentes ambientais da R.E.N.) do P.D.M.S.M. ....	72
Figura 46 – Determinação de limiares para considerar áreas de máxima infiltração no contexto dos Planos de Bacias Hidrográficas estudados (Ext. de OLIVEIRA e LOBO FERREIRA, 2002, p. 8) .....	73
Figura 47 – Níveis de abstracção relevantes para um modelos de dados em SIG. (Adaptado de LONGLEY <i>et al.</i> , 2001, p. 184) .....	77
Figura 48 – Etapas de elaboração de um mapa de susceptibilidade. (Ext. de GARCIA <i>et al.</i> , 2007, p. 266) .....	78
Figura 49 – Enquadramento cartográfico da área de estudo .....	79

Figura 50 – Cabeceira de vale tipo cartografada por sete geomorfólogos e hidrólogos. A a C são explicados no texto. (a) Esboço característico em planta. (b) Secção ao longo da cabeceira de vale ao longo da linha pontuada em (a). (Ext. de TRIBE, 1992a, p. 449).	85
Figura 51 – Posição da cabeceira de vale relativamente ao canal fluvial. Identificação de cabeceira de vale (A), cabeceira de canal fluvial gradual (B) e cabeceira de canal fluvial abrupto (C). Áreas a cinzento indicam bacias de drenagem de ordem zero que drenam para dentro das cabeceiras dos canais fluviais. (Ext. de EPA, 2006, p. 40, de modificado de Dietrich e Dunne, 1993).	85
Figura 52 – Localização dos registos de imagem de diversas entidades geomorfológicas.	87
Figura 53 - Distribuição geográfica dos erros de georreferenciação das folhas 31-A e 31-C da Carta de Solos de Portugal na escala 1/50K. Os símbolos graduados (círculos) representam os pontos de controlo utilizados na interpolação espacial. As manchas de cores representam as classes de erro.	90
Figura 54 - Distribuição geográfica dos erros de georreferenciação das folhas 31-A e 31-C da Carta de Solos de Portugal na escala 1/50K, na área de estudo. As frequências relativas encontram-se em percentagens, sobre cada mancha de classe de erro.	91
Figura 55 – Diagrama triangular para a classificação da textura do solo utilizando: classes de textura adoptadas pela classificação portuguesa, vide GOMES e SILVA (1962) e adoptadas pelo S.R.O.A. (1970).	97
Figura 56 – Quantidade de água disponível por tipo de solo.	99
Figura 57 – Localização dos pontos de água de abastecimento público da C.M.S.M. (furos verticais).	114
Figura 58 – Localização dos pontos de medição piezométrica.	116
Figura 59 – Fluxograma da metodologia para a definição de cartografia da susceptibilidade hidrogeográfica de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos em meios porosos.	119
Figura 60 – Repartição geográfica da condutividade hidráulica do subsolo.	123
Figura 61 – Repartição geográfica das entidades hidrogeomorfológicas aluviões e cabeceiras de vale.	124
Figura 62 – Repartição geográfica dos grupos hidrológicos de solos.	126
Figura 63 – Áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos (Método multicritério).	127
Figura 64 – Vulnerabilidade aquífera.	128
Figura 65 – Susceptibilidade hidrogeográfica à ocorrência de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos (Método estatístico).	131
Figura 66 – Curva de sucesso do método do valor informativo do modelo de dados do método estatístico para a definição da susceptibilidade hidrogeográfica à ocorrência de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos.	132
Figura 67 – Mapa de susceptibilidade do método estatístico, a (com divisão em classes), e mapa das áreas de REN em vigor, b, para a área de estudo.	140

## Índice de Quadros

Quadro 1 - População Residente e variação intercensitária 1991 – 2001.	7
Quadro 2 - Indicadores de população por município, 2007 e 2008. (Ext. de I.N.E., 2009).	7
Quadro 3 - População residente empregada por sectores de actividade, 2001. (Baseado em I.N.E., Censos; B.G.R.I., 2001).	9
Quadro 4 – Nomenclatura do mapa de uso e ocupação do território em 2006 e profundidade aproximada das raízes das plantas. (Fonte dos dados da profundidade de enraizamento: Ext. de OLIVEIRA, <i>et al.</i> (1997, p. 137); OLIVEIRA e LOBO FERREIRA (2002, p. 7).	11
Quadro 5 - Trabalhadores por conta de outrem nos estabelecimentos por município, segundo o sector de actividade (C.A.E. Rev. 3), 2007. (Extraído de I.N.E., 2009).	13
Quadro 6 – Características das formações litostratigráficas.	16
Quadro 7 – Principais níveis embudidos a jusante de Chamusca. (Ext. de MARTINS, 1999, pp. 308-309).	19
Quadro 8 – Classes altimétricas da área de estudo.	25
Quadro 9 – Piezometria do sistema aquífero T7. (Ext. de AGRIPRO-AMBIENTE, Consultores S. A.).	36
Quadro 10 – Características do sistema aquífero T7 (Modificado de: <a href="http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=T7">http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=T7</a> , em 11/15/2009).	37
Quadro 11 – Características do sistema aquífero T3 (Modificado de: <a href="http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=T3">http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=T3</a> , em 11/15/2009).	39
Quadro 12 – Classificação das fontes de poluição em função de diferentes aspectos (Foster e Hirata, 1991, ext. de MATIAS, 2010, p. 8).	49

Quadro 13 – Balanço hídrico sequencial mensal do solo para a estação climatológica de Salvaterra de Magos (valores médios de 23 anos: 1951-1973), segundo o método Thornthwaite-Matter. ....	54
Quadro 14 – Determinação dos valores do escoamento de superfície (mm ou l.m <sup>-2</sup> ) a partir do balanço hidrológico mensal para a estação climatológica de Salvaterra de Magos (valores médios de 23 anos: 1951-1973).....	55
Quadro 15 – Classificação climática de Thornthwaite e Mather a partir do balanço hidrológico mensal para a estação climatológica de Salvaterra de Magos (valores médios de 23 anos: 1951-1973). ....	57
Quadro 16 - População servida por tipo de origem de água e por Região Hidrográfica em 2008 e 2009. (Extraído de INAG, 2009, 2010. ....	63
Quadro 17 – Critérios de delimitação de áreas de máxima infiltração na REN publicada da área de estudo (concelho de Salvaterra de Magos). (Ext. de C.M.S.M., 1993, pp. 35-36).....	71
Quadro 18 – Cartografia utilizada. ....	78
Quadro 19 - Valores de condutividade hidráulica de rochas (Adapt. de DUNNE e LEOPOLD (1978, p. 206), de acordo com o U. S. Geological Survey Water Supply Papers e outros relatórios).....	80
Quadro 20 - Valores de condutividade hidráulica para vários tipos de subsolo (Ext. de RAMOS, 2009, p. 41, de acordo com Gregory e Walling (1973)).....	81
Quadro 21 – Classes de valores médios de condutividade hidráulica do subsolo. ....	82
Quadro 22 - Fidelidade exigida para a representação planimétrica de pontos bem definidos, expressa através do EMQ, como quantificador do operador de exactidão que caracteriza a proximidade entre as estimativas que o estimador produz e o valor a estimar. ....	89
Quadro 23 – Número de pontos de controlo, erro médio quadrático e erro máximo da georreferenciação das folhas 31-A e 31-C da Carta de Solos de Portugal na escala 1/50K. ....	90
Quadro 24 - Classes de condutividade hidráulica saturada do solo (K <sub>s</sub> ) ....	93
Quadro 25 - Unidades equivalentes do potencial da água no solo. ....	94
Quadro 26 - Propriedades hidrológicas médias do solo classificado em termos de textura. (Ext. de RAWLS e BRAKENSIEK, 1989, e de OLIVEIRA <i>et al.</i> , 1997). ....	96
Quadro 27 – Capacidade utilizável dos solos. ....	98
Quadro 28 - Classes de capacidade utilizável dos solos pelas plantas. ....	99
Quadro 29 – Critérios de determinação de GHS quando um horizonte impermeável à água existe a uma profundidade entre 50 e 100 centímetros, desde a superfície. (Ext. de U.S.D.A., 2009). ....	103
Quadro 30 - Critérios de determinação de GHS quando qualquer horizonte impermeável à água existe a uma profundidade superior a 100 centímetros, desde a superfície (Ext. de U.S.D.A., 2009). ....	103
Quadro 31 - Grupos hidrológicos de solos. ....	103
Quadro 32 - Valores típicos de ascensão capilar da humidade. ....	112
Quadro 33 - Valores típicos de ascensão capilar máxima em terrenos e solos (Ext. CUSTODIO e LLAMAS, 1983, p. 557). ....	112
Quadro 34 – Pontos de água da C.M.S.M (Fonte dos dados: C.M.S.M., 2009). ....	113
Quadro 35 – Pontos de medição piezométrica. (Fonte dos dados: URL: <a href="http://snirh.pt">http://snirh.pt</a> ; consulta em: 16/11/2009; Levantamento de campo). ....	115
Quadro 36 – Profundidade do topo do aquífero confinado (T3) (Fonte dos dados: C.M.S.M., 2009). ....	117
Quadro 37 - Classes de profundidade do topo do aquífero (freático ou confinado). (Modificado de ALLER <i>et al.</i> (1987) citado em OLIVEIRA <i>et al.</i> (1997, p. 175)). ....	117
Quadro 38 – Parâmetros de entrada no modelo de dados. ....	119
Quadro 39 – Agrupamento dos tipos de solos em função dos grupos hidrológicos de solos (GHS). ....	125
Quadro 40 – Valores classificados dos parâmetros em estrutura matricial. ....	130
Quadro 41 – Valores do mapa derivado do método multicritério em estrutura matricial. ....	130
Quadro 42 – Valores classificados dos parâmetros em estrutura matricial, derivados do cruzamento de cada um com o mapa do método multicritério. ....	130
Quadro 43 - Valor informativo da variável <i>i</i> . ....	131

## Índice de Equações

Equação 1 – Balanço do ciclo hidrológico.....	53
Equação 2 – Balanço do ciclo hidrológico simplificado. ....	53
Equação 3 – Aplicação sequencial do balanço do ciclo hidrológico. ....	53
Equação 4 – Regime hídrico sazonal: Índice de aridez. ....	56

Equação 5 – Regime hídrico sazonal: Índice de humidade. ....	56
Equação 6 – Índice hídrico anual. ....	56
Equação 7 – Eficácia térmica no Verão. ....	56
Equação 8 – Densidade de drenagem. ....	86
Equação 9 – Erro médio quadrático. ....	89
Equação 10 - Capacidade utilizável dos solos. ....	94
Equação 11 - Capacidade utilizável dos solos pelas plantas. ....	94
Equação 12 - Capacidade de campo. ....	95
Equação 13 - Estimativa de pF 2,5. ....	95
Equação 14 - Ponto de emurchecimento. ....	95
Equação 15 - Estimativa de pF 4,2. ....	95
Equação 16 - Porosidade de um solo. ....	95
Equação 17 - Porosidade de cada horizonte via laboratório. ....	96
Equação 18 - Densidade aparente. ....	96
Equação 19 - Capacidade de troca catiónica da argila. ....	96
Equação 20 – Energia potencial. ....	105
Equação 21 – Energia cinética. ....	105
Equação 22 – Energia de pressão. ....	105
Equação 23 – Energia total. ....	106
Equação 24 – Energia total constante. ....	106
Equação 25 – Teorema de Bernoulli. ....	106
Equação 26 – Carga hidráulica. ....	106
Equação 27 – Cota piezométrica. ....	107
Equação 28 – Cota piezométrica. ....	108
Equação 29 – Carga hidráulica. ....	108
Equação 30 – Teorema de Bernoulli simplificado. ....	108
Equação 31 – Gradiente hidráulico ou piezométrico. ....	108
Equação 32– Carga hidráulica. ....	109
Equação 33 – Velocidade aparente da água (meio saturado). ....	109
Equação 34 – Conservação da massa. ....	110
Equação 35 - Potencial de água. ....	111
Equação 36 – Elevação capilar média num meio. poroso. ....	112
Equação 37 – Valor informativo da variável <i>i</i> . ....	121
Equação 38 – Valor informativo da unidade de terreno. ....	121
Equação 39 – Curva de sucesso: Rácio 1. ....	122
Equação 40 – Curva de sucesso: Rácio 2. ....	122
Equação 41 – Área abaixo da curva. ....	122

## Índice de Anexos

A.1 - Glossário de termos e expressões. ....	1
A.2 - Topónimos e hidrónimos da área de estudo referenciados na dissertação. ....	12
A.3 - Densidade do edificado por freguesia. ....	13
A.4 - Perfil litostratigráfico do terraço T2 do v. g. Bilrete. (Ext. de MARTINS, 1999, p. 340-A). ....	14
A.5 - Perfil litostratigráfico de Glória do Ribatejo; situado a meio caminho entre Glória do Ribatejo e Muge. (Ext. de MARTINS, 1999, p. 340-C). ....	15
A.6 - Sondagens do terraço de Alpiarça. (Ext. de MARTINS, 1999, p. 336-A). ....	16
A.7 - Localização das sondagens no terraço de Alpiarça. (Ext. de MARTINS, 1999, p. 336-A). ....	16
A.8 - Atributos dos tipos de solo. ....	17
A.9 - Séries sedimentares dos aquíferos nas captações de água da C.M.S.M. ....	20
A.10 - Posicionamento dos tubos ralos das captações de água da C.M.S.M. ....	27
A.11 - Sedimentos atravessados nos pontos de observação. ....	30
A.12 – Registo de imagens de entidades geomorfológicas. ....	39

A.13 – Mapa de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos sobreposto ao mapa das componentes ambientais, da REN publicada, na área de estudo (concelho de Salvaterra de Magos).....	43
A.14 – Medidas preventivas de salvaguarda dos sistemas aquíferos de Salvaterra de Magos, de proibição de operações urbanísticas, acções e ou actividades, incompatíveis com a protecção de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos, com excepção do âmbito territorial afecto aos perímetros urbanos da Planta de Ordenamento na escala 1/25K cujas pormenorizações constam à escala 1/10K. ....	44

## Índice de Fotos (anexos)

Foto 1 - Planície aluvial da rib. <sup>a</sup> de Muge (378/9).....	39
Foto 2 - Planície aluvial da rib. <sup>a</sup> do Vale do Zebro (391/2).....	39
Foto 3 - Planície aluvial da rib. <sup>a</sup> de Magos (391/4).....	39
Foto 4 - Planície aluvial do rio Tejo (391/9).....	39
Foto 5 - Planície aluvial do rio Tejo (377/1).....	39
Foto 6 - Glacis de ablação na ex-RARET (378/2).....	39
Foto 7 - Glacis de ablação, em corte, na ex-RARET (378/3).....	39
Foto 8 – Superfície culminante na Serra de Almeirim (365/1).....	39
Foto 9 - Terraço fluvial T1a (378/4).....	40
Foto 10 - Terraço fluvial T1a (392/7). Salienta-se a cabeceira de vale.....	40
Foto 11 - Terraço fluvial T1a (392/12).....	40
Foto 12 - Terraço fluvial T1a (392/10).....	40
Foto 13 - Terraço fluvial T1a (392/11).....	40
Foto 14 - Terraço fluvial T1a (378/11).....	40
Foto 15 - Terraço fluvial T2 (391/11).....	40
Foto 16 - Terraço fluvial T2 (391/1).....	40
Foto 17 - Terraço fluvial T2 (391/7).....	40
Foto 18 - Terraço fluvial T2 (392/3).....	40
Foto 19 - Terraço fluvial T2 (392/2).....	40
Foto 20 - Terraço fluvial T2 (392/1).....	40
Foto 21 - Terraço fluvial T2 (392/6).....	41
Foto 22 - Terraço fluvial T2 (392/5). Notar entubamento de troço de subfluente de margem direita da rib. <sup>a</sup> do Vale do Zebro. ....	41
Foto 23 - Terraço fluvial T2 (392/9).....	41
Foto 24 - Terraço fluvial T2 (392/8).....	41
Foto 25 - Terraço fluvial T2 (378/1).....	41
Foto 26 - Terraço fluvial T2 (391/8).....	41
Foto 27 - Terraço fluvial T2 (391/5).....	41
Foto 28 - Terraço fluvial T2a (378/12).....	41
Foto 29 - Terraço fluvial T2a (378/13).....	41
Foto 30 - Terraço fluvial T2a (391/12).....	42
Foto 31 - Terraço fluvial T2a (392/4).....	42
Foto 32 - Terraço fluvial T2a (378/5).....	42
Foto 33 - Terraço fluvial T2a (378/10).....	42
Foto 34 - Terraço fluvial T2a (391/3).....	42
Foto 35 - Terraço fluvial T2a (378/7).....	42
Foto 36 - Terraço fluvial T3 (391/6).....	42
Foto 37 - Terraço fluvial T3 (377/3).....	42
Foto 38 - Terraço fluvial T3 (377/2).....	42
Foto 39 - Terraço fluvial T3 (378/8).....	42
Foto 40 - Terraço fluvial T3 (378/6).....	42
Foto 41 - Terraço fluvial T3 (391/10).....	42



## Agradecimentos

A realização desta dissertação de mestrado que me propus concretizar não seria possível realizar sem a abertura do curso de Mestrado em Ordenamento Biofísico do Território, pelo Departamento de Geografia, que por questões relacionadas com o cumprimento de prazos, viria a terminar já integrado no curso de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, sempre sob a orientação científica da Professora Doutora Ana Ramos Pereira, do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, pelo que, penso que deverá ser relevada, neste espaço, a oportunidade concedida e aproveitada.

Ademais, o desenvolvimento da investigação não seria possível sem o interesse e dedicação, decisivos para a conclusão da tese, da Professora Doutora Ana Ramos Pereira, orientadora científica e técnica e do Professor Doutor Eusébio Reis (incansável no esclarecimento de dúvidas sobre Geomorfologia, Hidrologia, Geomática e na abordagem estatística), ambos Geógrafos Físicos professores e investigadores do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa.

À Câmara Municipal de Salvaterra de Magos pela cedência da cartografia topográfica de traço e de imagem e dados das captações de água pública.

Ao Doutor Manuel Mendes Oliveira, Geólogo do Núcleo de Águas Subterrâneas do Departamento de Hidráulica e Ambiente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pela cedência de bibliografia e esclarecimentos imediatos sobre a mesma.

Ao Professor Doutor Carlos Nunes da Costa, Geólogo do centro de Investigação em Geociências Aplicadas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, pela cedência de bibliografia no início da investigação.

Ao Biólogo Duncan Hornby no que se refere ao manuseio do *RivEX+*; à Geóloga Patrícia Santos (Leirisonda - furos e captações de água, Lda.) pelas dicas de funcionamento do *LogPlot*, e à Geógrafa Física Aldina Piedade.

À minha mulher e familiares pelos estímulos pertinentes.



# CAPÍTULO I – Os objectivos e a área de estudo

## 1.1 As questões de investigação

Constitui objectivo geral da investigação a avaliação da susceptibilidade hidrogeográfica de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos em meios porosos para aplicação no Ordenamento do Território e Planeamento Ambiental, no contexto da Reserva Ecológica Nacional.

Por outro lado, visto que o novo regime jurídico da reserva ecológica nacional (RJREN) publicado pelo DL n.º 166/2008, de 22/08, clarifica o conceito subjacente à criação das áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos, esta dissertação deverá constituir um contributo para discussão.

Terminologicamente, importa caracterizar o que se entende por susceptibilidade. De acordo com GARCIA e ZÊZERE (2003, p. 300), «entende-se por susceptibilidade (S) a probabilidade espacial de ocorrência de um determinado fenómeno numa dada área com base nos factores condicionantes do terreno, independentemente do seu período de recorrência<sup>1</sup>». A propósito da cartografia de risco, mas de incêndio, VERDE (2007, p. 13) apresenta o conceito de susceptibilidade (um dos componentes da definição de risco) como: «A susceptibilidade de um território – ou de um pixel – expressa as condições que esse território apresenta para a ocorrência e potencial de um fenómeno danoso...». Sobre o mesmo conceito, VERDE e ZÊZERE (2007, p. 8), informam que: «A susceptibilidade expressa a propensão de uma dada área ou unidade territorial para ser afectada pelo fenómeno estudado, avaliada a partir das propriedades que lhe são intrínsecas. Uma unidade territorial será mais ou menos susceptível conforme seja mais afectada ou potencie a ocorrência e desenvolvimento do fenómeno.». Transportando o quadro conceptual específico destes autores para esta dissertação, poderá dizer-se que as variáveis passivas como as que derivam da morfologia, solos e subsolo, definem se um território é mais ou menos susceptível/propenso ao fenómeno hidrogeográfico de infiltração, percolação e recarga de aquíferos, contribuindo melhor ou pior para que este se verifique, mas sempre condicionado pelo uso e ocupação do território, entendida como variável activa, no que se refere à impermeabilização da superfície terrestre.

A vulnerabilidade também deve ser tomada em consideração na delimitação de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos. A propósito do conceito de vulnerabilidade, OLIVEIRA *et al.* (1997, p. 173), referem que «Lobo-Ferreira e Cabral (1991) propuseram que o conceito de vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas fosse definido em Portugal, de acordo com as conclusões da conferência internacional sobre "Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants", realizada em 1987 (Duijvenbooden and Waegeningh (Ed.),

---

<sup>1</sup> De acordo com GARCIA e ZÊZERE (2003, p. 300) «Este termo difere do conceito de Perigosidade (*P* – hazard) que tem em conta uma probabilidade espacial e temporal, ou que abrange apenas a probabilidade temporal».

1987), como *a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente, função apenas das características intrínsecas do aquífero.*».

Definidos os conceitos dos termos susceptibilidade e vulnerabilidade, salienta-se que no contexto da investigação, a susceptibilidade hidrogeográfica refere-se à ocorrência da infiltração, percolação hídrica e recarga natural, à qual se associa um conjunto de variáveis que se podem entender como factores de predisposição (de carácter permanente), e que são a litologia, a morfologia e os solos e factores preparatórios (de carácter não permanente), como é o uso e ocupação do território, que possibilitam, ou não, a ocorrência do fenómeno de recarga aquífera, isto é, a susceptibilidade/probabilidade espacial de ocorrência do fenómeno. A vulnerabilidade considera a profundidade do topo do aquífero (para se ter a percepção da espessura de material que um poluente tem que atravessar para atingir o aquífero) sobreposta ao mapa de susceptibilidade final.

A expressão áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos visa a criação, desenvolvimento e utilização adequada das áreas geográficas que se revestem de elevada importância na salvaguarda da quantidade e qualidade da água a fim de prevenir ou evitar a sua escassez ou deterioração. Propositadamente, o título da tese não inclui o termo área estratégica de protecção e recarga de aquíferos, mas sim, alusão ao tema ou assunto. No objectivo geral acrescenta-se esta referência pois assume-se como característica intrínseca essencial e com representação cartográfica do território, considerando que se trata de um recurso físico sem o qual o desenvolvimento social e económico não é possível.

De acordo com RIBEIRO *et al.* (2002), Portugal Continental possui 62 sistemas aquíferos já identificados: 21 são sistemas cársicos, 22 são porosos, 13 têm comportamento misto poroso-cársico, 5 são cársico-fissurados e 1 é poroso-fissurado. Em termos de extensão geográfica os aquíferos porosos são os que ocupam uma maior área (60%) da área coberta pela totalidade dos sistemas (cerca de 18 000 Km<sup>2</sup>). De acordo com a caracterização estatística efectuada (como por exemplo quantis) das produtividades dos sistemas aquíferos de Portugal Continental (foram utilizados caudais de exploração quer obtidos directamente quer estimados a partir de outras variáveis, como por exemplo, rebaixamentos e posição dos tubos ralos), comprova-se que os sistemas aquíferos porosos são em média os mais produtivos com um valor de mediana de 13,3 l.s<sup>-1</sup>. Em termos de produtividade e menor incerteza na sua determinação, o sistema aquífero T3 da Bacia do Tejo/Sado de Margem Esquerda (Miocénico), sistema aquífero T7 das Aluviões do Tejo e sistema aquífero T3 da Bacia do Tejo/Sado - Margem Esquerda (Pliocénico) (ambos da Unidade Hidrogeológica da Bacia do Tejo-Sado) ocupam o 1.º e 4.º e 6.º lugar respectivamente, em Portugal Continental.

A aplicabilidade do trabalho proposto no Ordenamento do Território e Planeamento Ambiental, poderá ocorrer, no contexto de uma nova delimitação da reserva ecológica nacional (REN) concelhia, preferencialmente em paralelo com a revisão do Plano Director Municipal, em detrimento dos processos que envolvem apenas parcelas do território municipal, como é o caso do decurso da alteração de Plano Director Municipal, elaboração de planos de urbanização e de planos de pormenor, considerando que a REN é uma «estrutura biofísica que integra o conjunto das áreas que, pelo valor e sensibilidade ecológicos ou pela exposição e susceptibilidade

perante riscos naturais...» (n.º 1/art.º 2.º do RJREN), onde é necessária uma perspectiva sistémica face às áreas físicas e biológicas em causa. Desta forma seria, um contributo para alcançar os objectivos preconizados por esta restrição de utilidade pública: «A REN visa contribuir para a ocupação e o uso sustentáveis do território e tem por objectivos:

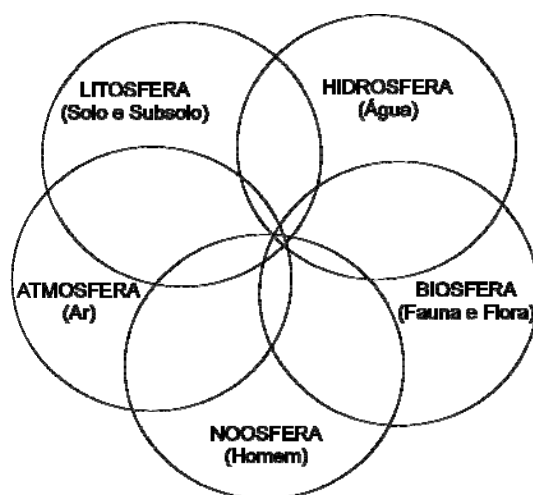
a) Proteger os recursos naturais água e solo, bem como salvaguardar sistemas e processos biofísicos associados ao litoral e ao ciclo hidrológico terrestre, que asseguram bens e serviços ambientais indispensáveis ao desenvolvimento das actividades humanas;

b) Prevenir e reduzir os efeitos da degradação da recarga de aquíferos, dos riscos de inundação marítima, de cheias, de erosão hídrica do solo e de movimentos de massa em vertentes, contribuindo para a adaptação aos efeitos das alterações climáticas e acautelando a sustentabilidade ambiental e a segurança de pessoas e bens;

c) Contribuir para a conectividade e a coerência ecológica da Rede Fundamental de Conservação da Natureza;

d) Contribuir para a concretização, a nível nacional, das prioridades da Agenda Territorial da União Europeia nos domínios ecológico e da gestão transeuropeia de riscos naturais.» (alínea 3/art.º 3.º do DL n.º 166/2008, de 22/08).

O sublinhado nas alíneas a) e b) realça os objectivos directamente relacionados com a dissertação proposta, porquanto, é uma das três áreas geográficas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre previstas no RJREN, conforme descrito no pontos 1.2.3 e 2 do capítulo II. De facto, tratando-se de uma investigação onde intervêm variáveis biofísicas, serão abordados quatro dos cinco subsistemas ambientais identificados em RAMOS PEREIRA *et al.* (1997): a litosfera, a hidrosfera, a biosfera e a noosfera (fig. 1), que salientam a abordagem integrada, em consonância com a Lei de Bases do Ambiente (Lei n.º 11/1987, de 07/04, alterada pela Lei n.º 13/2002, de 19/02).



**Figura 1-** Subsistemas do sistema ambiental. Entre parêntesis referem-se as componentes ambientais de cada um deles. (Ext. de RAMOS PEREIRA *et al.*, 1997, p. 5).

Globalmente, foram seleccionadas variáveis do solo, subsolo e relevo (litosfera), recursos hídricos superficiais, subsuperficiais e subterrâneos (hidrosfera), concretamente, nível piezométrico, e ocupação e uso do território (biosfera e noosfera), pelo que serão caracterizadas, as características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, pedológicas e da ocupação e uso do território, como factores condicionantes da dinâmica hidrogeográfica.

Os objectivos específicos da tese consistem nas respostas às perguntas de partida, Onde?, Porquê? e Como avaliar o modelo de dados?

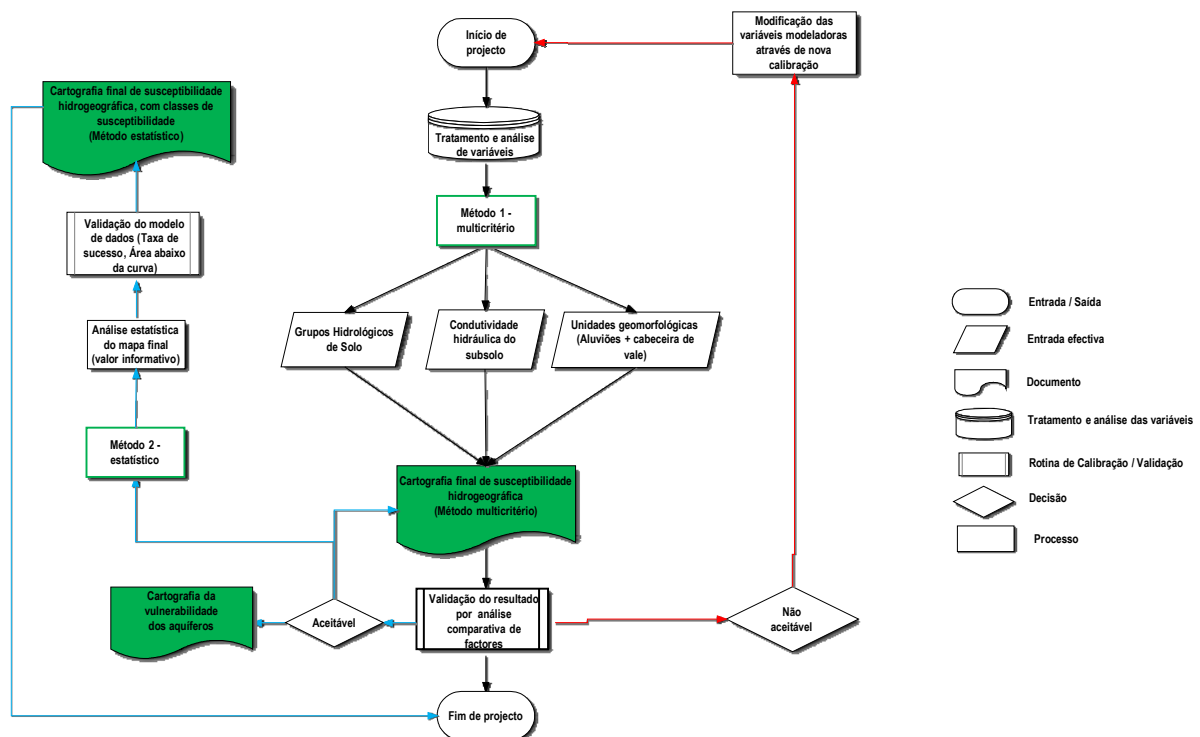
A questão Onde?, reporta-se à localização espacial de ocorrência do fenómeno de recarga aquífera que se encontra directamente relacionada com a segunda questão, o que pressupõe a selecção de um número reduzido de variáveis físicas significativas e adequadas a meios porosos para situar as áreas geográficas onde ocorre o fenómeno, com vista a caracterizá-lo, e a quantificação de determinados parâmetros das variáveis de predisposição com repercussões na magnitude do fenómeno. À semelhança daqueles objectivos específicos também serão desenvolvidos no capítulo 3 (Metodologia, técnicas e fontes documentais) os procedimentos adoptados para responder à questão Como avaliar o modelo de dados?.

A hipótese de investigação é baseada no conhecimento experimental, através de pesquisa bibliográfica e sobreposição de temas cartográficos, e parte do pressuposto que a susceptibilidade hidrogeográfica de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos em meios porosos tem as seguintes variáveis modeláveis: grupos hidrológicos de solos (GHS), condutividade hidráulica do subsolo (rochas sobrejacentes e subjacentes, KSs) e as unidades hidrogeomorfológicas cabeceiras de vale e aluviões (fig. 2). A selecção dos parâmetros justifica-se considerando que os GHS é um parâmetro directamente influenciado pelo subsolo, solo e morfologia, que deverá reflectir as condições hidrológicas da zona vadosa e auxiliar na identificação das áreas mais propensas à infiltração; o subsolo servirá para limitar as áreas mais propensas à ocorrência de percolação; as unidades hidrogeomorfológicas cabeceiras de vale e aluviões consideram a posição, forma e origem (onde se atende à composição, processos geradores e modificadores), sendo que a primeira só deverá ser identificada, diferenciada de outras e delineada a sua geometria, no caso de existir elevada importância relativa (no contexto da hierarquia fluvial, da área drenada e ocupação e uso do território) para a concentração de água e sedimentos em áreas de interflúvio mais elevado, e constituindo, por hipótese, elevada importância na prevenção e redução de situações de cheias e inundações; já as aluviões, que correspondem a áreas de concentração de água e sedimentos em áreas deprimidas e porque associadas, do ponto de vista reológico, a fácies predominantemente siliciclástica, e por ocorrer nesta entidade ligação hidrológica, em face do comportamento hidrodinâmico dos sistemas aquíferos T7 e T3 e dos cursos de água (especialmente nas planícies aluviais) são também um dos parâmetros (geomorfológico) fundamentais do modelo de dados. De facto, a geomorfologia condicionará a transferência de água subterrânea, desde logo, através da energia potencial.

Optou-se pela sua aplicação a meios porosos de circulação da água porque são aqueles que ocupam maior extensão no país, ademais, os aquíferos poroso-cársicos, cársico-fissurados ou poroso-fissurado implicam

a inclusão de outras variáveis estruturais, nomeadamente inclinação dos estratos e falhas tectónicas. A ocupação e uso do território é válida para identificar áreas impermeabilizadas. As unidades hidrogeomorfológicas (aluviões e cabeceiras de vale) derivam da elaboração de um mapa geomorfológico. A variável declive já se encontra sintetizada naquelas. A estrutura do substrato é próxima de um plano horizontal ou sub-horizontal, face ao contexto da bacia, pelo que a hipótese de investigação não considera que seja variável autónoma. A geometria dos aquíferos é considerada na caracterização da profundidade do topo do aquífero que auxiliará na explicação da ligação hidráulica dos mesmos com a superfície terrestre, por força da litologia da zona vadosa ou insaturada e altura piezométrica dos aquíferos.

Não obstante, o esquema da figura 2 não represente um modelo conceptual completo, apresenta sumariamente e apenas as variáveis que se assume como serem os factores de predisposição para determinar a susceptibilidade hidrogeográfica à ocorrência de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos, cuja selecção beneficiou da revisão científico-técnica sobre o assunto e acrescentou uma nova abordagem ao se incluir cabeceiras de vale e planície aluvial (com base em mapa geomorfológico) e análise do funcionamento hidráulico dos aquíferos (nomeadamente no que se refere aos mecanismos de recarga e descarga e ao sentido do fluxo subterrâneo e eventuais conexões hidráulicas, a partir de dados da pesquisa bibliográfica e de captações de água), assim como, um modelo de dados que contempla a avaliação do grau de ajuste do modelo de dados para a elaboração de cartografia com classes através do método estatístico do valor informativo, a partir da taxa de sucesso e área abaixo da curva, conforme desenvolvimento na parte dedicada aos aspectos metodológicos.



**Figura 2** – Modelo de dados simplificado para determinar a susceptibilidade hidrogeográfica à ocorrência de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos

## 1.2 O estudo de caso

Na selecção da área de estudo foi decisivo o facto de estar em curso a revisão de um instrumento de ordenamento do território fundamental, o Plano Director Municipal, onde a carta da REN é parte integrante (e será plasmada na carta de condicionantes), nomeadamente, as áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos. Pretende-se que esta investigação seja um contributo válido. Por outro lado, o acesso em tempo útil a dados, ao que não é alheio o facto de trabalhar num município, também foi importante. Associado à problemática generalizada das questões relacionados com a protecção da qualidade e quantidade da água num contexto de deterioração e escassez, a realização deste estudo constitui, desde logo, uma oportunidade de analisar o assunto da investigação sob o ponto de vista hidrogeográfico, ou seja, de forma integrada e com aplicação no Ordenamento do Território. Conforme se verá no capítulo 3, a metodologia de avaliação destas áreas geográficas é heurística, cujas variáveis e calibração atenderá à especificidade da área de estudo.

### 1.2.1 Administração territorial, população e actividades económicas

O território nacional está subdividido em 10 Regiões Hidrográficas, oito em Portugal continental duas correspondentes às Regiões Autónomas (fig. 3).

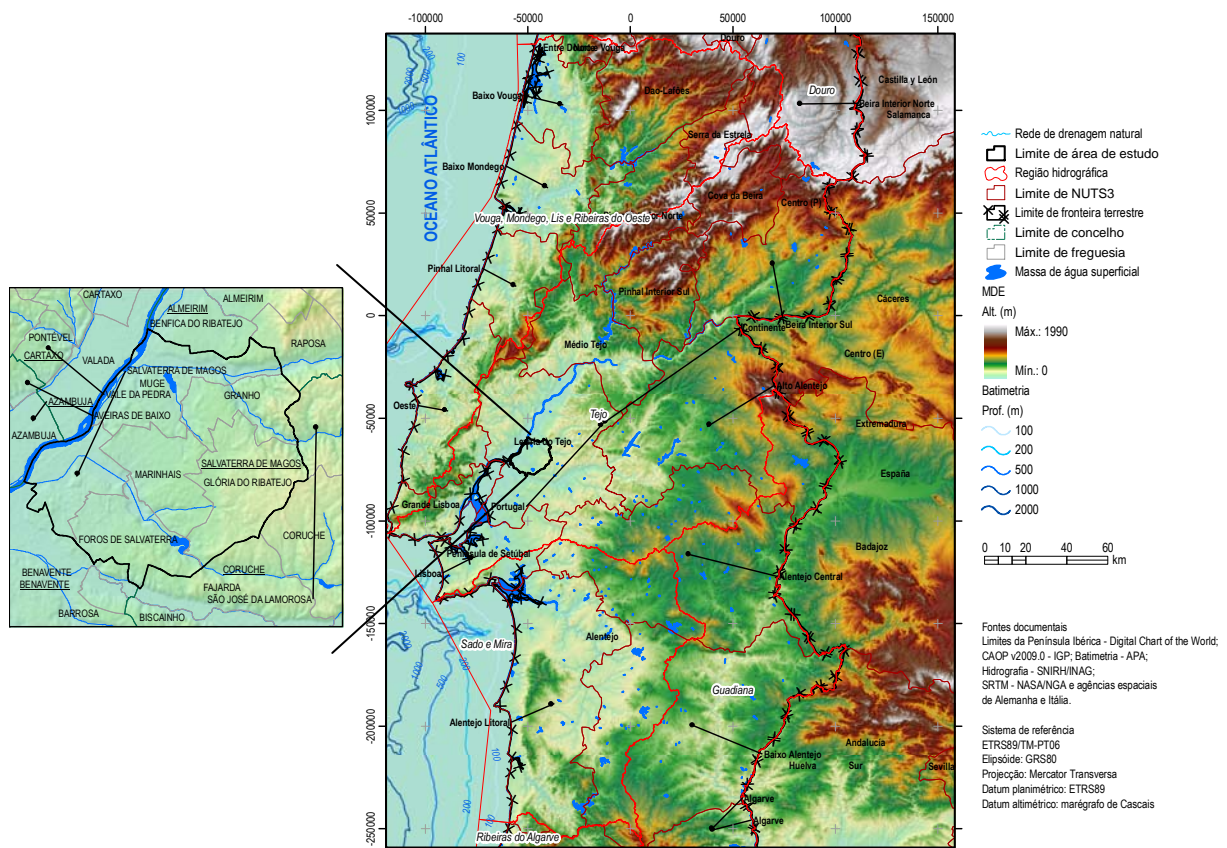


Figura 3 - Localização da área de estudo na Região Hidrográfica do Tejo (nome de concelho a sublinhado).

O local de estudo situa-se na área de jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I. P. (ARH Tejo), na margem esquerda do troço inferior da Bacia Cenozóica do Baixo Tejo, que abrange 27 556 km<sup>2</sup> (31% da superfície de Portugal continental) e conta com 3 809 050 indivíduos (39% da população do país) e 102 concelhos (LACERDA, 2008). Situa-se na área administrativa do município de Salvaterra de Magos (com seis freguesias), no distrito de Santarém, NUTE II e III Alentejo e Lezíria do Tejo, respectivamente.

Em termos de população residente e variação intercensitária, a área de estudo registou um aumento de 6,2% da população residente total entre 1991-2001, valor acima da média registada para a sub-região, Lezíria do Tejo, e da média do país (quadro 1).

**Quadro 1** - População Residente e variação intercensitária 1991 – 2001.

(Ext. de Recenseamento Geral da População 1991 e 2001, <http://www.ine.pt>).

Unidade geográfica	População Residente		
	Total		Varição
	n.º		%
	1991	2001	1991-2001
Glória do Ribatejo	3435	3427	-0,2
Marinhais	4777	5469	14,5
Muge	1293	1261	-2,5
Salvaterra de Magos	4843	5123	5,8
Foros de Salvaterra	3769	4017	6,6
Granho	862	864	0,2
Salvaterra de Magos (concelho)	18979	20161	6,2
Lezíria do Tejo	232969	240832	3,4
Alentejo	782331	776585	-0,7
País	9867147	10356117	5,0

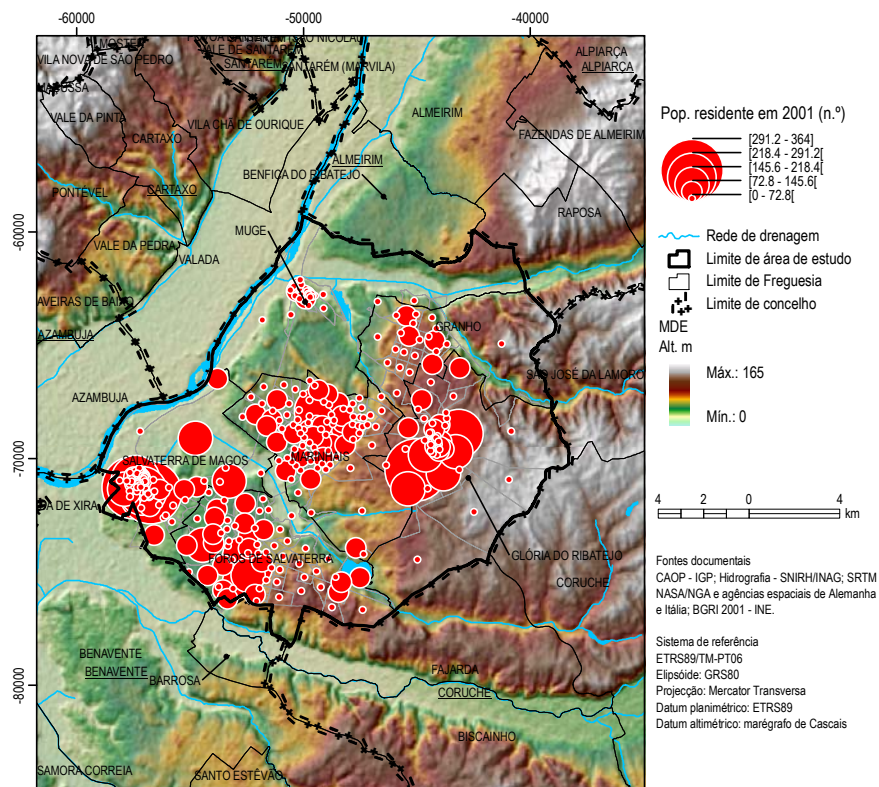
De acordo com o anuário estatístico de 2008, entre outros indicadores, a área de estudo apresenta uma densidade populacional e taxa de crescimento efectivo superior à média, porém, com taxa de crescimento natural inferior à média dos 11 municípios que integram a NUTE III (quadro 2).

**Quadro 2** - Indicadores de população por município, 2007 e 2008. (Ext. de I.N.E., 2009).

	Densidad e populacio nal	Taxa de crescime nto efectivo	Taxa de crescime nto natural	Taxa bruta de natalida de	Taxa bruta de mortalid ade	Taxa bruta de nupcialid ade	Taxa bruta de divórc io	Taxa de fecundid ade geral	Índice sintético de fecundid ade	Taxa de fecundida de na adolescên cia	Nados vivos fora do casame nto	Proporçã o de casamen tos entre portugues es e estrangei ros
	Hab/km <sup>2</sup>	%		‰					N.º	‰	%	
	2008							2007 Po	2008			
<b>Lezíria do Tejo</b>	<b>58,4</b>	<b>0,13</b>	<b>-0,27</b>	<b>9,5</b>	<b>12,2</b>	<b>3,1</b>	<b>x</b>	<b>41,7</b>	<b>1,4</b>	<b>20,5</b>	<b>40,6</b>	<b>11,5</b>
Almeirim	103,3	0,49	0,14	12,6	11,3	3,4	x	55,4	x	x	43,9	16,9
Alpiarça	86,7	0,10	-0,46	9,2	13,8	3,3	x	44,6	x	x	34,2	11,1
Azambuja	83,2	0,19	-0,21	10,4	12,6	2,2	x	47,9	x	x	41,7	20,8
Benavente	54,3	2,12	0,32	12,7	9,5	3,6	x	54,3	x	x	44,3	17,0
Cartaxo	159,0	0,50	-0,29	8,3	11,2	3,3	x	36,1	x	x	40,2	14,3
Chamusca	14,7	-0,88	-0,83	5,9	14,2	2,2	x	27,4	x	x	36,9	8,3
Coruche	17,6	-1,39	-0,83	7,4	15,7	3,5	x	34,8	x	x	39,7	4,3
Golegã	72,2	-0,61	-0,59	6,7	12,6	4,5	x	28,8	x	x	45,9	8,0
Rio Maior	80,0	0,07	-0,24	9,4	11,8	2,4	x	39,1	x	x	36,1	7,5
Salvaterra de Magos	88,1	0,43	-0,36	9,6	13,2	3,2	x	41,5	x	x	45,9	10,1
Santarém	113,6	-0,39	-0,36	8,7	12,3	3,0	x	37,6	x	x	37,3	7,9

De acordo com C.M.S.M. (2009), em 2001 Salvaterra de Magos contava com 20161 habitantes e com uma densidade populacional de 83,7 hab/km<sup>2</sup>, superior à média da NUTE III Lezíria do Tejo em que se insere, com 56,4 hab/km<sup>2</sup>, e bem acima da NUTE II Alentejo com 19,6 hab/km<sup>2</sup>, onde foi integrada em 2006. Relativamente à densidade populacional por freguesia existe uma clara assimetria interna Norte – Sul. As freguesias com menor densidade populacional são Muge com 26 hab/km<sup>2</sup> seguida de Granho, 28 hab/km<sup>2</sup>, e Glória do Ribatejo com 64 hab/km<sup>2</sup>; contrapondo com as freguesias meridionais mais densamente povoadas, designadamente Salvaterra de Magos, 154 hab/km<sup>2</sup>, Marinhais, 137 hab/km<sup>2</sup> Foros de Salvaterra, 103 hab/km<sup>2</sup>.

Na figura 4 utilizaram-se símbolos graduados (DIAS, 2007, pp. 102, 103, 106; ROBINSON *et al.*, 1987, pp. 291-293) e não círculos proporcionais (DIAS, 1991, p. 337 e 2007, pp. 102-109) por melhor ilustrarem a hierarquia dos núcleos populacionais. A população concentra-se nas vilas de Salvaterra de Magos (quadrante SW) e Glória do Ribatejo (centro – Oeste) e de forma mais dispersa nas áreas das freguesias de Marinhais (centro) e Foros de Salvaterra (Sul). As áreas de Granho e Muge (ambas a Norte da área de Marinhais e Glória do Ribatejo) possuem menor concentração demográfica. Em termos de sectores de actividade económica, Glória do Ribatejo, Muge e Granho empregam a maior parte da população no sector-secundário (S II), e Salvaterra de Magos, Marinhais e Foros de Salvaterra em actividades relacionadas com o sector-terciário (S III) (quadro 3).



**Figura 4 - Distribuição da população por subsecção estatística em 2001.**

**Quadro 3** - População residente empregada por sectores de actividade, 2001. (Baseado em I.N.E., Censos; B.G.R.I., 2001).

Freguesias	População absoluta			População relativa*			Ponderado pela pop. residente da freguesia**			Ponderado pelo total no sector de actividade***		
	IRE S I	IRE S II	IRE S III	IRE S I	IRE S II	IRE S III	S I	S II	S III	S I	S II	S III
Glória do Ribatejo	180	737	490	12,8	52,4	34,8	5,3	21,5	14,3	17,0	21,2	11,7
Marinhais	197	876	1220	8,6	38,2	53,2	3,6	16,0	22,3	18,6	25,2	29,0
Muge	87	246	241	15,2	42,8	41,9	6,9	19,5	19,1	8,2	7,1	5,7
Salvaterra de Magos	184	744	1345	8,1	32,7	59,2	3,6	14,5	26,3	17,4	21,4	32,0
Foros de Salvaterra	322	708	784	17,8	39,0	43,2	8,0	17,6	19,5	30,5	20,4	18,7
Granho	87	164	121	23,4	44,2	32,6	10,1	19,0	14,0	8,2	4,7	2,9
<b>Concelho</b>	<b>1057</b>	<b>3475</b>	<b>4201</b>	<b>12,1</b>	<b>39,8</b>	<b>48,1</b>	<b>5,2</b>	<b>17,2</b>	<b>20,8</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

**Legenda:** IRE-SI – Indivíduos residentes empregados no sector primário; IRE-SII – Indivíduos residentes empregados no sector secundário IRE-III – Indivíduos residentes empregados no sector terciário; \* Pop. emp. p/ sector / Pop. resid. emp. na freguesia \* 100

\*\* Pop. emp. p/ sector / pop. resid. na freguesia \* 100; \*\*\* Pop. emp. p/ sector / Pop. resid. emp. no sector de actividade (total) \* 100.

Por outro lado, o valor da população empregada no sector de actividade ponderado pela população total residente da freguesia indica, por exemplo, que na freguesia de Granho 10 em cada 100 residentes trabalham no sector-primário (S I). Em termos de população empregada no sector de actividade ponderada, pelo total no sector de actividade, regista-se que Foros de Salvaterra representa cerca de 1/3 da proporção da população concelhia empregada no sector-primário.

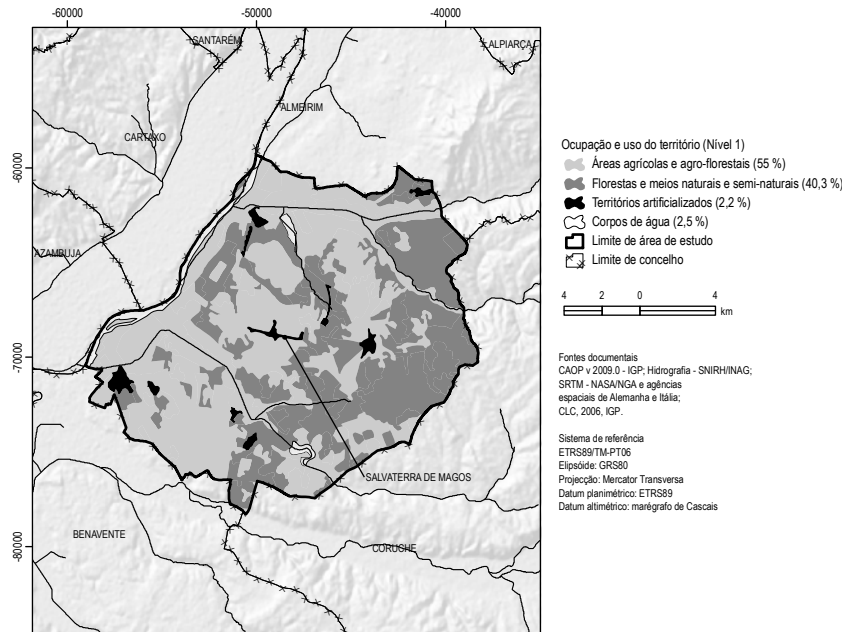
## 1.2.2 Uso e ocupação do território

A identificação da cobertura física e biológica (especialmente da componente vegetal devido à significância em termos de massa) do território é um dos factores a ter em conta em face do propósito social, económico e ambiental (sentido estrito). A figura 5 baseia-se em cartografia temática do mapa CORINE Land cover 2006 para Portugal continental<sup>2</sup> (CAETANO *et al.*, 2009) e visa dar uma perspectiva geral das manchas de uso e ocupação do território, devendo-se salientar a dominância das áreas agrícolas e agro-florestais (55%) e das áreas florestais e meios naturais e semi-naturais (40%).

A distribuição das actividades económicas relacionadas com o sector-primário (agricultura e silvicultura) abrangem a quase totalidade da área de estudo. Não obstante as actividades relacionadas com o sector-secundário abrangerem agro-indústrias isoladas, a maior concentração de actividades relacionadas com este sector posiciona-se junto da estação de caminhos de ferro e ao longo da EN 118 (na freguesia de Muge) e na proximidade da mesma estrada mas no quadrante Nordeste e junto da vila e sede de concelho de Salvaterra de Magos (anexo A.2). O sector-terciário concentra-se nos núcleos populacionais das sedes de freguesia.

Contudo, atendendo à necessidade de trabalhar dados com maior resolução espacial, apresentam-se de seguida dados obtidos através de cartografia numérica na escala de 1/10K actualizada para 2006.

<sup>2</sup> O mapa CORINE Land Cover 2006 para Portugal Continental tem escala de 1: 100K, unidade mínima cartográfica (UMC) de 25 ha, exactidão geométrica melhor que 100 m e possui uma nomenclatura hierárquica de 3 níveis com 44 classes ao nível mais detalhado. Importa também referir que a avaliação da exactidão temática do mapa conduziu a uma estimativa do valor de exactidão global de 90,2 %, com uma precisão absoluta de 1,3% e para um nível de confiança de 95 %.



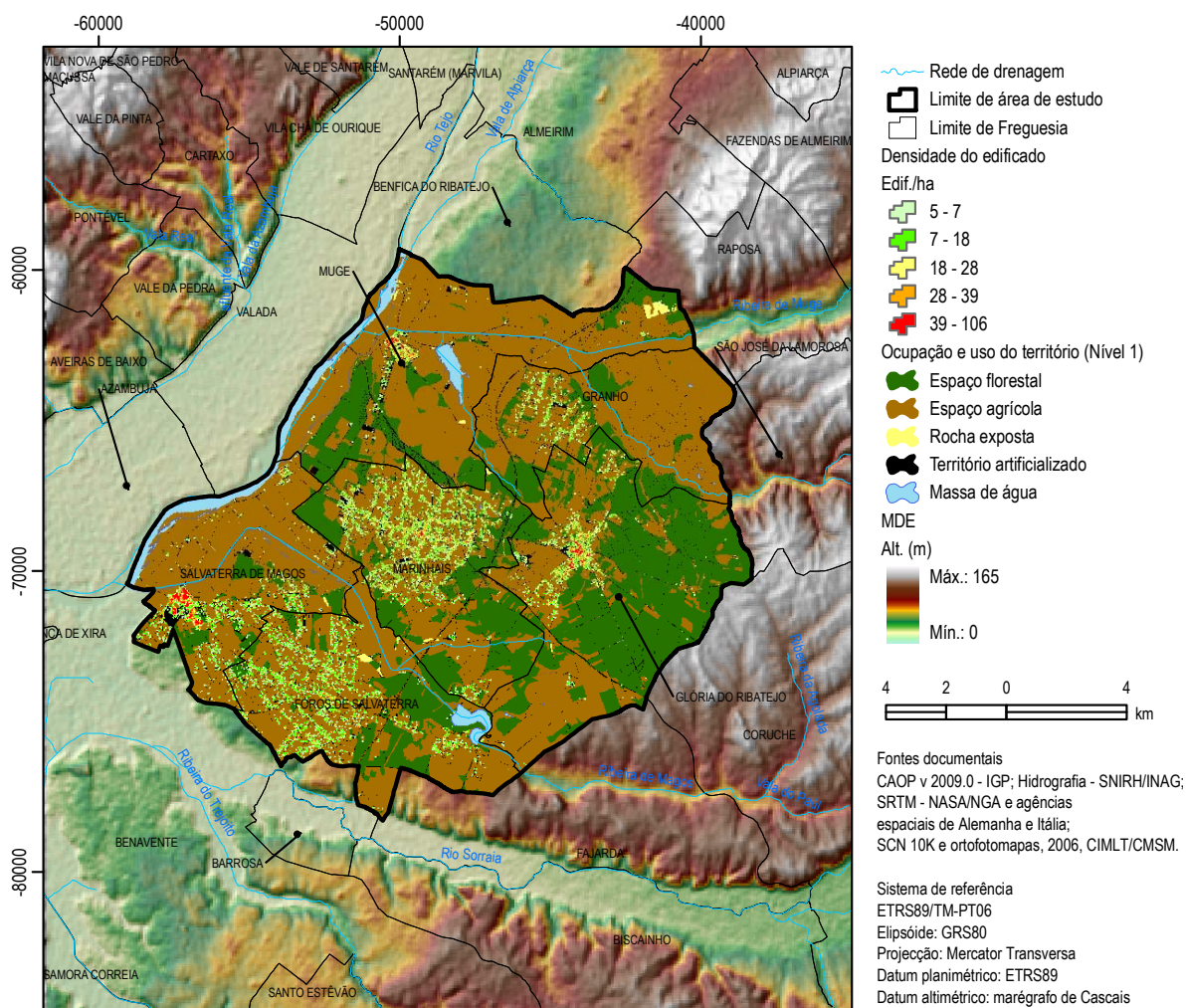
**Figura 5** – Ocupação e uso do território em 2006 (CLC).

Em alternativa à legenda apresentada, deverá ser utilizada a nomenclatura da Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental, que à data de realização da dissertação encontra-se em elaboração, mas cuja nomenclatura já se encontra disponível (versão 2.15, de 2007).

As manchas de nível 2 do tipo de ocupação e uso dominante são de regadio, horta (25,3%), mato (16,1%) e eucaliptal (16,6%) e sobreiral (15,2%) (quadro 4, fig. 6). O território artificializado corresponde à área com ocupação humana ou de grandes infra-estruturas. Associado ao nível 1, de uso agrícola, com ocupação de culturas de regadio/horta surge associado aos principais fundos de vale, como sejam, as planícies aluviais da ribeira da Lamarosa, ribeira de Muge, rio Tejo, ribeira de Magos e terraços fluviais, fundamentalmente a ocidente do IC3 (A13). O mato associa-se a etapas degradadas de floresta e predomina a ocidente da vila de Glória do Ribatejo e a Sudeste e Sul da vila e sede de concelho Salvaterra de Magos e o sistema agro-florestal sobreiral (com pastagens) predomina nos octantes Nordeste e Sudeste da área de estudo. No segundo nível da legenda do uso florestal vem o eucaliptal predominante a Oriente do meridiano da vila de Glória do Ribatejo. A pressão urbana medida através da densidade do edificado é superior nas vilas e sede de freguesia de Salvaterra de Magos e Glória do Ribatejo. A densidade atinge uma magnitude de que varia entre 39 e 106 edif./ha. (fig. 6 e valores das classes de densidade do edificado no Anexo A.3). À escala dos grandes agrupamentos do tipo de ocupação e uso do território (aqui associados ao nível 1), salienta-se que cerca de 63% o espaço é agrícola e 26% é espaço florestal o que reforça o carácter rural da área de estudo. Apesar do espaço artificializado ser de apenas 6,4%, a pressão associada ao uso agrícola e à expansão/crescimento da edificação dispersa poderá, indirectamente, gerar impactes cumulativos negativos na recarga dos aquíferos, não tanto do ponto de vista quantitativo mas qualitativo.

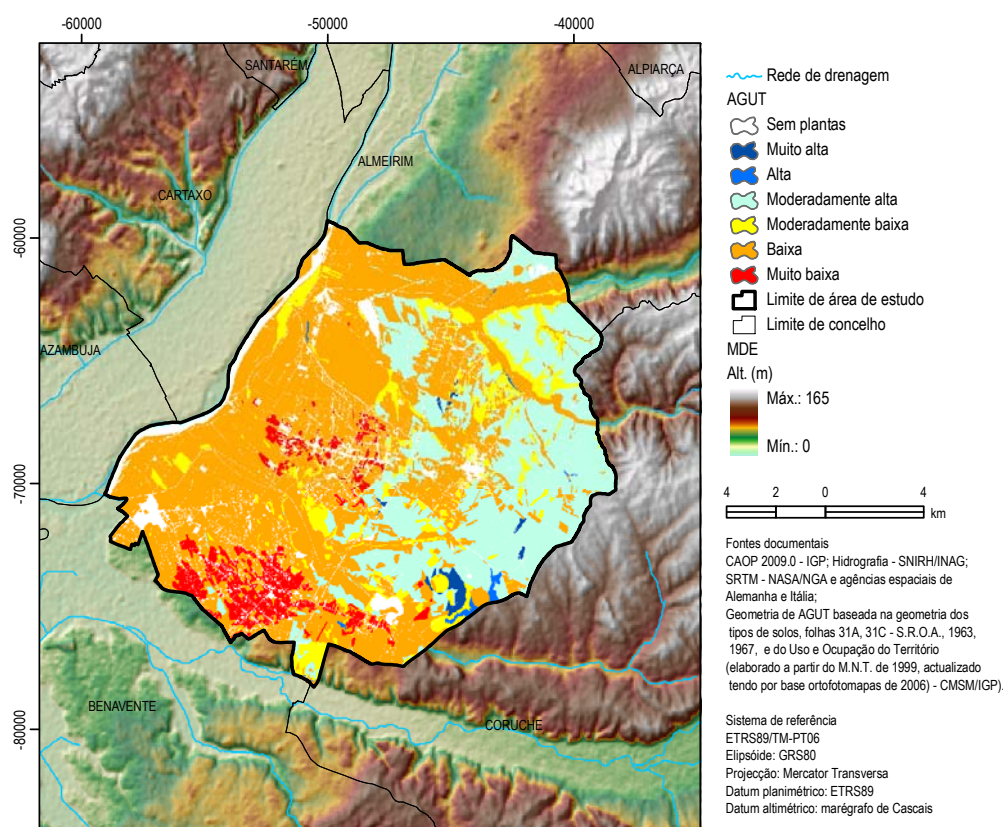
**Quadro 4** – Nomenclatura do mapa de uso e ocupação do território em 2006 e profundidade aproximada das raízes das plantas. (Fonte dos dados da profundidade de enraizamento: Ext. de OLIVEIRA, *et al.* (1997, p. 137); OLIVEIRA e LOBO FERREIRA (2002, p. 7).

Nível 1	Nível 2			Plantas ou tipo de ocupação vegetal	Profundidade aproximada das raízes (mm)	Nota
	Tipo de Ocupação	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)			
Território artificializado	Espaço artificializado	15498807	6,4	0	0	
Espaço agrícola	Regadio, Horta	61774222	25,3	Arrozais + prados	700	(600 + 800)/2
	Mato	39357375	16,1	Vegetação esclerófito	600	
	Vinha	11683039	4,8	Vinhas	1300	
	Pomar	3000663	1,2	Pomares	1500	
	Olival	1166265	0,5	Oliveiras	1300	
	Sequeiro	392260	0,2	Pastos	800	
Espaço florestal	Sobreiral	37137445	15,2	Florestas e áreas agroflorestais	2750	
	Eucaliptal	40492981	16,6			
	Pinhal	26766313	11			
Massa de água	#	6051880	2,5	Cursos de água	0	
Rocha exposta	#	615906	0,3	Rocha exposta	0	



**Figura 6** – Classes de ocupação e uso do território e densidade edificatória associada, em 2006.

Um dos factores de infiltração e percolação é a capacidade de água utilizável que pode ser removida do solo através da evapotranspiração processada pelas plantas. Apesar de não ser uma variável utilizada na geometria do mapa final de susceptibilidade hidrogeográfica à recarga aquífera, interessa saber qual o impacto da ocupação vegetal do território, numa perspectiva de reconhecimento do biofísico território. Assim, quanto maior for a quantidade de água retida na zona vadosa susceptível de ser utilizada pelas plantas menor é a água que de percolação que atinge a zona saturada e recarrega os aquíferos. Considerando que a água utilizável pelas plantas (AGUT) é condicionada pela espessura de enraizamento do coberto vegetal e características físicas do tipo de solo que o suporta, observa-se que a classe com maior água utilizável pelas plantas (495,74 - 558,31 mm) corresponde 9,1% da área de estudo, e encontra-se associada ao tipo de solo Sag e ao coberto vegetal de estrato arbóreo (sobreiral, pinhal, eucaliptal) (fig. 7).



**Figura 7** – Classes de água utilizável (AGUT) pelas plantas.

Por outro lado, do ponto de vista das actividades económicas, observa-se que a população na área de estudo, em termos de situação face ao emprego por conta de outrem (cenário dominante), se encontra empregada no sector terciário, seguindo a tendência da unidade territorial estatística, não obstante a área de estudo ser maioritariamente classificada como solo rural do ponto de vista do Ordenamento do Território (quadro 5).

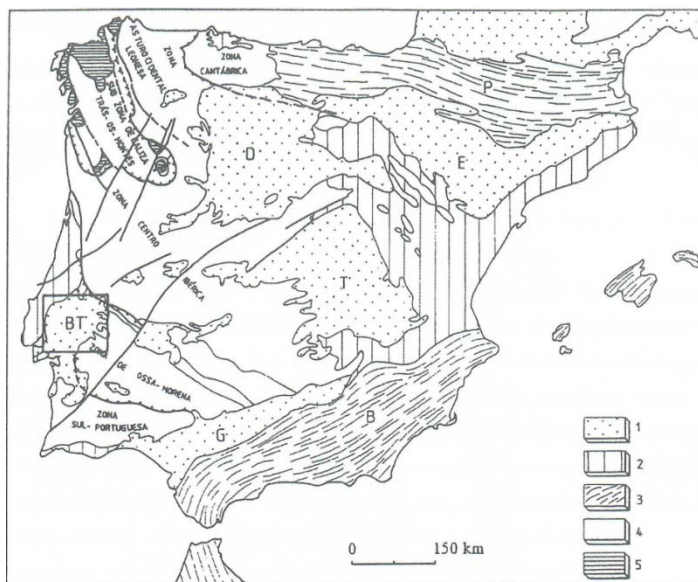
**Quadro 5** - Trabalhadores por conta de outrem nos estabelecimentos por município, segundo o sector de actividade (C.A.E. Rev. 3), 2007. (Extraído de I.N.E., 2009).

Unidade: N.º

	Total	Primário CAE: A	Secundário CAE: B - F	Terciário CAE: G - U
	HM	HM	HM	HM
<b>Lezíria do Tejo</b>	<b>44 629</b>	<b>2 903</b>	<b>16 835</b>	<b>24 891</b>
Almeirim	3 313	232	1 243	1 838
Alpiarça	924	127	339	458
Azambuja	5 061	293	1 169	3 599
Benavente	7 149	433	3 179	3 537
Cartaxo	3 320	177	1 323	1 820
Chamusca	1 352	186	541	625
Coruche	3 139	572	1 312	1 255
Golegã	699	92	234	373
Rio Maior	4 309	198	2 167	1 944
Salvaterra de Magos	3 084	194	1 166	1 724
Santarém	12 279	399	4 162	7 718

### 1.2.3 Litologia e estrutura

A área objecto de estudo insere-se na «... Bacia Cenozóica do Baixo Tejo (BCBT), que constitui uma das unidades morfoestruturais da Península Ibérica. (...) A Bacia Cenozóica do Baixo Tejo contacta, do lado noroeste e poente, com os sedimentos da orla ocidental, depositados na fossa lusitana e, dos lados norte, sul e oriental com o soco arrasado, com altitudes inferiores a 400 m.» MARTINS (1999, p. 1) (fig. 8). Nesta unidade, dominam as áreas planas, formadas por materiais arenosos e cascalhentos e por complexos areno-argilosos e algumas formações carbonatadas.



**Figura 8** – Enquadramento geológico da Bacia Cenozóica do Baixo Tejo (BCBT). Unidades morfoestruturais e paleogeográficas da Península Ibérica, segundo Lautensach (1932), Lotze (1945), Juliver *et al.* (1974) e Ramos Pereira (1985, 1988). (Ext. de MARTINS, 1999, p. 1-A).

Legenda: 1 – Bacias Terciárias (D – do Douro; E – do Ebro; T – do Tejo; G – do Guadalquivir; BT – do Baixo Tejo e Alvalade). Bordaduras mesocenozóicas moderadamente dobradas. 3 – Cadeia Alpina (B – Béticas; P – Pirinéus). 4 - Soco Hercínico, com as respectivas unidades geoestruturais. 5 – Maciços polimetamórficos.

Por outro lado, «O registo sedimentar da BTBT integra, essencialmente, sedimentos siliciclásticos continentais, com 300 a 700 m de espessura, que se distribuem especialmente pela margem esquerda do Tejo e por uma parte da margem direita (...) um perfil sísmico realizado entre aquela povoação (Ota) e Coruche (W-E) evidenciou uma espessura máxima de sedimentos considerada inferior a 1 400 m (VICTOR *et al.*, 1980). (...) A orogenia pirenaica é a responsável pelo início das fases tectónicas que estão na base da estruturação terciária da Península Ibérica.» (BARBOSA, 1995, p. 8).

MARTINS (1999, p. 4) refere que «A formação da bacia cenozóica está ligada à evolução regional do extremo sudoeste da Eurásia, particular ao comportamento cinemático das placas litosféricas africana e euroasiática nos últimos 45-50 Ma.». «O enchimento sedimentar da bacia processou-se em três etapas: a primeira vai do Luteciano superior ao Chatiano inferior, abrangendo parte do Eocénico e Oligocénico; a segunda etapa, com início no Chatiano superior, vai do Tortiano inferior (Oligocénico superior – Miocénico superior); a terceira etapa vai do Tortiano superior ao Pliocénico final (CUNHA, 1992, BARBOSA, 1995).». A sedimentação da BCBT processou-se por sequências/etapas limitadas por descontinuidades (SLD) (MARTINS, 1999, p. 7 e BARBOSA, 1995, p. 218), com carácter regional ou bacinal e que definem unidades alostratigráficas. Na terceira etapa de enchimento sedimentar verificaram-se diversas fases de levantamento tectónico.

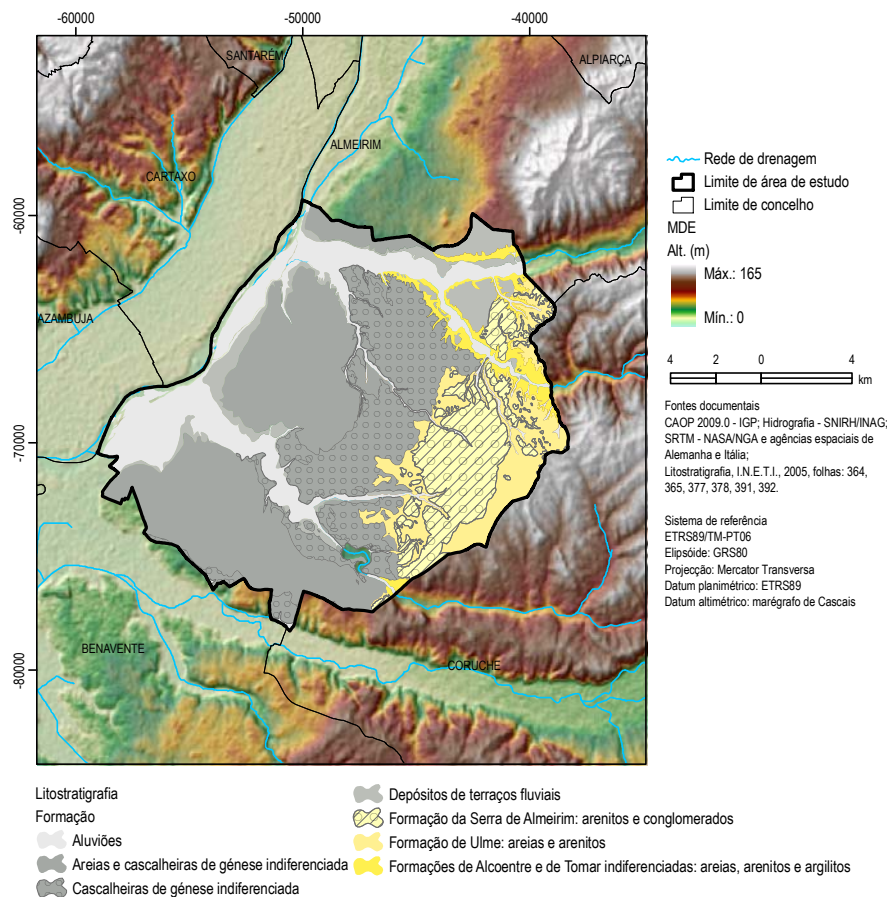
De acordo com BARBOSA (1995), na BCBT a aloformação de Almeirim (topo do empilhamento sedimentar) seria equivalente à SLD 12. Esta última SLD é truncada na superfície de aplanamento do Nível Mora – Lamarosa e nalguns terraços fluviais da área estudo.

Desde a publicação da cartografia geológica, de ZBYSZEWSKI, 1952 e ZBYSZEWSKI e FERREIRA, 1967), folhas 31-A e 31-C, respectivamente, a geometria e litostratigrafia da mesma área foi objecto de actualização via investigações no âmbito de teses de doutoramento, salientando-se o trabalho de BARBOSA (1995) no campo científico da geologia, do trabalho de MARTINS (1999) no domínio científico da geomorfologia e o projecto «Nova Cartografia Geológica para a Área Metropolitana de Lisboa» concluído em 2005, que permitiu resolver a desactualização em termos geocientíficos, a incompatibilidade da informação entre folhas contíguas impedindo a sua ligação e a inexistência de formato digital da cartografia geológica (COSTA e ROCHA, 2006, p. 4) (fig. 9).

Apesar de não incluída na Área Metropolitana de Lisboa (AML), mas por estar abrangida por porções das folhas 1/50K, a área de estudo beneficiou desta revisão e actualização (folhas 31-A e 31-C), alcançadas através de três etapas, e que foram, muito resumidamente, na revisão da cartografia geológica com base nas minutas de campo, à escala 1/25K, digitalização da cartografia a diversas escalas (1/25K, 1/50K, 1/100K) e adaptação das respectivas notícias explicativas de todas as cartas geológicas (*ibidem*, p. 7).

A correspondência entre as designações de unidades utilizadas na cartografia da AML e respectivos símbolos e as unidades usadas anteriormente pode ser consultada na comunicação de PAIS e DIAS (2006, pp.

67-71) e no que importa para a área de estudo no quadro 6 e fig. 9. A fig. 10 esquematiza a coluna cronoestratigráfica.



**Figura 9** – Unidades litoestratigráficas.

As formações que ocupam maior extensão correspondem a Areias e cascalheiras de gênese indiferenciada (31,7%) e Cascalheiras de gênese indiferenciada (19,9%), ou seja, rochas detríticas características do sector intermédio da BCBT e depositadas por acção fluvial. Têm uma distribuição em arco a Oeste do alinhamento de relevos localmente conhecidos por serras, como é o caso da Serra da Glória, Serra do Pessegueiro, Serra do Valão e Serra Galega, e de entre as quais, embora já fora da área de estudo, e para NE, a Serra de Almeirim é a mais proeminente.

De acordo com as unidades litoestratigráficas cartografadas a área de estudo encontra-se associada a duas aloformações. A Aloformação de Almoester (Miocénico) está associada à segunda etapa de enchimento sedimentar da BCBT e é constituída por três unidades litoestratigráficas: Arenitos de Ota (Ar. Ot), Argilas de Tomar (Ag. Tm) e Calcários de Almoester (Cc. Al.) (ordenação do mais antigo para o mais recente), sendo que as duas primeiras afloram na área de estudo, de acordo com a cartografia de BARBOSA, 1995).

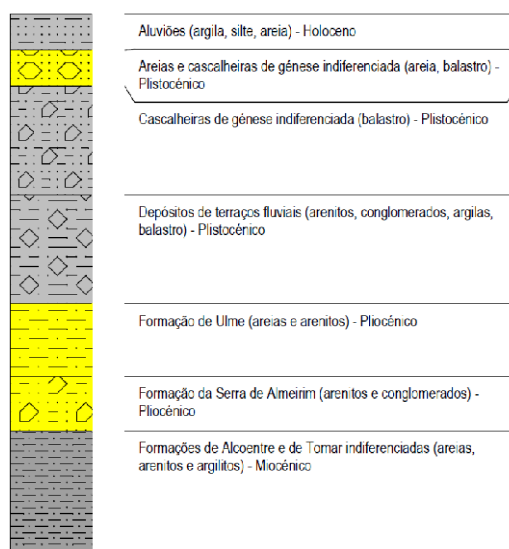


Figura 10 – Coluna litostratigráfica esquemática.

Quadro 6 – Características das formações litostratigráficas.

Alostratigrafia (BARBOSA, 1995)	Litostratigrafia / Formação (INETI)	Código (INETI)	Geocronologia / Idade			Litologia	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)	Perim. (m)
			Era	Período	Época				
-	Aluviões	aluv	Cenozóico	Quaternário	Holocénico	Areias, silte, argilas	39341557,5	16,1	253499,9
	Areias e cascalheiras de gênese indiferenciada	Q <sub>i</sub>			Plistocénico	Areias, fenoclastos	77269224,9	31,7	144292,2
	Cascalheiras de gênese indiferenciada	Q <sub>i'</sub>				Fenoclastos	48428526,7	19,9	189903,3
	Depósitos de terraços fluviais	Q <sub>f</sub>				Areias, silte, argilas, fenoclastos	16378398,5	6,7	139506,3
Aloformação de Almeirim	Formação de Ulme: areias e arenitos	P <sub>U</sub>				Pliocénico	Areias, arenitos	22034347,0	9,0
	Formação da Serra de Almeirim: arenitos e conglomerados	P <sub>SA</sub>			Arenitos, conglomerados		27168436,5	1,1	141151,9
Aloformação de Almoester	Formações de Alcoentre e de Tomar indiferenciadas: areias, arenitos e argilitos	M <sub>AT</sub>			Miocénico indiferenciado		Areias, arenitos, argilitos	8275266,2	3,4
Plano de Água							5037759,7	2,1	71152,3
<b>Totais</b>							<b>243933517,1</b>	<b>100,0</b>	<b>1262969,0</b>

Em termos de modelo deposicional, os Ar. Ot. «terão sido depositados em sistema aluvial de baixa sinuosidade, essencialmente areno-conglomerático que evoluiu no sentido distal e temporal para um sistema de alta sinuosidade, mais estável, de canais anastomosados e planície de inundação, onde se iniciaram os primeiros lagos ou pântanos, que recebiam os sedimentos finos da unidade seguinte: as Argilas de Tomar.» MARTINS (1999, p. 13). A unidade Ag. Tm. é de fácies silto-argilosa de cor vermelha/alaranjada e o ambiente

deposicional é característico de planícies de inundação em posição distal, próximas do delta, ou seja, do litoral (BARBOSA, 1995, p. 102 e MARTINS, 1999, p. 14). Associada à terceira etapa de enchimento sedimentar, tem-se a Aloformação de Almeirim que integra as unidades litostratigráficas Conglomerados da Serra de Almeirim (Cg. SA.) e Arenitos de Ulme (Ar. Um.), que constituem «... o cimo do enchimento da Bacia Cenozóica do Baixo Tejo, expresso, em termos morfológicos, pela sua superfície culminante.» (MARTINS, 1999, p. 21). Estas unidades integram um modelo de carácter progradativo/agradativo, («...associado a sistemas fluviais do tipo leque aluvial, em conformidade com relevos sujeitos a levantamentos tectónicos (...) terão constituído um vasto sistema aluvial exorreico que precedeu o encaixe da rede fluvial quaternária» *ibidem*, p. 28) onde os Arenitos de Ulme representam a associação de fácies mais distal e ligeiramente diacrónica em relação aos Cg. SA. (*ibidem*, p. 21), de carácter proximal. Esta aloformação assenta por descontinuidade estratigráfica de importância regional sobre as Ag. Tm., ou por descontinuidade sobre o soco varisco, nas áreas de bordo. (*ibidem*, p. 23).

## 1.2.4 Geomorfologia

### 1.2.4.1 Caracterização do relevo

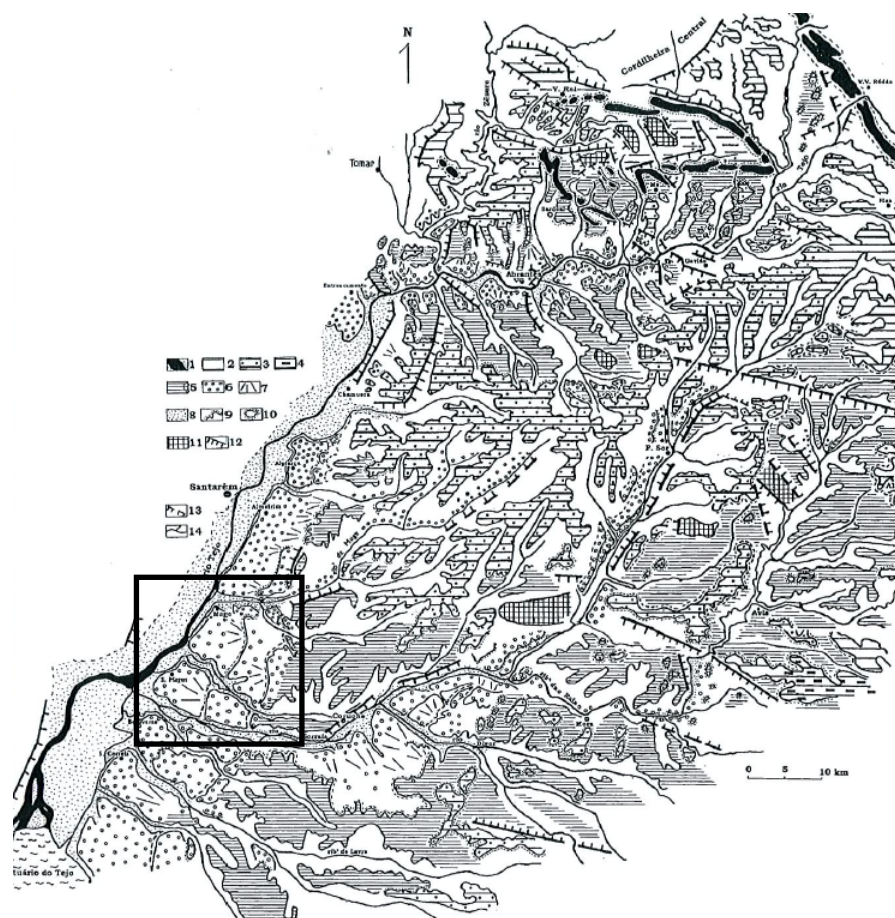
Ao comparar-se o mapa geomorfológico com o litológico confirma-se a não correspondência entre as unidades litostratigráficas e as unidades geomorfológicas no que se refere ao nível Mora-Lamarosa e terraços fluviais T1 e T2, parte, que se encontram associados a rochas mais coerentes, mas friáveis, **com superfícies truncadas com embutimento, e portanto, onde ocorre ablacção**. Por outro lado os terraços fluviais T3 e T4 são formas de relevo suportados, do ponto de vista reológico por areias e balastro associadas ao processo geomorfológico de acumulação. Entende-se que são aquelas características que pesaram na cartografia litostratigráfica para se assumir que T1 e T2, parte, serão substrato terciário em vez de quaternário.

De acordo com MARTINS, 1999, o quadro geomorfológico da BCBT permite classificá-la em diferentes áreas morfoestratigráficas em função da morfologia, litostratigrafia e enquadramento tectónico. Assim, tem-se os seguintes níveis de aplanção (fig. 11):

**a)** a superfície fundamental: no bordo norte, junto ao Maciço Antigo/Maciço Hespérico, termo também utilizado por RAMOS PEREIRA (1990), para áreas próximas do litoral ocidental português, e que se refere a uma superfície de erosão poligénica com altitudes inferiores a 400 m, que, a nível regional, constitui o arrasamento principal do Maciço Hespérico (MARTINS, 1999, p. 30);

**b)** a superfície culminante: constituída pela unidade do topo do enchimento da bacia, é um elemento morfoestratigráfico de referência (*ibidem*, p. 101), salientando-se a Serra de Almeirim (que se entende ser um empolamento da superfície culminante e que preserva o manto conglomerático da Aloformação de Almeirim, com espessuras da ordem dos 25-30 m, que a define), pela sua proximidade, a Norte da área de estudo (anexo A.2);

c) o nível de Mora-Lamarosa (NML): constitui uma superfície erosiva extensa e é o nível de embutimento mais antigo da BCBT (corresponde ao primeiro embutimento na superfície culminante da bacia (ibidem, p. 436), com altitudes entre os 100-130 m. «Consideram-se níveis embutidos, os níveis desenvolvidos abaixo da superfície culminante da bacia, pela rede de drenagem actual, nomeadamente do rio Tejo ou dos seus afluentes e cuja idade é considerada quaternária, na bibliografia sobre este tema. Estes níveis podem assumir formas de superfícies erosivas e terraços de acumulação.» (ibidem, p. 193). O NML destruiu a superfície culminante nas áreas distais do sistema deposicional, especialmente a fácies distal da Aloformação de Almeirim, preservando-se sobretudo os depósitos de fácies proximal nas áreas proximais e intermédias (MARTINS, 1999, p. 140). Também trunca parcialmente os Ar. Um. Esta área morfoestratigráfica já ocorre na área de estudo.



**Figura 11** – Sector de estudo (contorno a cheio) sobreposta à geomorfologia da parte central e nordeste da Bacia do Baixo Tejo (Adaptado de MARTINS, 1999, p. 100-A).

Legenda: Relevos de quartzitos; 2 – Superfície fundamental (superfície do Alto Alentejo); 3 – Superfície culminante da Bacia; 4 – calcários do Cano; 5 – nível de Mora-Lamarosa; 6 - terraços; 7 – *glaciais*; 8 – planície aluvial do Tejo; 9 – alto e base de vertente, ou rebordo interior de terraço; 10 relevos residuais; 11 – relevos de tipo *horst*; 12 – escarpas de falha; 13 – Escarpas de falha prováveis; 14 – cursos de água.

Os seguintes níveis de embutimento, ou sucessivos episódios morfodinâmicos, correspondem a formas de relevo do tipo terraços e *glaciais*, adoptando-se a classificação de MARTINS (1999). Os terraços fluviais também se encontram cartografados na Carta Geomorfológica de Portugal na escala 1/500K (mancha de forma

de relevo fluvial, ref.<sup>a</sup> 51) e dominam os fundos de vale conforme a sua notícia explicativa («Ces fonds de vallees sont domines par une serie de terrasses tantot entaillees dans le socle et marquées par des pellicules de cailloux emousses, tantot emboitees dans d'épaisses formations sedimentaires ou alluviales.» (FERREIRA, 1981, p. 23).

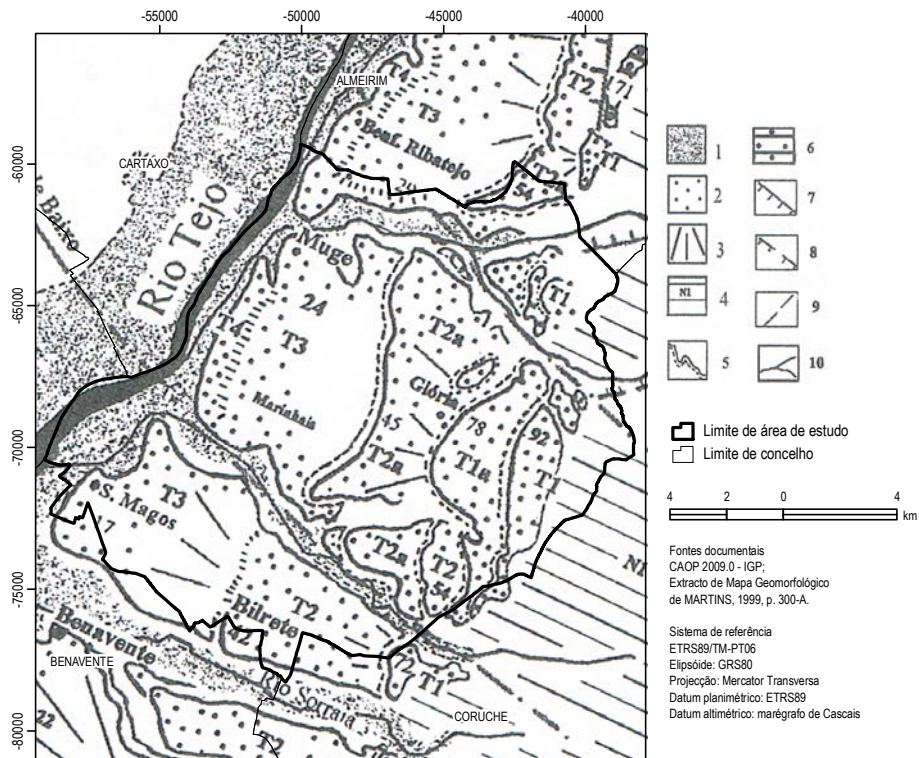
Na área de estudo MARTINS (1999) identificou 4 níveis principais de embutimento (quadro 7 e fig. 13). O terraço tipo T1 corresponde ao terraço tipo de Ferrarias (terraços mais antigos). O seu estudo beneficiou de análise sedimentológica face à incerteza relativamente à posição morfoestratigráfica próxima do NML ((Nível 1 (N1) e que pode subdividir-se (com significado local), à semelhança do T2, com significados geomorfológicos diferentes.

**Quadro 7** – Principais níveis embutidos a jusante de Chamusca. (Ext. de MARTINS, 1999, pp. 308-309).

Terraço tipo	Entre Alpiarça e Almeirim	Área de Glória do Ribatejo - serra de Almeirim	A jusante da ribeira de Magos
Ferrarias	(T1) Terraços de acumulação na extremidade ocidental do nível de Mora-Lamarosa a 100-110 m. Ex.: terraço de Ferrarias.	(T1) Terraços de acumulação na extremidade ocidental do nível de Mora Lamarosa. (Ex.: Terraços de Ferrarias (100 m), Cocharro, Caniçais e serra da Folga (90 m)).	(T1) Terraços de acumulação na extremidade ocidental do nível de Mora-Lamarosa, altitude 60-70 m (Ex.: Cascavel, Peso e Cascalho).
		(T1a) Subdivisão do terraço de serra da Folga. Alt. 75-80 m a leste de Glória do Ribatejo. Possivelmente, terraço erosivo embutido na superfície do T1.	
Bilrete	(T2) Patamar intermédio. Altitude de 70-80 m a leste de Alpiarça. Terraço de acumulação.	(T2) Terraço de acumulação de Convento da Serra com 75 m a oeste da serra de Almeirim e com 60-65 m na área de Glória do Ribatejo.	(T2) Terraços de acumulação de Bilrete e Carvoeira, com altitude de 40-50 m e 35-40 m, respectivamente.
		(T2a) Terraço de acumulação de Chão da Murta (40-55 m). Terraço da estação da RARET, truncado por um <i>glacis</i> .	
Alpiarça	(T3) «Terraço médio» de Zbyszewski (1946). Alt. de 25-50 m em Almeirim. Terraço de acumulação nos 2/3 inferiores da superfície. A leste de Almeirim, possivelmente um <i>glacis</i> -terraço.	(T3) Terraço de Marinhas com altitude de 20-35 m. Terraço de acumulação nos 2/3 inferiores. Possivelmente um <i>glacis</i> -terraço.	(T3) Rampa a leste de Salvaterra de Magos, Benavente e Samora Correia. Possivelmente um <i>glacis</i> -terraço. Altitude de 15-30 m.
Benfica do Ribatejo	(T4) Rampa com altitude de 10-17 m em Almeirim. Terraço de acumulação, ou retoque erosivo no T3?	(T4) Rampa com altitude de 10-17 m em Escaroupim. Terraço modelado em <i>glacis</i> , ou terraço deformado?	

Directamente influenciado pela geomorfologia estrutural (morfotectónica), destaca-se a reduzida condutividade hidráulica do substrato do relevo planáltico no interflúvio rib.<sup>a</sup> da Lamarosa – rib.<sup>a</sup> de Muge. Salienta-se a ausência da unidade litostratigráfica Ar. Um. (rochas areníticas coesas), entre o sector a Sul da ribeira da Lamarosa, sobre o terraço de Cocharro em direcção ao vértice geodésico (v. g.) Cocharro e depois até ao v. g. Junco, ou seja, a rotura estratigráfica que coloca em contacto o T1 (rochas conglomeráticas coesas) e substrato miocénico identificado como sendo Ag. Tm (rochas argilosas ou pelíticas) (fig. 13).

Em termos geomorfológicos o T1 geralmente não se encontra embutido no NML, podendo surgir destacado, o que se atribui ao «diferente desempenho, face à erosão, dos conglomerados dos terraços, relativamente às formações greso-argilosas em que se desenvolve o NML....» (MARTINS, 1999, p. 299).



**Figura 12** – Mapa geomorfológico com os principais níveis de terraços do baixo vale do Tejo. (Ext. de MARTINS, 1999, p. 300-A).

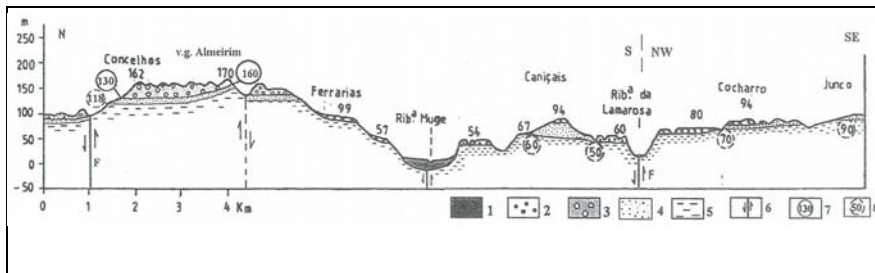
Legenda: 1 – planície aluvial; 2 – terraços; 3 - *glacis*; 4 - nível de Mora Lamarosa; 5 – alto e base de vertente, ou rebordo superior e inferior de terraço; 6 – superfície culminante da bacia; 7 – escarpa de falha; 8 – escarpa de falha provável; 9 – alinhamento de vale de fractura; 10 – curso de água.

Apresenta declive fraco e degraus pouco marcados. É constituído por conglomerados e arenitos e possança geralmente inferior a 5 m, apresentam maior percentagem de calhaus de quartzo (Qt) do que os Cgl. SA., o *mean maximum particle sizes* (MPS) é ligeiramente superior face a estes últimos (ibidem, pp. 440-441). Considera-se que possa corresponder a um sector planáltico face à posição relativa elevada (altitude superior a 75 m) em detrimento da restante superfície a Oeste, conforme ilustrado nas fig. 14, 15, 16 e tema da morfometria. A sua dissecção é pouco significativa no sector central, indicando que se trata, em determinada altura, de um relevo com boa condutividade hidráulica. Salienta-se a provável existência de um padrão de drenagem em treliça (RAMOS, 2005b, p. 52; BABAR, 2005, p. 111-112; DUNNE e LEOPOLD, 1978, p. 498; MORISAWA, 1985, pp. 159-160; CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 105; SUMMERFIELD, 1991, p. 406).

O segundo patamar do vale do Tejo é o terraço tipo T2 que corresponde ao terraço de Bilreite cuja extensão é próxima do T3 na área de Bilreite. De acordo com o mesmo autor, posiciona-se entre os terraços sob as rubricas T1 e T3, é relativamente estreito e aparenta ter um enchimento de 20 m num corte<sup>3</sup> efectuado na margem direita do rio Sorraia, em Bilreite (anexo A.4), e mais a Norte, em Glória do Ribatejo um corte<sup>4</sup> efectuado (anexo A.5) evidenciou possança de 5,5 m (ibidem pp. 340-A e 340-C, respectivamente).

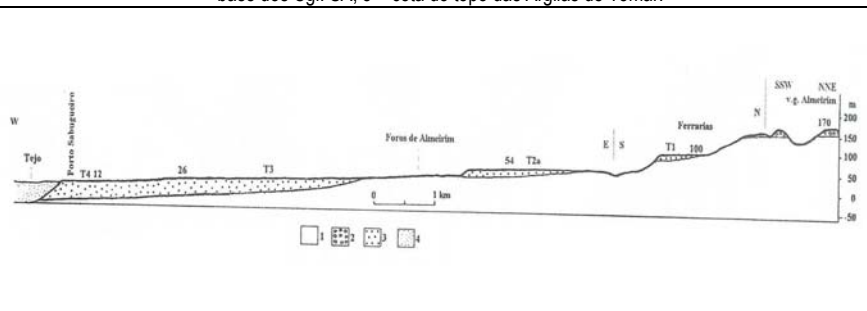
<sup>3</sup> Coordenadas UTM: x,y = ND 228,137 ou Datum 73 Pt: x,y = -52201,96, -77046,29.

<sup>4</sup> Coordenadas UTM: x,y = ND 286,253 ou Datum 73 Pt: x,y = -46379,07, -65615,25.



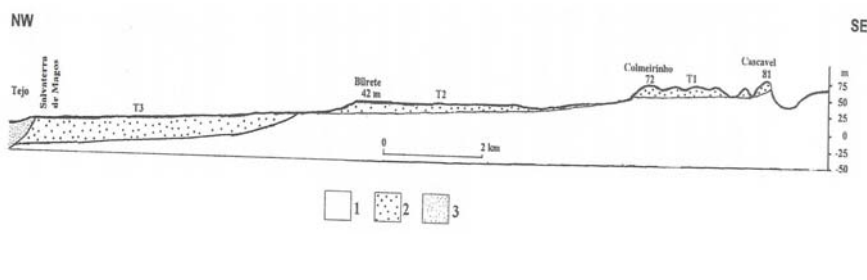
**Figura 13** – Perfil geomorfológico da serra de Almeirim para o v.g. Junco, cruzando as ribeiras de Muge e Lamarosa. (Ext. de MARTINS, 1999, p. 136-A).

Legenda: 1 - aluviões (Holocénico); 2 - terraços (Plistocénico); 3 - Conglomerados de Serra de Almeirim (Pliocénico); 4 - grés e argilas (Miocénico Superior); 5 - Argilas de Tomar (Miocénico); 6 - falhas; 7 - cota da base dos Cgl. SA; 8 - cota do topo das Argilas de Tomar.



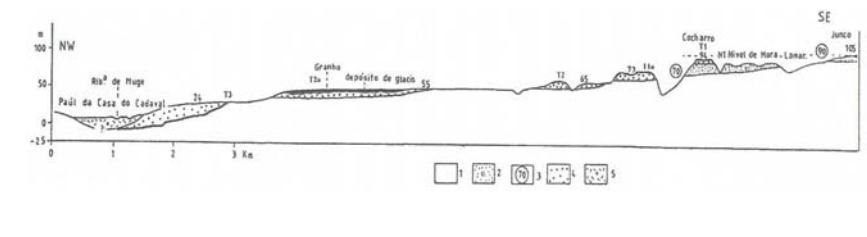
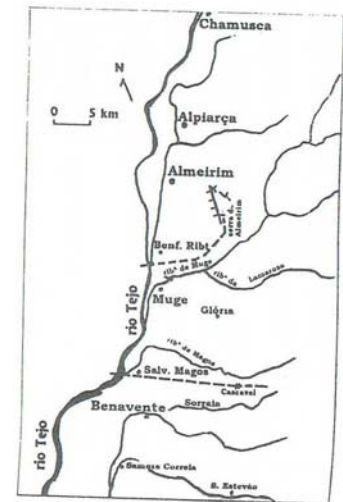
**Figura 14** – Perfil dos terraços do Tejo na área de Foros de Almeirim. (Ext. de MARTINS, 1999, p. 300-B).

Legenda: 1 - substrato miocénico; 2 - Cgl. SA. (Pliocénico); 3 - terraços (Plistocénico); 4 - aluviões (Holocénico).



**Figura 15** – Perfil dos terraços da margem esquerda do Tejo a E de Salvaterra de Magos. (Ext. de MARTINS, 1999, p. 300-B).

Legenda: 1 - substrato miocénico; 2 - terraços (Plistocénico); 3 - aluviões (Holocénico).



**Figura 16** – Perfil dos terraços da margem esquerda do Tejo na área de Glória do Ribatejo. (O perfil não chega a cruzar o terraço T4) (Ext. de MARTINS, 1999, p. 302-A).

Legenda: 1 - substrato miocénico; 2 - «Arenitos de Ulme» (Pliocénico); 3 - cota da base dos «Arenitos de Ulme»; 4 - terraços (Plistocénico); 5 - aluviões (Holocénico).

O T2a aparenta ter uma possança na ordem dos 3 m na área da antiga RARET<sup>5</sup>, a Oeste de Glória do Ribatejo. A sua evolução enquadra-se no 5.º episódio, de um total de nove, de evolução Plio-Quaternária da BCBT (MARTINS, 1999, p. 455). Não obstante, por norma, o T2 constitua um terraço de acumulação, nem todo o patamar é considerado como tal. De facto, a Oeste de Glória do Ribatejo, sobre a antiga área da RARET, este terraço (T2 e T2a) foi modelado em *glacis*, truncando parte do seu enchimento (fig. 16, 17, 18). À posição adjacente aos terraços mais antigos, a forma de bordadura dos mesmos, associa-se um substrato areno-conglomerático, com fenoclastos e greso-argiloso.

O terraço tipo T3 corresponde ao terraço de Alpiarça. Com base na profundidade do muro composto por calhaus rolados, obtida a partir de sondagens hidrogeológicas, admite-se um enchimento na ordem dos 30 m na área de Marinhais e Muge, e mais a jusante, na área de Salvaterra de Magos e Benavente, na ordem dos 50-60 m. A Oeste da Serra de Almeirim, na área de Benfica do Ribatejo, o maior declive no terço superior do T3 (1%) sugere que este patamar possa corresponder a uma forma erosiva truncando a superfície de terraço, ou o substrato miocénico, que surge na base dos terraços T2 e T2a (fig. 14, 15, 16) (ibidem, p. 302). Possui a particularidade de possuir um substrato arenoso e com fenoclastos.

O terraço tipo T4, corresponde ao terraço de Benfica do Ribatejo e constitui uma rampa estreita entre a planície aluvial e o terraço de Marinhais (T3), mas que chega a possuir 1 km de extensão e declive de 1% na área de Escaroupim (ibidem, p. 307) / Mata Nacional do Escaroupim. O substrato é semelhante ao do T3.

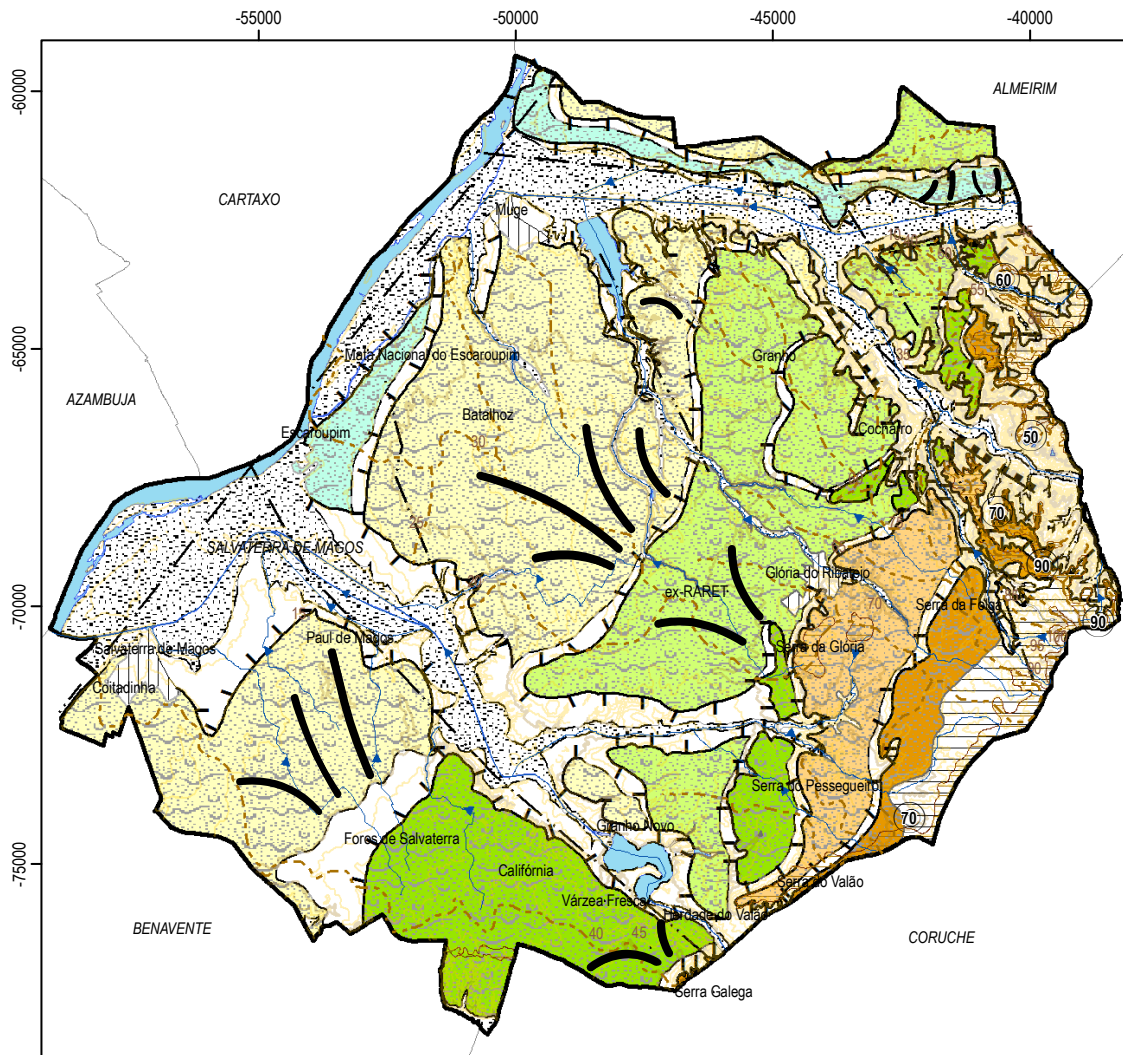
Para a caracterização do tema da Geomorfologia elaborou-se um mapa geomorfológico tendo por base MARTINS (1999), cartografia topográfica e ortofotomapas na escala 1/10K, em ambiente de sistema de informação geográfica, cujo resultado se encontra na fig. 17.

As unidades geomorfológicas correspondem, de Este para Oeste, à superfície de aplanção do NML (3,5%), terraços fluviais (41,5%) e aluviões (16,6%) do rio Tejo, dos pauis das ribeiras de Muge e Magos, das ribeiras de Lamarosa, do Vale da Pernada da Fonte, do Vale do Texugo, do Vale do Cavalheiro e troço a montante da albufeira de Magos na ribeira de Magos. Com excepção da primeira, as seguintes são formas de acumulação, embora os terraços possam estar a sofrer erosão como denunciam os *glacis* de ablação. As aluviões possuem maior dimensão nas planícies aluviais. Sucedem outras subunidades que se caracterizam por ocorrerem sobrejacentes às primeiras, geralmente através de processos erosivos, que se podem enquadrar, dependendo da escala de análise temporal em paisagens em degradação ou agradação. Como exemplo de forma erosiva de génese fluvial têm-se as cabeceiras de vale, que podem denominar-se como forma hidrogeomorfológica.

As estruturas sedimentares que ocorrem são consolidadas ou não consolidadas de génese fluvial, de fácies do tipo leque aluvial, do tipo estrutura maciça ou de fácies de planícies de inundaçãõ (de Este para Oeste).

---

<sup>5</sup> RARET = Sociedade Anónima de Rádio-Retransmissão, utilizada entre 1951 e 1996, entretanto extinta e desmantelada.



**Morfometria**

- Isóipsas (eq. 5 m)
- Curva de nível mestra
- Curva de nível secundária

**Formas e formações de vertentes e interflúvios**

- Cumeada
- Cabeceira de vale
- Base de vertente ou rebordo interior de terraço fluvial
- Alto de vertente ou rebordo exterior de terraço fluvial
- Glacis de ablação
- Sistema de vertente
- Nível erosivo Mora - Lamarosa (N1) - (Plio-Quaternário)

**Substrato e formas de relevo relacionadas**

- Tecto das Ag. Tm. / Muro Cgl. SA. ou Ar. Um. (Miocénico / Pliocénico)
- Escarpa de falha com provável movimento de componente inverso
- Escarpa de Falha
- Principais alinhamentos de fracturas

**Formas de origem antrópica**

- Limite de área de estudo
- Área antropizada compacta
- Limite de concelho

**Formas e depósitos de origem fluvial**

- Talvegue
- Fundo de vale ou valeiro aluvionar (Holocénico)
- Terraços fluviais (Plistocénico)
- Terraço 4 (T4)
- Terraço 3 (T3)
- Terraço 2a (T2a)
- Terraço 2 (T2)
- Terraço 1a (T1a)
- Terraço 1 (T1)
- Massa de água



Sistema de referência  
 ETRS89/ITM-PT06 (Elipsóide: GRS80; Projecção: Mercator Transversa;  
 Datum planimétrico: ETRS89; Datum altimétrico: marégrafo de Cascais)

Fontes documentais  
 Cartografia topográfica 1/10 K, 1999; 2006 e ortofotomapas, 2006 (CMSM/CIMLT); CAOP v2009.0, IGP.  
 Dados morfológicos, morfo genéticos, morfo cronológicos e estruturais (substrato) modificados de MARTINS, 1999).

Figura 17 – Mapa Geomorfológico.

As altitudes acima dos 100 m (cumeada a Este), estão associadas a substratos de idade terciária, designadamente arenitos argilosos e conglomerados, porém, friáveis, classificado no mapa geomorfológico como unidade geomorfológica do NML, onde a infiltração e condutividade hidráulica é reduzida. A unidade geomorfológica terraços fluviais apresenta uma extensão espacial significativa e apresenta condutividade hidráulica moderada a elevada (especialmente o T3, que se encontra encimado por areias e fenoclastos).

Na unidade geomorfológica planície aluvial ou vales e vales aluvionares, a infiltração e condutividade hidráulica é variável, porém, por existir ligação hidrológica entre zona insaturada e zona saturada (o que potencia as cheias e inundações fluviais) e serem caminhos de escoamento superficial com ligação com cursos de água permanentes, deverão possuir classificação elevada, em termos de condutividade hidráulica. Nesta unidade estão associadas rochas detríticas, não consolidadas, de idade holocénica, nomeadamente areias, siltes e argilas. Relativamente às vertentes, estas apresentam, genericamente, um perfil transversal geralmente côncavo, com excepção dos rebordos exteriores dos terraços mais antigos. Salienta-se a dissimetria do vale da ribeira de Muge e comandos de vertente de perfil rectilíneo (e que corresponde a uma escarpa de falha) que chegam a ultrapassar 40 m na margem esquerda, para Este do meridiano da embocadura da ribeira da Lamarosa.

Considerando que a extracção automática de cabeceiras de vale acarreta erros por omissão nomeadamente por não ter em consideração a identificação, diferenciação e importância hidrológica dos cursos de água, optou-se pela sua interpretação manual, salientando-se a maior frequência de ocorrência destes geomorfismos no sector planáltico da área de estudo (a Este do meridiano da vila de Glória do Ribatejo), por existir mais energia potencial da água (influenciada pela superior amplitude altimétrica). Justifica-se a delimitação de cabeceiras de vale na Serra da Glória por estarem associadas às nascentes das rib.<sup>as</sup> do Vale Silhão e do Vale da Serra, que são subafuentes importantes no contexto das sub-bacias hidrográficas a que pertencem, num dos relevos destacados do planalto (apesar de drenarem bacias vertente com solo e subsolo, que é localmente aquífero, de condutividade hidráulica moderada) e potenciarem a infiltração e percolação neste troço superior, muito próximo do sistema aquífero T7, e desempenharem uma função relevante para a prevenção e redução de situações de cheias e inundações.

#### **1.2.4.2 Morfometria**

Neste contexto, efectua-se análise hipsométrica, de acordo com CHRISTOFOLETTI (1980, p. 117) que consiste em «...estudar as inter-relações existentes em determinada unidade horizontal de espaço no tocante a sua distribuição em relação às faixas altitudinais, indicando a proporção ocupada por determinada área da superfície terrestre em relação às variações altimétricas a partir de determinada isoipsa base. Considerando a distribuição altitudimétrica da área de estudo, observa-se uma maior frequência de ocorrência relativa das classes hipsométricas dos 0 – 30 m concentrando-se cerca de 50% da área total. A curva hipsométrica também possibilita evidenciar a ruptura de declive que acontece à cota dos 70 m, esclarecendo que acima deste limite

situa-se uma percentagem de área acumulada equivalente a 11,9% do relevo e 29,1 km<sup>2</sup>. A forma convexa do integral hipsométrico associa-se a áreas de drenagem dos troços superiores no contexto da área de estudo, enquanto nos troços intermédios e inferiores a curva hipsométrica apresenta tendência para assumir uma forma côncava (quadro 8, fig. 18).

Os índices de relevo, como por exemplo o índice de rugosidade e relação de relevo de Melton, encontram-se explanados em CHRISTOFOLETTI (1980, pp. 119-121); REIS (1996, pp. 169-170); RAMOS (2009, pp. 38-39). O valor do indicador de rugosidade (adaptado de Melton, modificado) é dos mais baixos de Portugal continental e característico dos troços jusante dos vales do Tejo e Sado (de acordo com RAMOS PEREIRA; RAMOS, C. e Colaboradores (2000, pp. 18-20), em análise efectuada à escala nacional para todos os concelhos do Continente. Por outro lado, CHRISTOFOLETTI (1980, p. 118) refere que «Conhecendo-se a altura e a área de cada faixa altitudinal analisada, é fácil calcular o volume de cada faixa respectiva. A soma de todas representará o volume rochoso ainda existente na região. Se considerarmos o espaço total do quadrado como correspondente ao volume global, inicial e ideal da referida porção territorial, o espaço, situado entre a curva hipsométrica e as linhas inferior e lateral esquerda, representa o volume ainda existente.» (quadro 8).

**Quadro 8 – Classes altimétricas da área de estudo.**

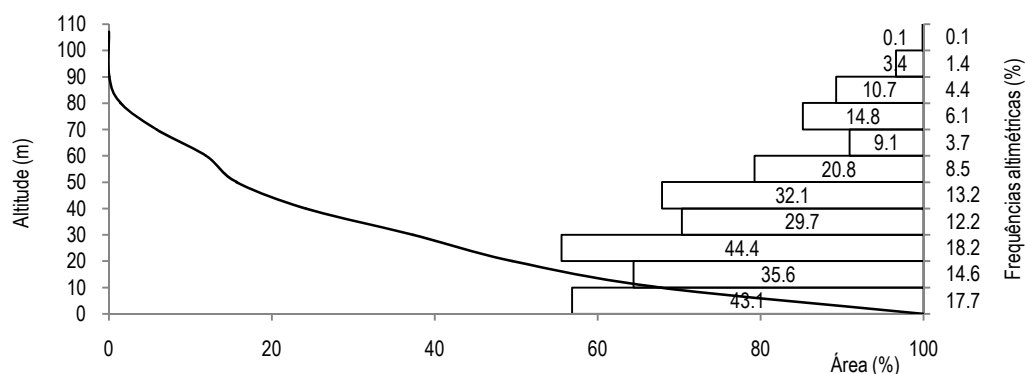
Classe altimétrica	Superfície de cada classe altimétrica		Superfície acumulada	Altitude média entre curvas de nível	P (S*h)	Volume (S*Altura)
	km <sup>2</sup> (S)	%				
> 100	0,1	0,1	243,9	103,5	14,2	1,0
90 - 100	3,4	1,4	243,8	95	320,9	33,8
80 - 90	10,7	4,4	240,4	85	912,5	107,3
70 - 80	14,8	6,1	229,7	75	1111,3	148,2
60 - 70	9,1	3,7	214,9	65	591,2	90,9
50 - 60	20,8	8,5	205,8	55	1142,5	207,7
40 - 50	32,1	13,2	185,0	45	1445,7	321,3
30 - 40	29,7	12,2	152,9	35	1038,3	296,6
20 - 30	44,4	18,2	123,2	25	1111,2	444,5
10 - 20	35,6	14,6	78,8	15	534,4	356,3
< 10	43,1	17,7	43,1	5	215,7	431,3
Σ	243,93	100,00			8437,6	2438,9
Altitude máxima:	107		Coefficiente de massividade (Fourier): H/S	0,14		
Altitude mínima:	0		Coefficiente orográfico (Fourier): Co=H*tg <sub>a</sub> ou H <sup>2</sup> /S	4,9		
Altitude média: H = ΣP/ΣS =	34,6		Relação de relevo (Melton): Rr=H <sub>m</sub> /P*100	146,5		
Altura média: onde Am (H - Am) =	34,6		Índice de rugosidade (Melton): Ir=Hm*Dd	416,1		

Perímetro da área de estudo (km)	73,0	Comprimento cursos de água (km)	948,7	Superfície da área de estudo (km <sup>2</sup> )	243,9	Dd	3,9
----------------------------------	------	---------------------------------	-------	---	-------	----	-----

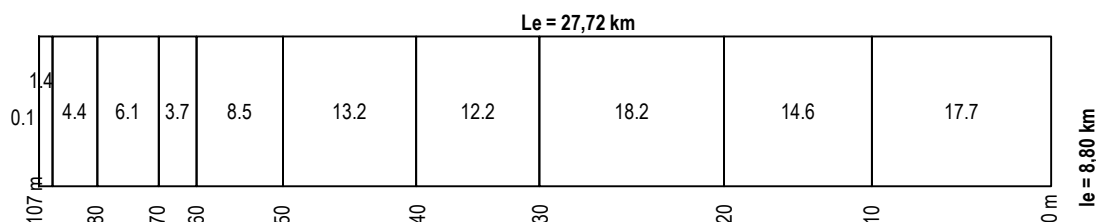
Nota: Onde Am é a altitude mínima da bacia; Hm é a amplitude altimétrica; P o perímetro; Dd a densidade de drenagem.

REIS (1996, p. 164) refere que «Este espaço ainda existente (soma de todas as faixas) delimitado no gráfico pela curva hipsométrica e os eixos da abcissa e da ordenada, representa, assim, o volume ainda por erodir através dos agentes de morfogénese (de forma a acabar com os desníveis existentes entre os diversos pontos da bacia de drenagem) e é chamado de integral hipsométrica».

O rectângulo equivalente (fig. 19) permite visualizar melhor as percentagens de áreas altitudinais e calcula-se de acordo com, por exemplo, VILLELA e MATTOS (1975, pp. 25-26); LENCASTRE e FRANCO (2010, pp. 36-37) ou RAMOS (2009, pp. 39-40).



**Figura 18** – Curva hipsométrica.



**Figura 19** – Rectângulo equivalente.

Legenda: Le, comprimento do rectângulo; le, largura do rectângulo.

Relativamente à hipsometria, as classes altimétricas não têm sempre o mesmo intervalo porque se pretende por em evidência os valores extremos, permitindo individualizar os maiores relevos, mas também as áreas mais baixas. Saliem-se três grandes conjuntos estritamente do ponto de vista morfométrico. Um sector elevado a Este da albufeira de Magos, denominado planáltico, um sector intermédio, escalonado em patamares, de reduzida amplitude altimétrica, a Oeste da mesma linha e a Este do rio Tejo e por último, o sector de fundo de vale, caracterizado por reduzidas amplitudes altimétricas, por onde se escoam os principais cursos de água, de direcção Este – Oeste, Sudeste – Noroeste e Norte – Sul (fig. 20).

A divisão em classes de declive baseia-se na susceptibilidade ao escoamento superficial, tendo sido adaptada das seguintes referências bibliográficas: M.M.A. (2004, pp. 187-196); RAMOS PEREIRA e GOMES (1996, p. 137); CANGUEIRO (1991, p. 20); MARSH (1983, p. 207) e S.R.O.A. (1972, pp. 25-28). Este parâmetro condiciona o escoamento superficial, hipodérmico e subterrâneo de determinado fluido, favorecendo ou dificultando a permanência à superfície ou infiltração e percolação, podendo funcionar como impedância ou atenuador ou acelerador, por exemplo à degradação de massas de água subsuperficiais ou superficiais.

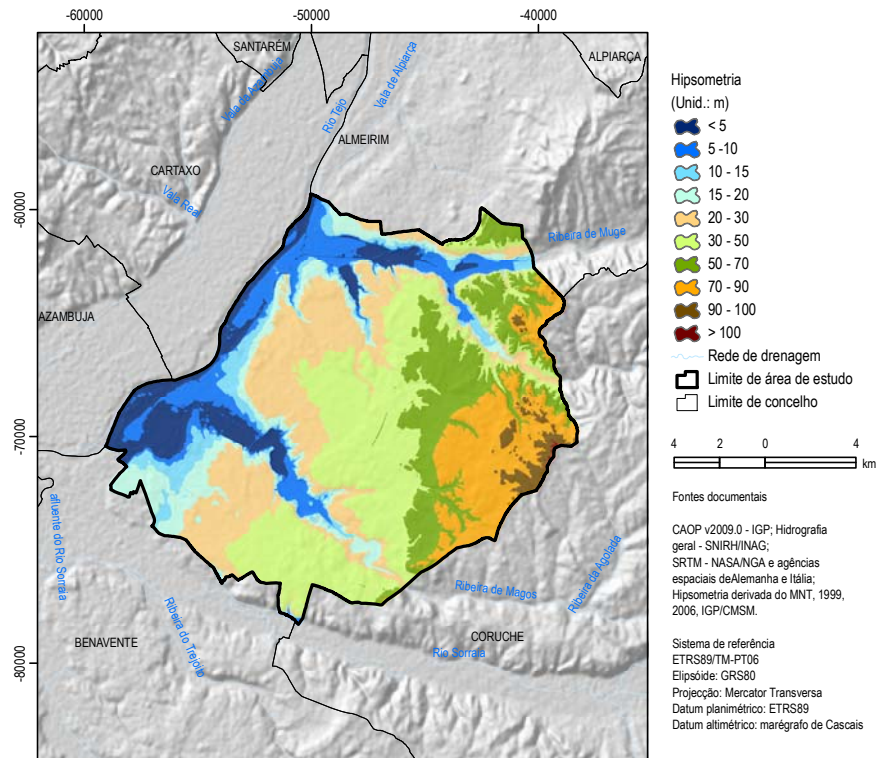


Figura 20 – Repartição geográfica das classes de altitude.

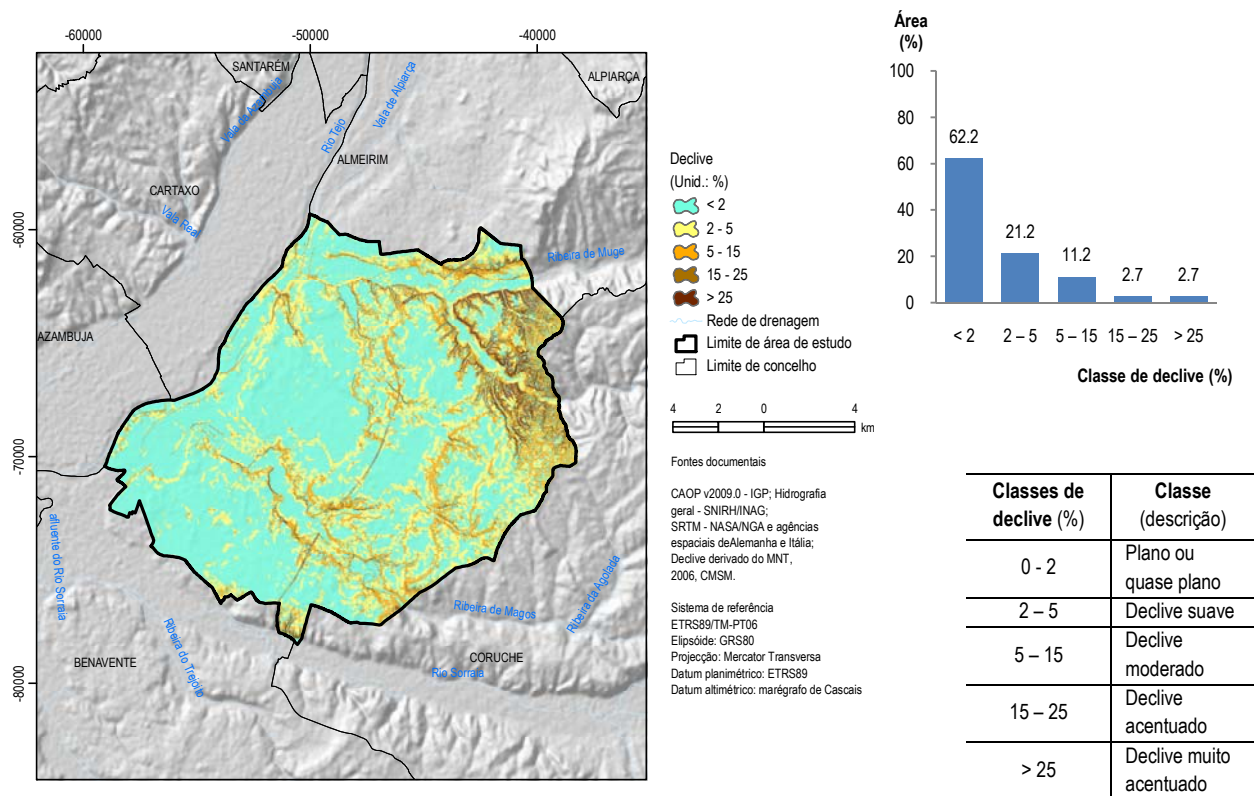


Figura 21 – Repartição geográfica de classes de declive.

Segundo, REIS (1996, p. 171) «O declive do terreno controla, em grande parte, a velocidade com que se processa o escoamento superficial e, conseqüentemente, o tempo que a água leva a concentrar-se nos leitos fluviais da rede de drenagem. É como tal, um factor de grande interesse hidrológico, em particular em bacias de pequenas dimensões, onde o processo de escoamento superficial pode ser dominante na determinação da forma do hidrograma. Afecta, portanto, as condições de infiltração, com influência na grandeza das pontas de cheia e na susceptibilidade dos solos à erosão...». A área em estudo apresenta 62,2% da sua superfície terrestre com declives inferiores a 2% e apenas 2,7% da área com declives superiores a 25% (fig. 21). Os declives superiores ocorrem no sector planáltico e degraus altitudinais dos terraços fluviais superiores na direcção N45°E de Glória do Ribatejo, assim como nas margens de cursos de água, como por exemplo, secção Este da ribeira de Muge, secção transversal da ribeira da Lamosa e ribeira de Magos e sector de margem direita do rio Sorraia. REIS (1996, p. 178) refere que a exposição de vertentes «A nível hidrológico tem também importância nos valores da evapotranspiração, dependente da maior ou menor exposição à radiação solar». Também adquire importância na medida em que é integrado em algoritmos para extrair automaticamente formas topográficas a partir de MDE, como é exemplo a técnica D8 (oito direcções de escoamento) de O' Callaghan e Mark (1984).

Na área de estudo, para além das áreas planas que representam 9,2%, constata-se que as vertentes estão maioritariamente expostas para os octantes Noroeste e Oeste, num total de 32,5%, o que influencia a rede de drenagem e o escoamento subterrâneo (fig. 22).

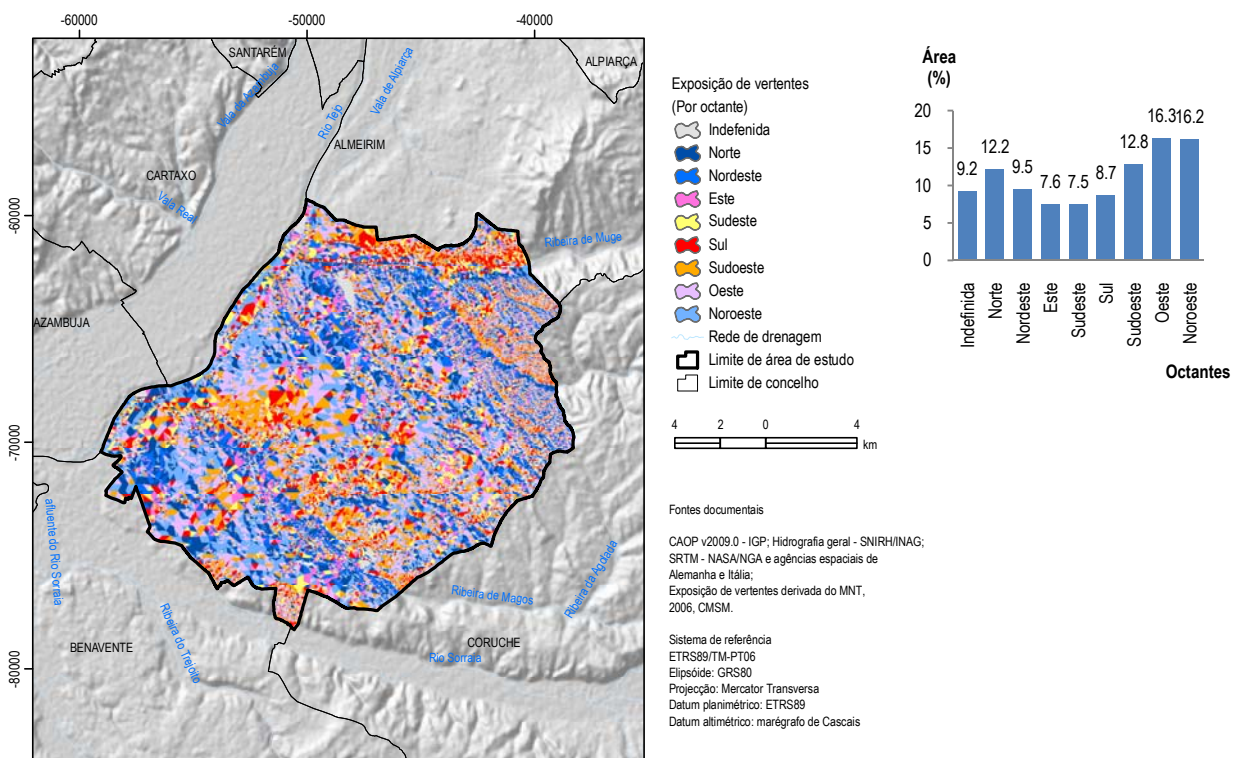


Figura 22 – Repartição da exposição de vertentes por octante.

### 1.2.4.3 Geomorfologia e hidrologia subterrânea

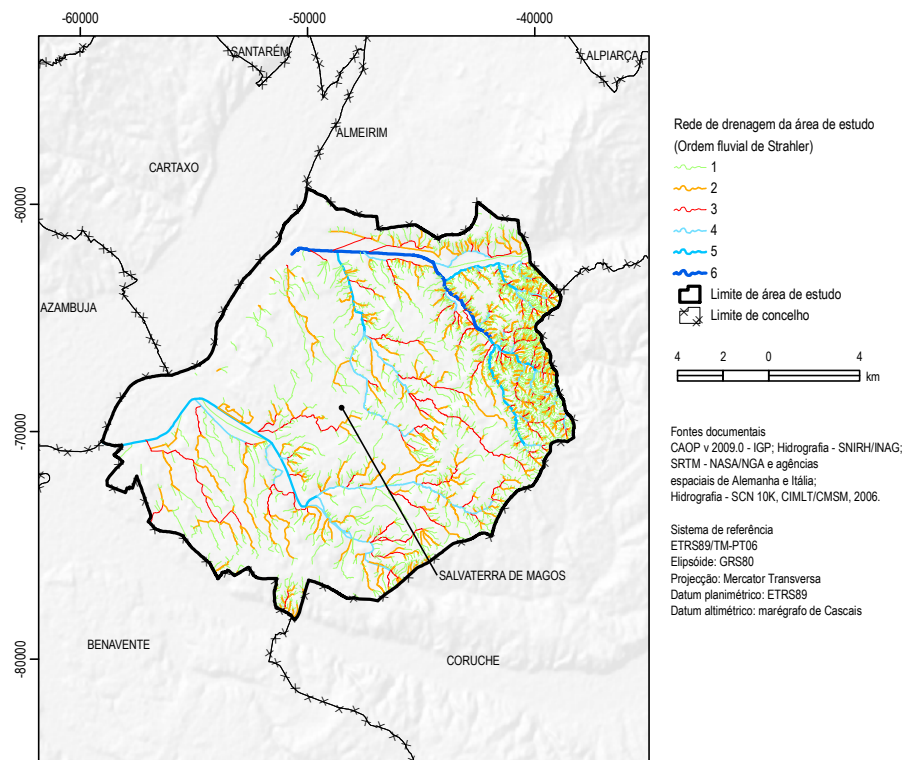
De acordo com CUSTODIO e LLAMAS (1983, p. 2267) as águas subterrâneas são condicionadas pela geologia e pela geomorfologia, sendo que a primeira acomoda a distribuição da condutividade hidráulica e a segunda a disposição das áreas de recarga e descarga e também a ocorrência de precipitação e escoamento superficial.

A circulação de água subterrânea (dependente, fundamentalmente, da climatologia, geologia e geomorfologia), com certa geologia, geomorfologia e clima, proporciona o estabelecimento de um sistema de fluxo onde existem áreas de recarga (fluxo com componente vertical descendente), áreas de descarga (fluxo com componente vertical ascendente) e áreas de transferência (fluxo com componente horizontal) que se comporta como uma zona de transferência que conecta as duas primeiras, cujas direções estão correlacionadas com o potencial hidráulico. Podem existir várias áreas de recarga e descarga e vários modos de transferência em função do lugar e profundidade (ibidem, 1983, p. 2268). A respeito das áreas cársticas veja-se FREEZE e CHERRY (1979, pp. 513-515).

BABAR (2005, p. 174) refere que a aplicação mais importante dos estudos hidrogeomorfológicos é a avaliação de zonas potenciais de água subterrânea de uma bacia hidrográfica ou sub-bacia. Acrescenta que a viabilidade dos mesmos deverá ocorrer através de análise/avaliação multicritério, cujo processo envolve a combinação de informação de vários critérios para formar um único índice de avaliação. Os dados necessários implicam informação da geologia, declive e solos.

A densidade de drenagem também possui significado hidrogeográfico na medida em que o desenvolvimento da rede de drenagem superficial está relacionada com a condutividade hidráulica do subsolo (admitindo condições uniformes em termos de clima e declive) (ibidem, 1983, pp. 2277-2282). De facto, salienta-se que é um parâmetro morfométrico de elevado significado geomorfológico e hidrológico (REIS, 2006, p. 214; SUMMERFIELD, 1991, p. 208; HAGGETT e CHORLEY, 1969, p. 74) e dá indicação sobre a eficiência da drenagem natural da bacia. Este parâmetro geralmente determina a razão entre o comprimento total dos cursos de água e uma área de referência, geralmente uma bacia hidrográfica, informando sobre o comprimento da rede de drenagem por unidade de superfície, geralmente  $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$ . REIS (2006) refere que a «A densidade de drenagem é o reflexo da acção conjunta de cinco factores: das características climáticas, em particular da precipitação; do relevo, em especial do declive, que condiciona a energia disponível para o movimento da água e consequente erosão linear; dos solos e do substrato subjacente, que condicionam a quantidade de água disponível para o escoamento directo, e a maior ou menor resistência à erosão; do tipo de ocupação do solo, que exerce influência ao nível da interceptação, mas que pode também ter grande importância na retenção e infiltração de água no solo, pelo que condiciona a escoamento superficial; do tempo de actuação dos factores anteriores.». Quanto maior o índice menor é a capacidade de infiltrar água. Os valores baixos indicam que o sítio/sector é mais favorável a infiltração contribuindo para a recarga de aquíferos. É uma variável que se relaciona com os processos climáticos que actuam sobre um determinado geossistema, os quais influenciam o

fornecimento e o transporte de material detrítico, pelo que, a densidade de drenagem está directamente relacionada com a capacidade de erosão fluvial, e sendo assim, representa uma superfície com maiores índices de dissecação, eficiência em transportar sedimentos e maiores vazões no seu curso principal, o que gera cursos de água com planícies aluviais bem desenvolvidas nas ordens elevadas (fig. 23). No caso de estudo a entidade hidrogeomorfológica planície aluvial ocorre com importante desenvolvimento associada às ribeiras de Muge e de Magos.



**Figura 23** – Rede de drenagem classificada.

«Perante idênticas características climáticas e de ocupação do solo, a densidade de drenagem é o reflexo do balanço entre o escoamento superficial e o escoamento subterrâneo, traduzido pelas características hidrogeológicas e do relevo.» (ibidem, 2006). Para um mesmo tipo de clima, a densidade de drenagem depende do comportamento hidrológico das rochas. As rochas mais impermeáveis possuem melhores condições para o escoamento superficial, possibilitando a formação de canais e, conseqüentemente, aumentando a densidade de drenagem. O tipo de solo pode actuar como impedância à percolação, desde que possua horizontes subsuperficiais (geralmente no horizonte B) de condutividade hidráulica inferior (relativamente aos horizontes subjacentes e subjacentes), como por exemplo os podzóis com surraipa.

A densidade de drenagem determinada permite auxiliar na delimitação de cabeceiras de vale e ter em consideração os sectores potencialmente mais favoráveis ao escoamento superficial. De acordo com a repartição geográfica deste indicador, deve-se concluir que é no quadrante N45°E que a densidade de drenagem

é superior, justamente onde ocorrem maiores amplitudes altimétricas, e forçosamente, rugosidade (relevo), e a condutividade hidráulica do solo (pedon) e subsolo (substrato), coerentes, é inferior (fig. 24).

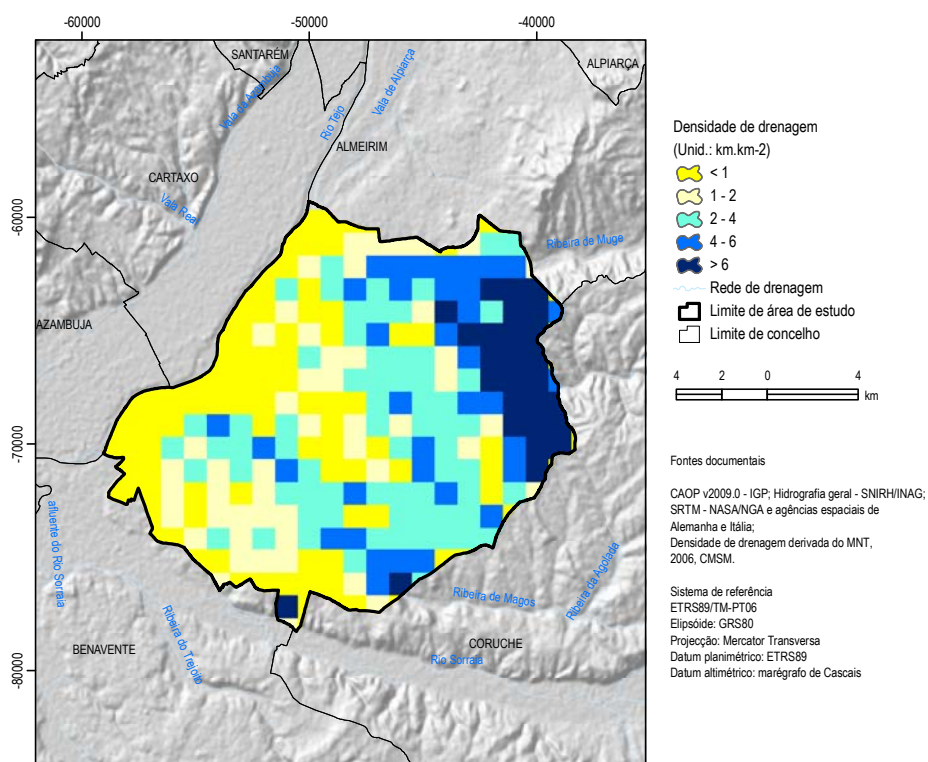


Figura 24 - Densidade de drenagem.

## 1.2.5 Fitogeografia

De acordo com a Carta Biogeográfica de Portugal Continental (COSTA *et al.*, 1999, 1998), a área de estudo está integrada no Superdistrito Ribatagano (código 4B1) e «...corresponde à área da Lezíria do Tejo e Sorraia onde os solos são maioritariamente de aluvião (terraços aluvionares), ocorrendo também areias podzolizadas e arenitos. O *Ulex airensis* é uma das plantas que melhor caracteriza o território, apesar de também se distribuir pelo Superdistrito Estremenho, assim como o *Halimium verticillatum* ter a sua maior área de distribuição neste unidade biogeográfica». *Armeria rouyana*, *A. pinifolia*, *Juniperus navicularis*, *Thymus capitellatus*, *Limonium daveaui*, *Serratula alcalae subsp. aristata* e *Halimium verticillatum* são táxones endémicos deste Sector. *Limonium lanceolatum* tem também aqui o seu limite setentrional, *Euphorbia transtagana*, *Serratula monardii* e *Narcissus fernandesii* têm a sua maior área de ocorrência nesta unidade. A vegetação dominante é constituída por sobreirais (*Oleo-Quercetum suberis* e *Asparago aphylli-Quercetum suberis*), as murteiras (*Asparago aphylli-Myrtetum communis*), os matagais de carvalhiça (*Erico-Quercetum lusitanicae*) e pelo mato psamofílico endémico deste Sector: *Thymo capitellati-Stauracanthetum genistoidis*. O salgueiral *Salicetum*

*atrocinero-australis* é comum no leito de cheias das linhas de água bacias do Sado e Tejo» (...) observa-se também o *Thymo villosae-Ulicetum airensis*, que é uma comunidade endémica do território, resultante da destruição dos sobreirais do *Asparago aphylli-Quercetum suberis*. De acordo com os mesmos autores «A geossérie ripícola lântica da lezíria do Tejo, ocupa grandes extensões e é um elemento taxonómico da paisagem vegetal muito relevante para a caracterização do território. Esta encontra um grande desenvolvimento devido à morfologia muito aberta do vale do rio Tejo. A ordem das comunidades potenciais, do leito até ao contacto com a vegetação terrestre é normalmente a seguinte: o salgueiral *Polpulo nigrae-Salicetum neotrichae*; o ulmal *Aro italici-Ulmetum minoris* nos solos mais argilosos; o freixial *Ficario-Fraxinetum angustifoliae*. A maioria destes bosques com excepção do salgueiral, estão, em muitos locais, destruídos. O solo onde se encontravam está ocupado por culturas horto-industriais ou vinhas, podendo-se em alguns locais observar-se grande abundância da etapa regressiva dos bosques ripícolas: os silvados *Lonicero hispanicae-Rubetum ulmifoliae*».

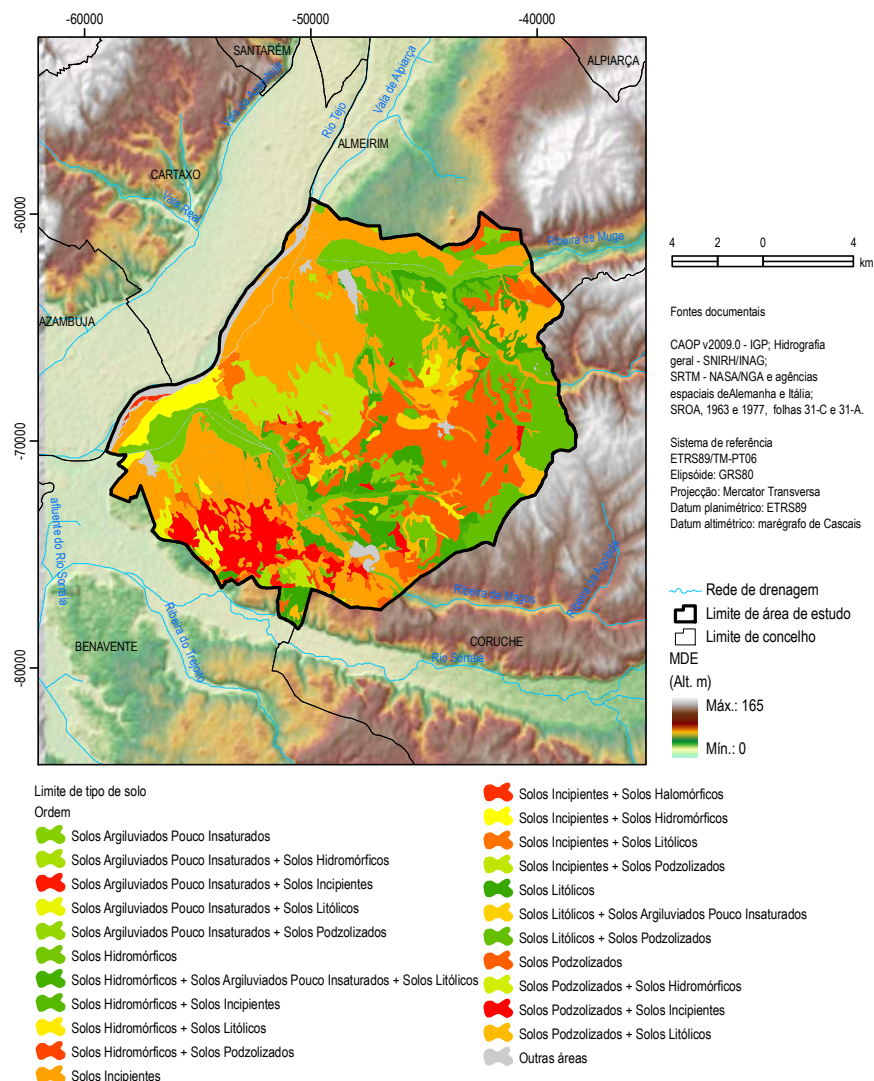
### 1.2.6 Tipos de solos

De acordo com a cartografia pedológica, identificaram-se na área de estudo 27 tipos de solo, associados ou não, sendo que, das 77 manchas de solos, com associação ou não, (24 são famílias de solos e 53 são associações de solos). A figura 25 ilustra a presença de 5 ordens, destacando-se pela maior extensão espacial (28%) os solos pertencentes à categoria taxonómica dos solos incipientes. Em anexo ( A.8) encontra-se listagem e área ocupada dos tipos de solos. As classes apresentadas servem apenas para representar os solos que ocorrem.

Como seria de esperar, o substrato e morfologia, para além do clima, tempo e acção antrópica através do uso e ocupação do território, condicionou fortemente os tipos de solos dominantes e que se referem às Subordens dos Regossolos e Podzóis, pelo que será feita uma breve descrição das famílias dominantes (para maior desenvolvimento das questões pedológicas relacionadas com os tipos de solos poderá consultar-se o Manual de Solos (S.R.O.A., 1970, 1974); na continuação do trabalho de CARDOSO, 1965; C.N.R.O.A., 1973; S.R.O.A., 1972 e COSTA, 2004.

Em termos de famílias de solos, os solos Rg (código da Classificação dos solos de Portugal n.º 1211-Rg da C.S.P.) denominam-se Regossolos psamíticos normais não húmidos e ocupam 21,9% da área de estudo. São arenosos e soltos (S.R.O.A., 1970, p. 114). «São solos não evoluídos, sem horizontes genéticos claramente diferenciados, praticamente reduzidos ao material originário» (S.R.O.A., 1974, pp. 30, 31), sendo constituídos por materiais detríticos arenosos mais ou menos grosseiros, normalmente de grande espessura efectiva. Os solos Ppt (n.º 712-Ppt da C.S.P.) denominam-se Podzóis não hidromórficos com surraipa, com horizonte A2 incipiente, de ou sobre arenitos. São solos evoluídos de perfil A, Bpz (horizonte espódico), C, onde pode surgir surraipa dura e/ou branda, contínua ou descontínua (S.R.O.A., 1974, pp. 42, 43), porém, geralmente, a surraipa é sempre descontínua e do tipo *ortstein* ou dura (CARDOSO, 1965, p. 241) e ocupam 13,1% da área de estudo.

Relativamente aos Ppr, o arenito situa-se a menos de 80 cm de profundidade), de acordo com S.R.O.A., 1970, p. 98).



**Figura 25** – Unidades dos tipos de solos ao nível da categoria taxonómica Ordem.

CARDOSO (1965, p. 245) refere que «Os Podzóis não Hidromórficos desenvolvem-se, em regra, em relevo normal ou plano. Os Podzóis Hidromórficos forma-se sempre em relevo plano ou côncavo. (...) em que existem materiais arenáceos do Pliocénico, do Pleistocénico e do Miocénico ...». Nestes solos o processo de formação é a podzolização (perda importante de sílica por destruição da parte mineral (frequentemente constituída por caulinite) do complexo de absorção (saturado em hidrogeniões e portanto com uma certa acidez) do horizonte A, com libertação de determinada quantidade de sesquióxidos e colóides húmicos que migram para o horizonte B e onde se acumulam. Assim, a podzolização implica acidificação acentuada do húmus que conduz à formação de certas quantidades de compostos orgânicos solúveis ou pseudo-solúveis que se deslocam para a parte inferior do perfil, mobilizando o ferro livre (fase anaeróbia onde o migra na forma ferrosa) e degradam

quimicamente a parte mineral do complexo de absorção, libertando-se sílica e alumina que migram também, para depositar na fase de insolubilização, por oxidação e polimerização, onde o ferro precipita sob a forma férrica. «São condições favoráveis à podzolização um clima frio ou húmido, uma vegetação acidificante e uma rocha-mãe muito permeável e pobre em elementos alcalino-terrosos» (ibidem, 1965, pp. 250-251). Não obstante o clima ser mediterrâneo, salienta-se que é no semestre de temperatura mais baixa que ocorre pluviosidade, altura em que actua o processo de podzolização, para, provavelmente, se anular durante a época seca (ibidem, 1965, p. 253).

Também se destaca a grande extensão areal ocupada pelo complexo de solos Vt + Ppt, perfazendo 10,4%. Os solos Vt (n.º 2211-Vt da C.S.P.) denominam-se solos litólicos não húmicos normais, de arenitos grosseiros. Pertencem à Subordem dos solos Litólicos e são solos pouco evoluídos de perfil AC ou A, Bc (horizonte câmbico), C, que evoluíram, geralmente, a partir de rochas não calcárias (S.R.O.A., 1974, pp. 32- 33).

## **1.2.6 Hidrologia**

Os aquíferos em estudo possuem fácies siliciclástica e são meios porosos, isto é, a circulação da água faz-se através dos espaços vazios dos poros que são característicos das formações geológicas não consolidadas, silicatadas, onde existem espaços vazios entre os grãos dos minerais que compõem as rochas.

### **1.2.6.1 Caracterização hidrodinâmica dos aquíferos (água subterrânea ou zona saturada): circulação, energia e pressão**

Nos pontos seguintes é feita uma caracterização da hidrodinâmica dos sistemas aquíferos que abrangem a área de estudo e factores que condicionam a circulação da água, considerando que o funcionamento hidráulico do aquífero, nomeadamente no que se refere aos mecanismos de recarga e descarga e ao sentido do fluxo subterrâneo e eventuais conexões hidráulicas, são importantes na delimitação das áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos.

#### **1.2.6.1.1 Sistemas aquíferos**

Na Bacia do Baixo Tejo-Sado encontra-se a maior unidade hidrogeológica do território nacional, em face da sua dimensão, situação geográfica, produtividade aquífera e qualidade das águas. Este recurso hidrológico subterrâneo tem sido factor relevante de desenvolvimento regional, porque sustenta abastecimento público, agrícola e industrial de grande parte dos municípios que com ele se relacionam. A história geológica da Bacia, desde a formação aos nossos dias, é uma sequência de episódios tectónicos e sedimentares que determinaram a sua origem e evolução, com evidentes implicações nas características hidrogeológicas. Surge de uma depressão tectónica, resultante da compressão do Fosso Lusitânico durante o Mesozóico, preenchida até à actualidade por depósitos detríticos erodidos dos relevos periféricos.

A seguinte caracterização do hidrodinamismo dos sistemas aquíferos resume os principais aspectos insertos em INAG e C.G. (1997), INAG (2001) e ALMEIDA *et al.* (2000a,b). A área de estudo posiciona-se sobre a Unidade Hidrogeológica da Bacia do Tejo-Sado e abrange os sistemas aquíferos Aluviões do Tejo (Código T7) e Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda (Código T3). As formações litológicas mais produtivas e que constituem o suporte dos sistemas são: formações quaternárias (aluviões e terraços fluviais) e formações terciárias, fundamentalmente pliocénicas e miocénicas (areias pliocénicas e Grés de Ota respectivamente).

#### **1.2.6.1.1.1 Caracterização hidrodinâmica do sistema aquífero: Aluviões do Tejo (T7)**

As formações aquíferas dominantes são, aluviões (Holocénico) e terraços fluviais (Plistocénico), portanto, de génese fluvial. As litologias dominantes são para as aluviões: areias, lodos, argilas (interestratificadas) e na base seixos e calhaus, com uma espessura total de 40 m e máxima de 70 m (aumenta de montante para jusante). De acordo com MENDONÇA (1990), estas camadas são contemporâneas do máximo da regressão de Würm. Para os terraços as litologias dominantes são: depósitos basais com seixos e calhaus, seguidos de um complexo formado por areias e argilas (desempenham um papel importante na retenção da água face ao retardamento do escoamento superficial e hipodérmico; por vezes consubstanciam aquíferos suspensos). Estes encontram-se, em parte, fossilizados por areias superficiais de vales e terraços, isto é, depósitos superficiais de origens diversas acumuladas a partir do final do Plistocénico, nomeadamente: areias transportadas e depositadas pelas antigas cheias do rio Tejo e seus afluentes, areias provenientes do transporte lateral e areias com transporte eólico a partir das areias fluviais. De acordo com MARTINS (1999), estes sedimentos fossilizam o Terraço de Alpiarça (T3) na área de Marinhais. De acordo com SIMÕES (1998), no Plisto-Holocénico, para a área da folha 31-C, as «Casalheiras recentes podem ver-se em alguns furos nesta área, a anteceder as areias esbranquiçadas pliocénicas. As espessuras variam muito. Em alguns casos, estes depósitos cascalhentos (calhaus até 15 cm) estão intercalados, a meio, por espessa camada argilosa esverdeada. Em Batalhoz (freguesia de Muge, cuja localização por coordenadas rectangulares foi gentilmente cedida pela Professora Doutora Maria Manuela Malhado Simões) (29PS377), existem 66 m de areão com calhaus rolados amarelo-acastanhados; noutra local, em Marinhais (28PS377), o mesmo areão com intercalações argilosas chega a 83 m. Em Glória do Ribatejo (18FA378), estes depósitos têm 46 m de espessura; em Foros de Salvaterra (20PS391), têm 71 m, mas a anteceder 20 m de argila. As espessuras máximas, de 135 m e 110 m, verificam-se na Herdade do Valão (10AC392) e em Susalva (8AC392) (freguesia de Foros de Salvaterra), respectivamente.». Por outro lado, MENDONÇA (1990) refere que «Na zona baixa do sistema aquífero, genericamente a jusante de Valada, camadas mais ou menos contínuas e espessas de lodos e/ou areias lodosas semiconfinam as areias e cascalheiras da base das aluviões; assim, sintetizando, podem distinguir-se três unidades sobrepostas: (1) areias com alternâncias lodosas; (2) lodos; (3) areias e cascalheiras da base. A montante, a espessura dos lodos diminui, aparecem de forma mais descontínua, e em muitos locais a coluna geológica é constituída exclusivamente por areias. (...) O substrato e os limites laterais do sistema

aquífero são considerados impermeáveis (aquítardos; texto introduzido na citação), de acordo com o que é possível deduzir das características geológicas...».

De acordo com dados de sondagens efectuadas pelo Departamento de Geotecnia da Profabril, Centro de Projectos, S. A., para a implantação do oleoduto multiprodutos Sines – Aveiras de Cima, o nível piezométrico do sistema aquífero T7 (no que se refere à profundidade da água relativamente à superfície terrestre) possui os seguintes valores (quadro 9):

**Quadro 9** – Piezometria do sistema aquífero T7. (Ext. de AGRIPRO-AMBIENTE, Consultores S. A.).

Código	Local	Profundidade da sondagem (m)	Prof. do nível hidrostatico (m)	Data
P11	A Sul de Foros de Salvaterra, na planície aluvial do rio Sorraia	10,0	3,1	17/11/1994
P12	A Sul de Foros de Salvaterra, na planície aluvial do rio Sorraia (a jusante de P11)	3,5	2,7	07/11/1994
P14	A Oeste Salvaterra de Magos, na margem esquerda do rio Tejo	40,0	2,2	17/11/1994

Quanto ao meio de escoamento, o sistema aquífero é poroso. Face ao coeficiente de armazenamento, em termos de tipo de aquífero classifica-se como sendo livre a confinado ou semiconfinado e multicamada (de acordo com INAG e C.G. (1997) é um aquífero superficial que passa de livre a localmente confinando ou vice-versa). Estas camadas correspondem ao máximo de regressão do Würm. Como mencionado, os terraços são constituídos por depósitos basais com seixos e calhaus, seguidos por um complexo interglaciário constituído por areias e argilas. A maioria dos furos de captação implantados neste sistema, captam água nas areias e cascalheiras da base dos depósitos aluvionares e terraços, que são as unidades mais transmissivas.

Em termos de funcionamento hidráulico, a precipitação constitui a principal fonte de recarga e as **descargas dão-se ao longo das principais linhas de água**; o rio Tejo constitui o eixo longitudinal de drenagem de T7. De acordo com MENDONÇA (1990), T7 caracteriza-se pela irregularidade e complexidade da estratificação derivada de alterações morfo-climáticas globais e regionais e de condições hidráulicas e sedimentológicas diferenciadas no espaço e no tempo. De acordo com a ficha síntese do SNIRH/INAG, a produtividade mediana das Aluviões é de 12 l.s<sup>-1</sup> e dos Terraços de 10 l.s<sup>-1</sup>. Os parâmetros hidráulicos característicos das Aluviões são: a mediana da transmissividade é de 1493 m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>, a mediana da condutividade hidráulica é de 122 m.dia<sup>-1</sup>; dos Terraços são: a mediana da transmissividade é de 1573 m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>, a mediana da condutividade hidráulica é de 127 m.dia<sup>-1</sup>. A média do coeficiente de armazenamento é de 8,39x10<sup>-3</sup>. MENDONÇA (1990) refere que «O rio Tejo é o grande eixo longitudinal de drenagem do sistema aquífero. O escoamento subterrâneo dá-se em direcção ao rio Tejo e, ao longo da faixa de aluviões modernas, até ao estuário. Os vales dos afluentes do rio Tejo drenam escoamentos de trajecto mais reduzido. As zonas dos **terraços e das aluviões modernas constituem as áreas de recarga** onde se dá a infiltração profunda da água da chuva.». Considerando a piezometria, o potencial hidráulico, nas zonas altas ou de interflúvio, diminui com a profundidade. Nas camadas superficiais o escoamento faz-se para os vales que as limitam, dando origem a escoamentos locais, exibindo conectividade hidráulica rio/aquífero. Aqui predomina a recarga. Na zona central e baixa, das lezírias, e nos vales afluentes do rio Tejo, aumenta naquele sentido. Aqui predomina a descarga do

sistema aquífero. De acordo com ALMEIDA *et al.* (2000b) o balanço hídrico é positivo. O quadro 10 sintetiza as características e parâmetros deste sistema aquífero.

**Quadro 10** – Características do sistema aquífero T7 (Modificado de: [http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos\\_PortugalCont/mostra\\_ficha.php?aquif=T7](http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=T7), em 11/15/2009).

Característica ou parâmetro	Sistema Aquífero
Formações aquíferas dominantes	Aluviões (Holocénico); Terraços fluviais (Plistocénico)
Litologias dominantes	Aluviões: areias, argilas e na base seixos e calhaus, com uma espessura total de 70 m; Terraços fluviais: depósitos basais com seixos e calhaus, seguidos de um complexo formado por areias e argilas (ver também p. 15-469 do Relatório Final do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo, versão de Maio de 2001)
Características gerais	Sistema aquífero poroso, livre a confinado ou semiconfinado
Produtividade (l/s)	Aluviões: mediana=12; Terraços: mediana=10
Parâmetros Hidráulicos	Aluviões: mediana da transmissividade=1493 m <sup>2</sup> /dia, mediana da condutividade hidráulica=122 m/dia; Terraços: mediana da transmissividade=1573 m <sup>2</sup> /dia, mediana da condutividade hidráulica=127 m/dia. Média do coeficiente de armazenamento=8,39x10 <sup>-3</sup>
Funcionamento hidráulico	A precipitação constitui a principal fonte de recarga e as descargas dão-se ao longo das principais linhas de água
Piezometria / Direcções de fluxo	O escoamento subterrâneo dá-se em direcção ao rio Tejo e, ao longo da faixa de aluviões modernas, até ao estuário
Balanço hídrico	Entradas=585 870 m <sup>3</sup> /dia; saídas=567 421 m <sup>3</sup> /dia
Fácies química	Bicarbonatada cálcica, cloretada sódica, mistas
Tipo de aquífero (segundo o DL n.º 382/1999, de 22/09)	Compósito, abrangendo o Tipo 2 (sistema aquífero livre cujo suporte litológico é constituído por formações porosas) e o Tipo 3 (sistema aquífero semiconfinado cujo suporte litológico é constituído por formações porosas)
Classificação da vulnerabilidade à poluição pelo método EPPNA (1)	
classe V3 – Aquíferos em sedimentos não consolidados com ligação hidráulica com a água superficial	Vulnerabilidade alta
Classificação da vulnerabilidade à poluição pelo método DRASTIC (2)	
DRASTIC médio: 176	Vulnerabilidade elevada
Recarga anual média (3)	210 (mm); 214,2 (hm <sup>3</sup> ); para uma precipitação média de 648 mm/a; representa uma taxa de recarga média de 32%

Legenda: (1) segundo relatório final de Maio de 2001 do Plano de Bacia Hidrográfica do Tejo, p. 25-469; (2) p. 26-469; (3) p. 133-469 ou p. A.70/A.110, A.73/A.110 do Plano de Bacia Hidrográfica do Tejo, 1ª Fase. Análise e Diagnóstico da Situação de Referência, Volume III – Análise, Parte A – Subsistema Hidrológico, Outubro de 1999.

#### 1.2.6.1.1.2 Caracterização hidrodinâmica do sistema aquífero: Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda (T3)

Este sistema insere-se na Bacia Terciária do Tejo-Sado que constitui uma depressão alongada na direcção NE-SW, estando marginada a W e N pelas formações mesozóicas da Orla Ocidental, a NE e E pelo substrato Hercínico e a S comunica com o Oceano Atlântico na Península de Setúbal.

As formações aquíferas dominantes de T3 são: Pliocénico; Arenitos de Ota, Série calco-gresosa marinha (Miocénico). Salienta-se que de acordo com BARBOSA (1997), os Arenitos da Ota constituem «... a maior e mais produtiva unidade hidrogeológica do sedimentar português (...) recoberta pelo aquíclodo – Argilas de Tomar...» e possui alimentação lateral. Por outro lado, o Pliocénico também possui potencialidade hidrogeológica. As litologias dominantes são: Pliocénico<sup>6</sup>: areias (finas a grosseiras), bem calibradas, mais ou menos argilosas, com intercalações lenticulares de argilas, com espessura muito variável. Nalguns sectores podem ser encontrados seixos e calhaus na base do Pliocénico. De acordo com a litostratigrafia definida por

<sup>6</sup> De acordo com AZEVEDO (1982), citada em ALMEIDA *et al.* (2000a), estas formações podem atingir espessuras na ordem de 200 m ou 300 m na grande parte da margem esquerda até à zona de Alpiarça.

BARBOSA (1995), deverá integrar a Aloformação de Almeirim, composta pelas unidades litostratigráficas Conglomerados da Serra de Almeirim e Arenitos de Ulme, sendo que em afloramento, a primeira exhibe alternância de camadas de conglomerados e arenitos e a segunda caracteriza-se por ser uma unidade litostratigráfica exclusivamente arenítica, de cor amarela a avermelhada. A génese é fluvial. Os Arenitos de Ota, integram a Aloformação de Almoester que é composta pelas unidades litostratigráficas Arenitos de Ota e Argilas de Tomar, sendo a primeira composta por depósitos fluviais, que em afloramento, exibem natureza quartzarenítica e/ou arcosanerítica, localmente conglomeráticos na base, com uma espessura média que deve situar-se entre os 200 m e 250 m (Miocénico<sup>7</sup>), porém, de acordo ALMEIDA *et al.* (2000a), em Almeirim existe um furo de captação de água que atingiu os 336 m sem deixar de atravessar os Arenitos de Ota: arenitos com algumas intercalações de argilas (embora também seja constituído por formações detríticas continentais: areias, arenitos e argilas, com algumas intercalações conglomeráticas) e série calco-gresosa marinha: arenitos calcários (muito fossilíferos), margas, com espessura superior a 450 m. De acordo com SIMÕES (1998), no Miocénico, para a área da folha 31-C, «... a sedimentação carbonatada somente foi encontrada em Marinhas (28,29PS377) e Lamarosa (17PS378), a profundidades de 240 m e 190 m respectivamente, após areias finas a médias esbranquiçadas pliocénicas. Constituída por 36 m de arenito médio a grosseiro, margoso, branco-amarelado ou cinzento-esverdeado, no segundo caso, e 6 m de margas, no primeiro.». Para o Pliocénico, atinge-se « ... 190 m de espessura nesta folha, como acontece no furo de Lamarosa (17PS378), onde é constituído por areias finas a médias, às vezes grosseiras, com seixo, esbranquiçadas; há intercalações de argila cinzento-esverdeada.» (ibidem, 1998). O contacto de T3 com T7, ou seja, das unidades litostratigráficas do substrato terciário com as unidades litostratigráficas do substrato quaternário, respectivamente, faz-se por descontinuidade erosiva (SLD 12), pois estão normalmente truncados superiormente pelo embutimento dos terraços fluviais, conforme é afirmado em BARBOSA (1995) e também patente nos perfis litológicos exibidos em MENDONÇA (1990) e MARTINS (1999). Por vezes, o contacto do Plisto-Holocénico faz-se directamente com o substrato Miocénico. Em termos de meio de escoamento classifica-se como poroso. Quanto ao tipo de aquífero, classifica-se como sistema multiaquífero, livre, confinado ou semiconfinado, em que as variações laterais e verticais de fácies são responsáveis por mudanças significativas nas condições hidrogeológicas.

Do ponto de vista do funcionamento hidráulico, regista-se que os aquíferos<sup>8</sup> estão separados por camadas de permeabilidade baixa ou muito baixa (aquitardos: argilas siltosas ou arenosas e aquiclusos: formações com elevado teor em argila), vide explicação em LENCASTRE e FRANCO (2010, pp. 195-196). **A recarga faz-se na parte mais elevada do seu percurso na bacia por infiltração da precipitação atmosférica e infiltração nos leitos dos cursos de água.** De acordo com ficha síntese no portal electrónico do SNIRH/INAG,

---

<sup>7</sup> ALMEIDA *et al.* (2000a) refere que o Miocénico é caracterizado por depósitos continentais alternados por outros marinhos, característicos de uma alargada planície aluvial, em forma de estuário, aberta ao Oceano Atlântico (entre as serras de Sintra e da Arrábida) e sujeita a transgressões e regressões ao mar. Desta forma, criaram-se ambientes de transição, fluviomarinhos, onde alternaram as acções continentais, fluviais e marinhas. A norte de Vila Franca de Xira predominam depósitos continentais (Arenitos de Ota). A série miocénica poderá ser relacionada com ciclos sedimentares enquadrados por uma transgressão e pela regressão seguinte.

<sup>8</sup> Por exemplo, na Península de Setúbal, o sistema é constituído por um aquífero superior livre, sobrejacente a um aquífero confinado, multicamada. Subjacente a este conjunto, separado por formações margosas espessas, existe um aquífero confinado multicamada cujo suporte litológico são as formações greso-calcárias da base do Miocénico.

a produtividade mediana do Pliocénico é de 15,5 l.s<sup>-1</sup>; dos Arenitos de Ota é de 9,7 l.s<sup>-1</sup>; e das Formações gresocalcárias é de 35 l.s<sup>-1</sup>. Os parâmetros hidráulicos característicos para o Pliocénico são: a transmissividade varia, entre 100 e 3000 m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>; Arenitos de Ota: os valores mais frequentes de transmissividade são, entre 45 e 179 m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>; Série calco-gresosa marinha com valores mais frequentes de transmissividade, entre 127 e 693 m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup> e coeficiente de armazenamento de 10<sup>-3</sup>. Em termos de piezometria e direcções de fluxo, desde Abrantes até Alcochete, a direcção do fluxo é aproximadamente perpendicular à direcção do rio Tejo, dirigindo-se para o mesmo, isto é, de SE para NO (ALMEIDA *et al.* (2000a, p. 624). O quadro 11 sintetiza as características e parâmetros deste sistema aquífero.

**Quadro 11 – Características do sistema aquífero T3 (Modificado de:**

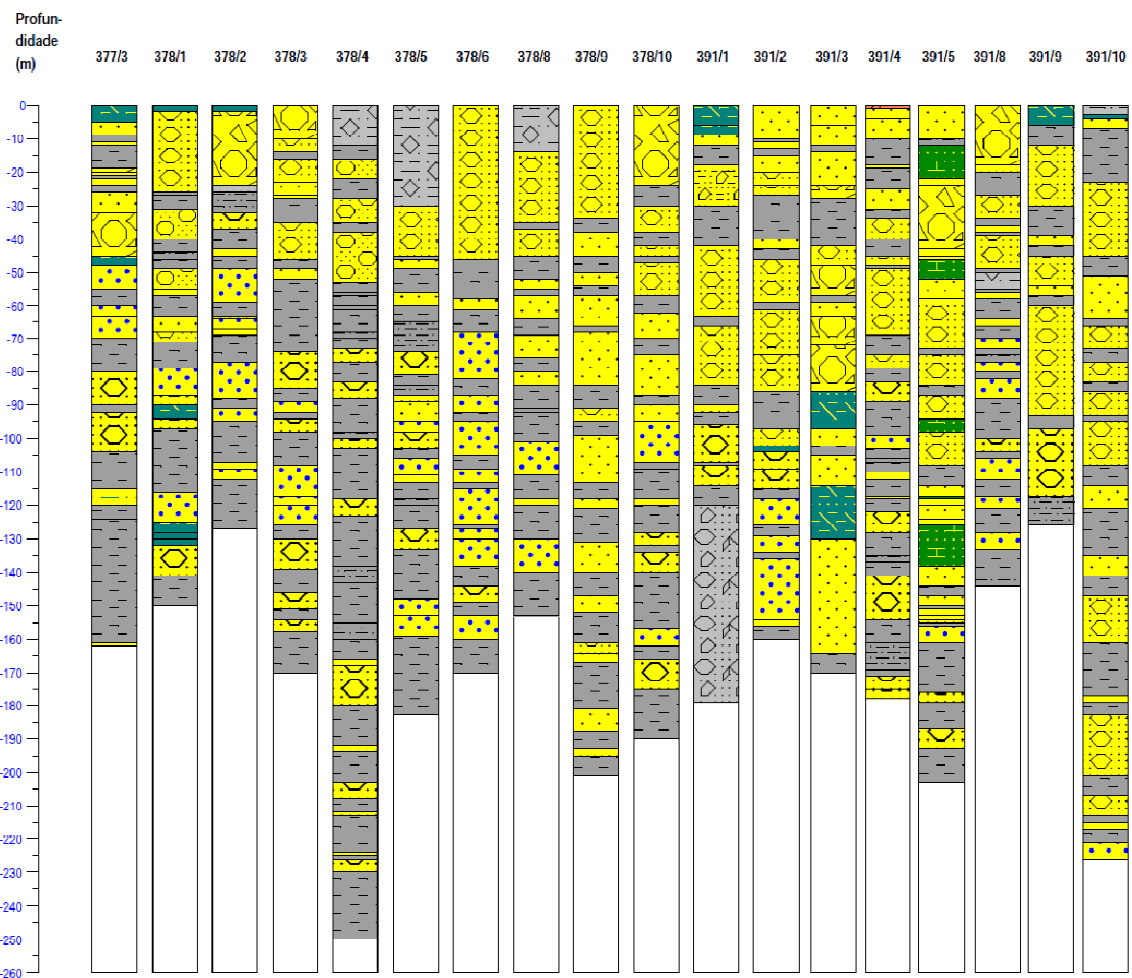
[http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos\\_PortugalCont/mostra\\_ficha.php?aquif=T3](http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=T3), em 11/15/2009).

Característica ou parâmetro	Sistema Aquífero
Formações aquíferas dominantes	Pliocénico; Arenitos de Ota, Série calco-gresosa marinha (Miocénico)
Litologias dominantes	Pliocénico: arenias, com intercalações lenticulares de argilas, com espessura muito variável; Arenitos de Ota: arenitos com algumas intercalações de argilas; Série calco-gresosa marinha: arenitos calcários, margas, com espessura superior a 450 m (ver também p. 15-469 do Relatório Final do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo, versão de Maio de 2001)
Características gerais	Sistema multiaquífero, livre, confinado ou semiconfinado, em que as variações laterais e verticais de fácies são responsáveis por mudanças significativas nas condições hidrogeológicas
Produtividade (l/s)	Pliocénico: mediana=15,5; Arenitos de Ota: mediana=9,7; Formações gresocalcárias: mediana=35
Parâmetros Hidráulicos	Pliocénico: transmissividade, entre 100 e 3000 m <sup>2</sup> /dia; Arenitos de Ota: valores mais frequentes de transmissividade, entre 45 e 179 m <sup>2</sup> /dia; Série calco-gresosa marinha: valores mais frequentes de transmissividade, entre 127 e 693 m <sup>2</sup> /dia e coeficiente de armazenamento=10 <sup>-3</sup> ; Mediana da condutividade hidráulica (m/dia): Pliocénico: ? m <sup>2</sup> .dia <sup>-1</sup> ; Arenitos de Ota: ? m <sup>2</sup> .dia <sup>-1</sup>
Funcionamento hidráulico	Os aquíferos estão separados por camadas de permeabilidade baixa ou muito baixa (aquítardos e aquíclusos). Na Península de Setúbal, o sistema é constituído por um aquífero superior livre, sobrejacente a um aquífero confinado, multicamada. Subjacente a este conjunto, separado por formações margosas espessas, existe um aquífero confinado multicamada cujo suporte litológico são as formações gresocalcárias da base do Miocénico. A recarga faz-se por infiltração da precipitação, infiltração nas linhas de água
Piezometria / Direcções de fluxo	Em termos gerais, o escoamento subterrâneo dá-se em direcção ao rio Tejo e ao longo do sistema aquífero até ao Oceano Atlântico
Balanço hídrico	Foram elaborados vários modelos e excepto o da H. P. (1994), todos eles dão o sistema como estando em equilíbrio
Fácies química	Pliocénico: cloretada sódica e cálcicas, bicarbonatadas calco-magnesianas; Arenitos de Ota: bicarbonatada sódica e cálcica; Série calco-gresosa marinha: bicarbonatada calco-magnesianas
Tipo de aquífero (segundo o DL n.º 382/1999, de 22/09)	Compósito, abrangendo o Tipo 1 (sistema aquífero confinado cujo suporte litológico é constituído por formações porosas); o Tipo 2 (sistema aquífero livre cujo suporte litológico é constituído por formações porosas), o Tipo 3 (sistema aquífero semiconfinado cujo suporte litológico é constituído por formações porosas) e o tipo 4 (sistema aquífero cujo suporte litológico é constituído por formações carbonatadas)
Classificação da vulnerabilidade à poluição pelo método EPPNA (1)	
classe V3 – Aquíferos em sedimentos não consolidados com ligação hidráulica com a água superficial	Vulnerabilidade alta
Classe V4 – Aquíferos em sedimentos não consolidados sem ligação hidráulica com a água superficial (classificação EPPNA)	Vulnerabilidade média
Classificação da vulnerabilidade à poluição pelo método DRASTIC (2)	
DRASTIC médio: 163	Vulnerabilidade elevada
Recarga anual média, na área de afloramento (3)	211 (mm); 1220,4 (hm <sup>3</sup> ); para uma precipitação média de 687 mm/a; representa uma taxa de recarga média de 31%

Legenda: (1) segundo relatório final de Maio de 2001 do Plano de Bacia Hidrográfica do Tejo, p. 25-469; (2) p. 26-469; (3) p. 133-469 ou p. A.70/A.110, A.73/A.110 do Plano de Bacia Hidrográfica do Tejo, 1ª Fase. Análise e Diagnóstico da Situação de Referência, Volume III – Análise, Parte A – Subsistema Hidrológico, Outubro de 1999.

Por último, em termos médios os níveis piezométricos, na **proximidade do rio Tejo, apresentam valores ligeiramente superiores à cota do rio Tejo, exibindo conectividade hidráulica, pelo que o mesmo, funciona como descarga natural do sistema T3, podendo descarregar nas aluviões, por circulação hídrica inter-aquífero**, ou seja, por drenância ascendente (através de aquíferos), e em direcção ao Oceano. De acordo com ALMEIDA *et al.* (2000a, p. 625), o balanço hídrico do aquífero é positivo.

A fig. 26 apresenta a síntese dos perfis litológicos (anexo A.9 a A.11), onde se salientam as séries sedimentares (sucessão de várias unidades litológicas que se encadeiam, com significado relativo relativamente à precedência e sucessão) que testemunham o ambiente morfossedimentar e fases mais restritas, as sequências, tanto positivas/normais (episódios transgressivos) como negativas/inversas (episódios regressivos). Por exemplo, no primeiro caso, assiste-se à passagem de sedimentos detríticos grosseiros para sedimentos detríticos finos.



**Figura 26** – Sondagens em séries sedimentares dos furos de captação da C.M.S.M..

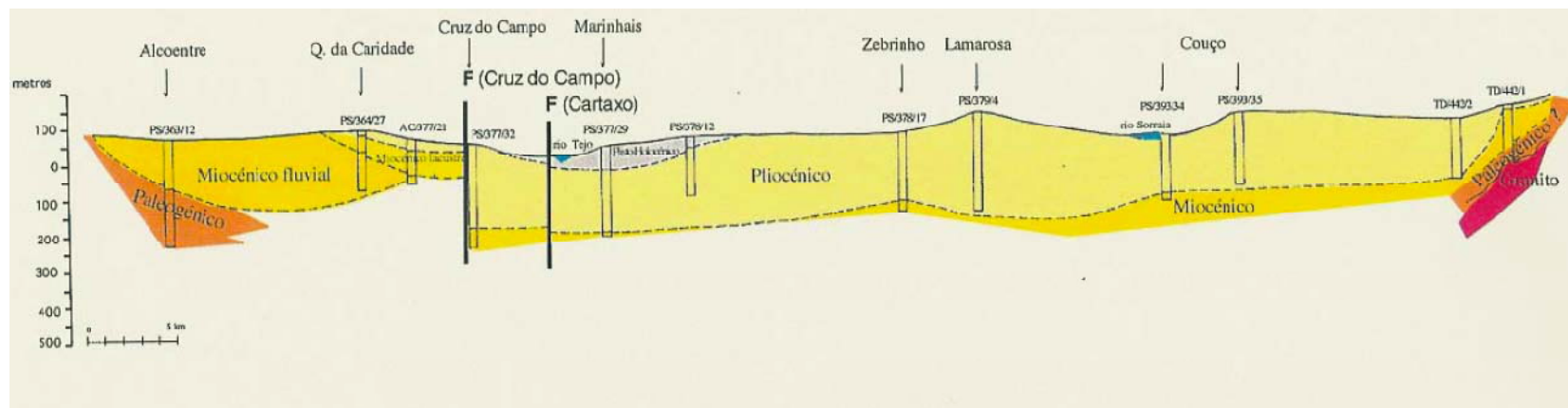
(Nota: as sondagens com legenda encontram-se nos anexos)

A fig. 27 a), b) corresponde aos perfis 15 a), 17 b), insertos em SIMÕES (1998), obtidos por interpretação e classificação das sondagens hidrogeológicas (de acordo com a Estratigrafia estabelecida em afloramentos) que permitiram traçar, de montante para jusante, 22 perfis transversais ao eixo principal da Bacia, que ajuda a esclarecer o posicionamento dos aquíferos, assim como, os mecanismos que controlaram a sedimentogénese durante o Cenozóico.

Conforme salientado, o conhecimento do nível piezométrico/carga piezométrica ou carga hidráulica se desprezarmos a energia cinética (soma da energia potencial/cota de referência ou  $z$ , e da pressão/altura piezométrica/cota piezométrica/piezocarga ou pressão, sobre peso específico ( $P/\gamma$ ), medida em metros de coluna de água, acima do ponto de medição) possibilita a determinação de superfícies piezométricas (que representam a pressão a que o aquífero está sujeito) que por sua vez possibilitam o conhecimento de: sentidos de fluxo, gradientes hidráulicos (declive piezométrico), e possíveis sectorizações dos sistemas aquíferos. A construção das superfícies piezométricas dos aquíferos resulta dos valores de medição dos níveis hidrostáticos, obtidos através da distância à superfície terrestre/profundidade do nível da água e posterior referência ao zero topográfico (resulta da subtração da profundidade do nível da água ao valor da cota topográfica de um ponto de referência).

SIMÕES (1998, p. 153) apresentou mapa do nível piezométrico, a partir dos níveis hidrostáticos medidos nos furos com profundidades inferiores ou iguais a 50 m para a região do Baixo Tejo onde se constata a tendência global do fluxo subterrâneo para o canal fluvial do rio Tejo, por onde parece processar-se a descarga, segundo orientação transversal ao percurso do mesmo (fig. 28), em consonância com o modelo conceptual de fluxo na Bacia do Tejo em regime natural apresentado por Mendonça e Cabral (2003), in MENDONÇA (2009) (fig. 29).

a)



b)

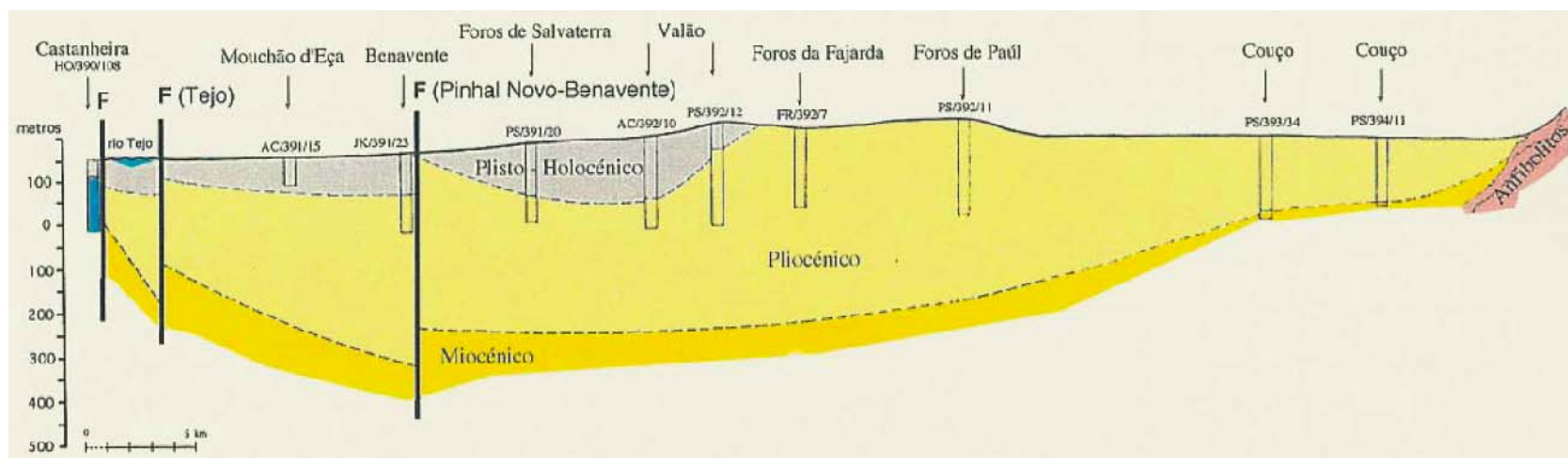
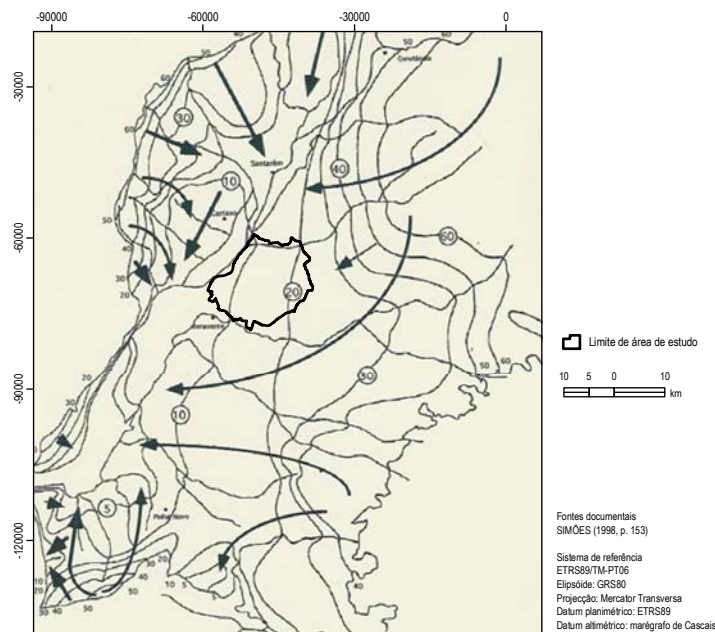
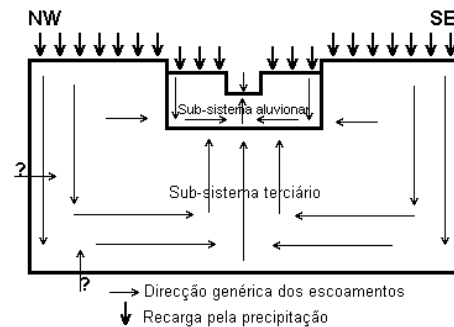


Figura 27 – Perfis geológicos transversais ao rio Tejo: a) à latitude da freguesia de Marinhais; b) à latitude da freguesia de Foros de Salvaterra. (Ext. de SIMÕES, 1998).



**Figura 28** - Superfície piezométrica do sistema aquífero cenozóico (somente Miocénico e Pliocénico) do Baixo Tejo (exclui subunidade aquífera Plisto-holocénica - T7 (Ext. de SIMÕES, 1998, p. 153).

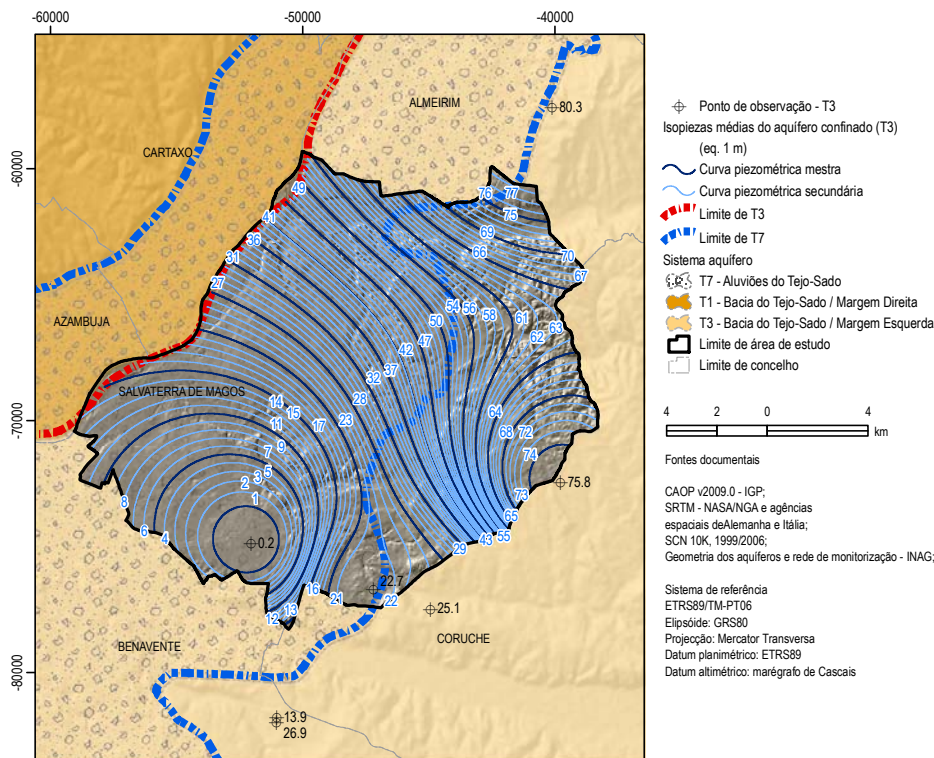


**Figura 29** - Modelo conceptual de fluxo na Bacia do Tejo em regime natural apresentado por Mendonça e Cabral, 2003, *in* MENDONÇA, 2009).

Na parte Este da área de estudo, onde o relevo é mais declivoso e o terreno mais antigo no domínio da unidade geomorfológica dos planaltos, a altura hidráulica ou piezométrica (a velocidade é desprezível) de T3 é substancialmente mais elevada do que na parte Oeste no domínio geomorfológico dos terraços fluviais (fig. 30).

Apesar de se reconhecer a reduzida densidade de pontos de monitorização piezométrica do sistema aquífero T3, salienta-se a presença de uma depressão piezométrica centrada na área de Foros de Salvaterra (eventualmente um cone de rebaixamento/depressão associado a captações de água em funcionamento com elevada capacidade de extracção, vide quadro 32? Influenciado pela morfotectónica? (fig. 30). De acordo com CUSTODIO e LLAMAS (1983 pp. 537-548) o tipo de superfície piezométrica poderá ser radial convergente.

De facto, MARTINS (1999, pp. 336-A, 336-B, vide anexo A.6 e A.7) refere a existência de desníveis importantes entre sondagens efectuadas ao terraço de Alpiarça, onde explica que podem não estar associadas à vertente do paleovale do rio Tejo, mas sim à morfotectónica, porém, no caso-vertente parece não existir este tipo de controlo. Aparentemente, é uma situação que exhibe alguma similaridade com uma depressão piezométrica apresentada por MENDONÇA (2009), a Norte da área de estudo, centrada a Este de Almeirim (fig. 31).



**Figura 30** – Isopiezas do sistema aquífero T3.

O maior gradiente piezométrico corresponde à transição de T3 para T7, como seria de esperar. Relativamente ao T7, na planície aluvial dos principais cursos de água e junto à fronteira rio/aquífero (junto ao rio Tejo) surgem inflexões para montante como se de autênticos vales subsuperficiais se tratasse (fig. 32).

De acordo com CUSTODIO e LLAMAS (1983 pp. 537-548), atendendo à forma das isopiezas/hidroisoípsas e linhas de corrente, é característico de cursos de água efluentes (descarregam o aquífero), quanto ao tipo de superfície piezométrica é parabólica radial divergente. A particularidade de ser uma área de interflúvio, e o enviesamento do escoamento da sub-bacia hidrogeológica, de sentido aproximadamente ortogonal (SE-NW) que passa para o sentido de escoamento aproximadamente paralelo à corrente de água do rio Tejo (NE-SW), denuncia a presença da faixa de descarga das sub-unidades aquíferas do sistema aquífero na bacia hidrográfica do Tejo.

Optou-se por não densificar pontos de controlo, ainda que virtuais, para rebaixamento da superfície freaticométrica junto ao rio Tejo, por não influenciar decisivamente o modelo de susceptibilidade.

O valor médio de T3 é ~ 39 m e o desvio-padrão ~ 22,8 m. Em T7 os valores decrescem, de Este para Oeste, de 13 para próximo de 0, com dois sectores mais elevados na área de interflúvio dos 2 cursos de água que atravessam a área de estudo (ribeira de Muge e ribeira de Magos) e um terceiro a Sul (entre a ribeira de Magos e rio Sorraia) e que correspondem às áreas de recarga natural deste sistema aquífero. O valor médio é ~ 8,5 m e o desvio-padrão ~ 5,8 m.

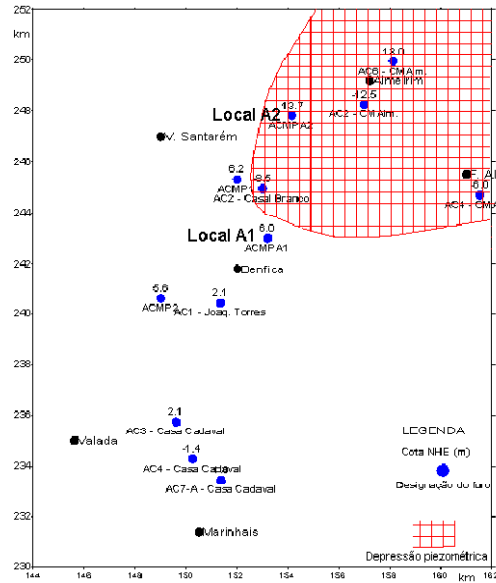


Figura 31 – Depressão piezométrica na área de Almeirim do sistema aquífero T3 (Ext. de MENDONÇA, 2009, f. 26, in MENDONÇA e CABRAL, 2003).

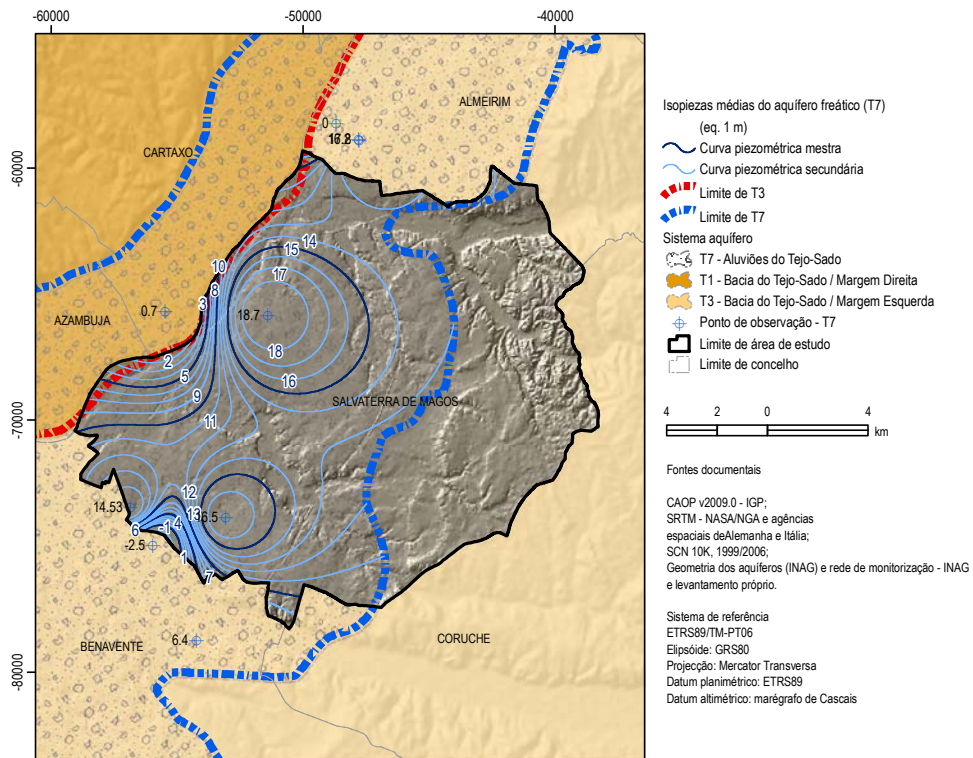


Figura 32 – Isopiezas do sistema aquífero T7.

Considerando que a água move-se de locais de altura hidráulica (somatório da altura/carga de pressão mais a altura/carga e elevação acima de determinado datum) alta para pontos de altura hidráulica baixa e que os pontos de igual altura hidráulica definem superfícies equipotenciais, conclui-se que as isopiezas acompanham as

isoípsas, pelo que o gradiente hidráulico é superior nos sectores de maior gradiente topográfico e também decresce para Oeste, de acordo com o fluxo regional Este – Oeste de T7, à semelhança do fluxo de T3, de forma ortogonal/perpendicular às isopiezas, através da denominadas linhas de corrente (MENDONÇA, 1990; SUMMERFIELD, 1991 e DUNNE e LEOPOLD, 1978, p. 211; VALLEJO *et al.*, 2002, p. 270 ).

Conforme dados no capítulo da metodologia, a cartografia da profundidade dos sistemas aquíferos foi elaborada com recurso a dados da C.M.S.M. compilados e integrados em SIG (sistema de informação geográfica) para T3 (valores médios no quadro 31 e 33) e a levantamento de campo<sup>9</sup> para T7 (valores médios no quadro 32). A divisão em classes baseia-se na exacta medida de 1 desvio-padrão. A profundidade média predita do topo do aquífero confinado é de ~ 61,5 m e o desvio-padrão ~ 20,8 m, enquanto para o aquífero freático estimou-se um valor médio de ~ 6 m e um desvio-padrão de ~ 3,7 m (recorda-se que corresponde ao nível hidrostático (fig. 33 e 34).

Estas cartografias sintetiza o funcionamento hidráulico dos aquíferos com base nas superfícies piezométricas e profundidades ao topo dos aquíferos.

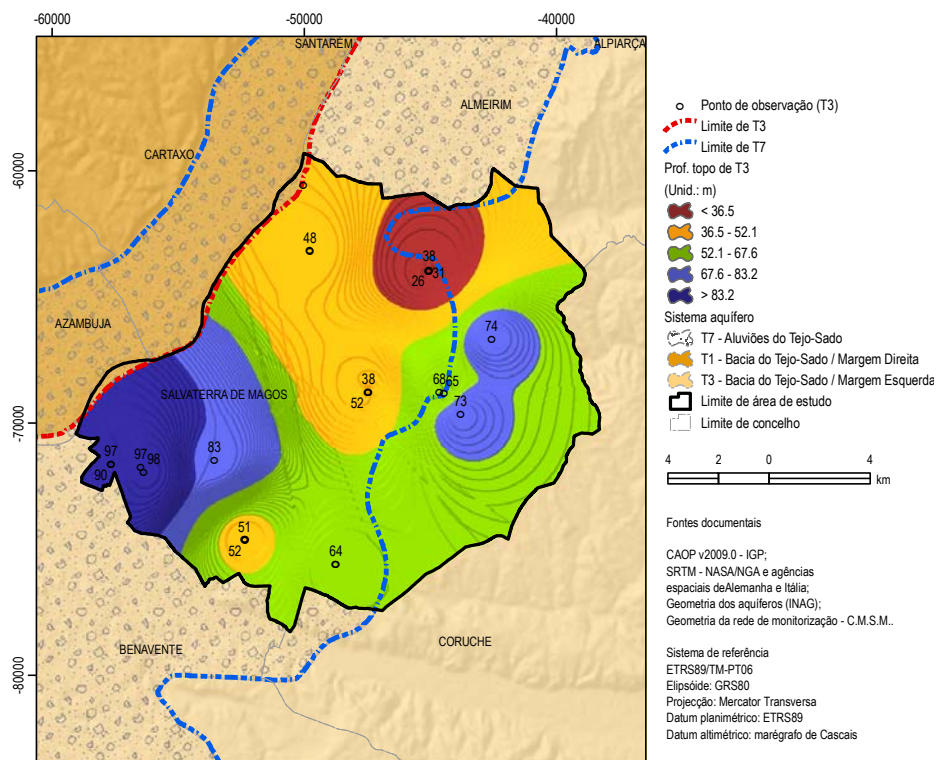
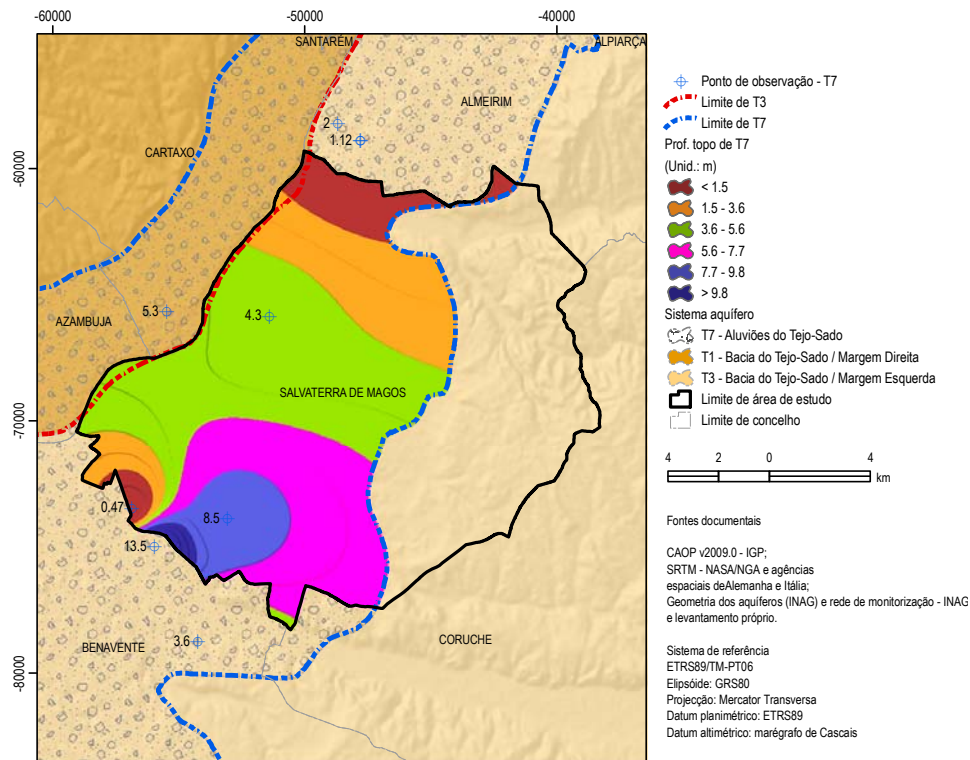


Figura 33 – Profundidade do topo do sistema aquífero T3.

<sup>9</sup> Realizou-se um pequeno inventário de pontos de água, vide D.G.R.A.H. (1984), obtido por recolha directa (trabalho de campo para reconhecimento de água subterrânea). Para determinação das cotas do potencial hidráulico considerou-se o estado de repouso/nível hidrostático do poço. Foram determinadas as alturas piezométricas com vista a traçar uma superfície piezométrica (lugar geométrico dos pontos que assinalam a altura piezométrica de cada uma das porções de um aquífero referidas a uma determinada profundidade, vide, por exemplo, CUSTODIO e LLAMAS (1983, pp. 535-549) que acompanha a superfície terrestre e corresponde ao nível freático ou limite de saturação do sistema aquífero livre Aluviões do Tejo vide INAG e C.G. (1997).



**Figura 34 – Profundidade do topo do sistema aquífero T7.**

### 1.2.7 Águas subterrâneas: recarga de aquíferos e vulnerabilidade à contaminação

Devido à relevância da componente ambiental água, as águas interiores e zonas de infiltração são categorias de águas abrangidas pela Lei de Bases do Ambiente (Lei n.º 11/1987, de 07/04, art.º 10.º).

Por outro lado, o balanço hídrico subterrâneo e quantificação da recarga torna-se importante para o conhecimento do armazenamento do aquífero. De acordo com INAG (1999, p. A.69/A.110) «Num sistema hidrogeológico pode-se considerar como fontes de recarga, a recarga por infiltração da água da chuva, a recarga a partir de cursos de água (cursos de água influentes), e no caso de aquíferos multicamada a recarga a partir da drenância de camadas adjacentes. A recarga por infiltração da água da chuva refere-se à quantidade de água que se infiltra abaixo do solo após os processos de evapotranspiração e de escoamento directo, e que vai ter um percurso subterrâneo, podendo, em condições de não exploração, ficar armazenada no sistema hidrogeológico ou constituir escoamento subterrâneo que mais tarde ou mais cedo aflora à superfície contribuindo para o escoamento dos cursos de água superficiais (escoamento de base)». O índice DRASTIC (explicado no ponto 2, capítulo 2) é composto por 7 parâmetros ou indicadores, entre os quais a recarga, cujos métodos de cálculo (aos quais se juntam o armazenamento permanente, disponibilidade hídrica, volume extraível ou o balanço hídrico subterrâneo por concelho) se encontram descritos em LOBO FERREIRA (1999, p. 69 e seguintes), entre os quais de Vermeulen *et al.* (1993, 1994). De acordo com esta metodologia, estima-se que a recarga média do sistema aquífero T7 é da ordem dos 210 mm/ano (32% de taxa de recarga média) ou 214 hm<sup>3</sup>/ano (LOBO

FERREIRA (1999, p. 128 e INAG, 1999, A.70/A.110). O sistema aquífero T3 apresenta uma recarga média de 211 mm/ano (31% de taxa de recarga média) ou 1220 hm<sup>3</sup>/a (LOBO FERREIRA, 1999, p. 156, e INAG, 1999, p. A.70/A.110). «A recarga apresentada é a recarga produzida pela infiltração da água da chuva. Nos valores apresentados não foi considerada a recarga induzida a partir dos cursos de água superficiais, que pode ser particularmente importante no caso dos sistemas aquíferos aluvionares.» (INAG, 1999, p. A.70/A.110).

Ainda relativamente à recarga, SIMÕES (1998, p. 217) refere que «Na margem esquerda do Tejo, o fluxo subterrâneo parte da bordadura leste (zona de recarga), onde as águas exibem menor mineralização (80 mg/l), para a parte central do vale, aparecendo com mineralização superior (pelo menos 390 mg/l), apesar da sua mistura com águas menos mineralizadas e localmente infiltradas de aquíferos lenticulares superiores. O fluxo (recarga) de orientação E-W é infiltrado em Abrantes, Ponte de Sor, Chouto e Lavre. Depois, é encaminhado para o centro do vale, no sentido dos menores gradientes, onde é obrigado a ascender à superfície, ao enfrentar uma barreira natural formada pelos depósitos menos permeáveis miocénicos, colocados no seu percurso pela actuação de tectónica activa no vale do Tejo (falhas do Tejo). A descarga situa-se então, em Ulme, Almeirim, Alpiarça, Salvaterra, Glória do Ribatejo, Benavente e Alcochete, variando o aquífero nestas zonas entre confinado (Almeirim, Alpiarça, Salvaterra, Glória e Benavente) e semiconfinado (Ulme e Alcochete).»

LOBO FERREIRA *et al.* (1999, pp. 45-46) também apresentam valores totais de água subterrânea, por sistema aquífero, por tipo de uso, concluindo-se que, para a área do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo, é a extracção de água destinada à agricultura (os outros usos referem-se à extracção para fim doméstico e industrial e industrial a partir da rede de distribuição e industrial por captação própria) que utiliza mais água subterrânea com 90% do total, a que correspondem 1407,9 hm<sup>3</sup>/a ou 57 mm/a, de um total de 1577,2 hm<sup>3</sup>/a ou 64 mm/a captados. De acordo com PARALTA *et al.* (2001, p. 5) esta situação também se verifica «em outras bacias hidrográficas, nomeadamente no conjunto das bacias da região do Alentejo, onde cerca de 90% das extracções de água subterrânea se destinam à agricultura.»

O I.G.M. (2001, pp. 11-14) refere que a degradação qualitativa da água subterrânea pode dever-se, de forma directa ou indirecta, a causas antropogénicas ou induzida por processos naturais, ou pela conjugação de ambos os factores. As causas de associadas à acção humana podem-se agrupar em quatro conjuntos, em função do tipo de actividade que a origina, e que são, resumidamente: poluição urbana e doméstica; poluição agrícola; poluição industrial e contaminação induzida por bombeamento. De acordo com LEITÃO *et al.*, 2003, p. 148) «As causas da poluição dos solos e das águas subterrâneas são essencialmente a rejeição de efluentes não tratados e/ou de resíduos sólidos provenientes de actividades industriais, agrícolas e urbanas, e também a sobreexploração de aquíferos que, em zonas costeiras, pode ocasionar fenómenos de intrusão marinha.» (A propósito dos impactes ambientais qualitativos e quantitativos da exploração dos aquíferos consulte-se também LENCASTRE e FRANCO, 2010, pp. 240-247; veja-se também CUSTODIO e LLAMAS, 1983, pp. 1897-1931).

As características intrínsecas do aquífero e entendidas como factores de vulnerabilidade são: tipos de aquífero, profundidade do tecto do aquífero (espessura da zona vadosa); infiltração/recarga aquífera; impacto da

zona vadosa (acima do aquífero); solo; litologia do aquífero; condutividade hidráulica; topografia; alterações climáticas (mudanças do nível do mar) e efeito das marés; intrusão salina e distância à linha de costa (MATIAS, 2010, pp. 10-14). Assim, como a vulnerabilidade será diferente do risco: «O risco de poluição depende não só da vulnerabilidade mas também da existência de cargas poluentes significativas que possam entrar no ambiente subterrâneo. É possível existir um aquífero com um alto índice de vulnerabilidade mas sem risco de poluição, caso não haja carga poluente significativa, ou de haver um risco de poluição excepcional apesar do índice de vulnerabilidade ser baixo. O risco é causado não apenas pelas características intrínsecas do aquífero, muito estáveis, mas também pela existência de actividades poluentes, factor dinâmico que, em princípio, pode ser controlado.» (LEITÃO *et al.*, 2003).

LEITÃO *et al.* (2003, p. 148) refere que «Os poluentes podem ser classificados como físicos (matéria em suspensão), químicos orgânicos ou inorgânicos, bacteriológicos (microrganismos e bactérias) e radioactivos. A forma como se processa a rejeição é classificada mediante a sua extensão de actuação, *i.e.*: pontual (*e.g.* indústria), difusa (*e.g.* agrícola) e linear (*e.g.* estradas). A poluição pode ainda ter um carácter permanente (*e.g.* área de descarga específica ou zona de aplicação de fertilizantes) ou resultar de fenómenos acidentais (*e.g.* caso de um acidente de transporte ou de ruptura de oleoduto).». O quadro 12 sistematiza as fontes de poluição em função de diversas variáveis.

**Quadro 12** – Classificação das fontes de poluição em função de diferentes aspectos (Foster e Hirata, 1991, ext. de MATIAS, 2010, p. 8).

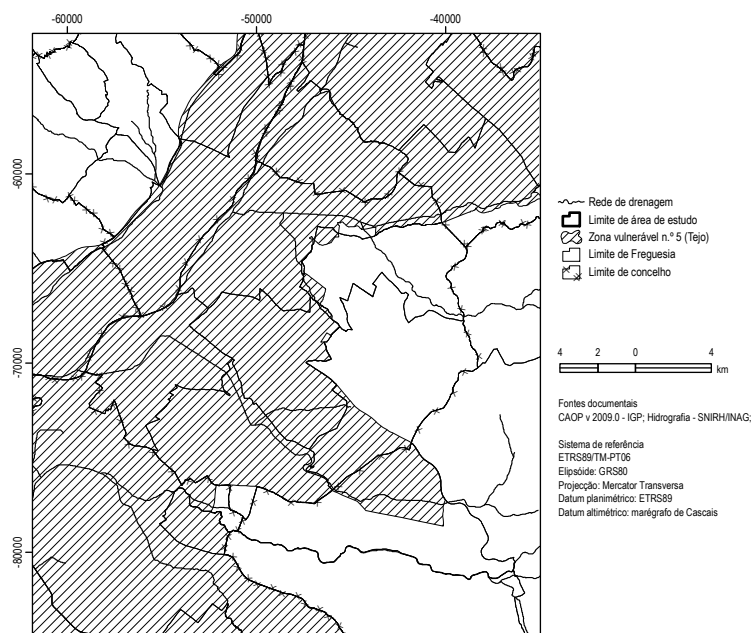
Variáveis	Tipo de fontes de contaminação
Actividade	Activas
Origem	Naturais ou antropogénicas
Geometria	Lineares, pontuais ou difusas
Temporalidade	Constantes, intermitentes ou pulsares

Considerando a importância da água subterrânea a Directiva n.º 2006/118/CE de 12/12, relativa à protecção das águas subterrâneas contra a poluição e a deterioração, estabelece medidas específicas, previstas nos n.ºs 1 e 2 do artigo 17.º da Directiva 2000/60/CE (Directiva Quadro da Água), para impedir e controlar a poluição das águas subterrâneas. Devido ao facto da qualidade das águas subterrâneas ser susceptível de ser afectada pelas actividades socioeconómicas, designadamente pelos usos e ocupações do solo, em particular pelas áreas urbanas, infra-estruturas e equipamentos, agricultura e zonas verdes o DL n.º 382/1999, de 22/09, constitui o instrumento legal de natureza preventiva para assegurar a protecção das águas subterrâneas através da instituição de perímetros de protecção das captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público, onde se estabelecem restrições de utilidade pública ao uso e transformação do solo.

PARALTA *et al.* (2001, p. 3) referem que a área de estudo é abrangida «...por sistemas hidrogeológicos constituídos por meios porosos de elevada permeabilidade dos “Aluviões do Tejo” e da “Bacia do Tejo-Sado” onde se pratica uma agricultura intensiva com abundante utilização de fertilizantes e pesticidas e apoiada por modernos sistemas de regadio.». É por estes motivos que a área de estudo é parcialmente abrangida pela Zona

Vulnerável do Tejo (fig. 35), que de acordo com INAG e DGADR (2008, p. 62) possui uma rede operacional que compreende 72 estações de monitorização da qualidade da água subterrânea. A zona vulnerável n.º 5 (Tejo) foi criada pela Portaria n.º 1366/2007, 18/10, posteriormente, o Programa de Acção, foi publicado pela Portaria n.º 83/2010, de 10/02, nos termos do DL n.º 235/1997, de 3/09, alterado pelo DL n.º 68/1999, de 11/03 (estabelece o regime de protecção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola, transpondo para o direito interno a Directiva n.º 91/676/CEE, de 12/12). No caso de estudo, as principais fontes de contaminação do sistema aquífero T7 encontram-se associadas a causas antropogénicas relacionadas com sistemas de agricultura de regadio e agro-pecuárias; a forma como atinge o aquífero será de geometria difusa e temporalidade intermitente e pontual. De acordo com LOBO FERREIRA (1998) a área de estudo é abrangida pelas classes de vulnerabilidade grande e muito grande, pelo índice de vulnerabilidade da água subterrânea à contaminação.

Na sequência de sondagens na lezíria ribatejana, RAMOS *et al.* (2001, p.2) detectaram a presença de níveis contaminantes na planície aluvial do Tejo, referindo que «... depois de efectuada a determinação do comportamento geoquímico de fundo dos 38 metais pesados analisados, ou seja, da concentração dos metais pesados que os sedimentos conteriam em condições naturais, não influenciadas pela actividade humana, verificou-se haver uma contaminação em cobre, crómio e chumbo, nos 70 cm de sedimentos superficiais em QB e nos 50 cm superficiais em FB. A contaminação por Cu atinge 9 vezes o valor de fundo em QB e 5 vezes em Fonte Bela, excepto nos sedimentos ao nível do fundo da vala de irrigação, onde alcança 13 vezes o valor de fundo . Esta contaminação em Cu é resultado da prática agrícola, nomeadamente da sulfatação das vinhas.».



**Figura 35 – Zona vulnerável n.º 5 (Tejo).**

De acordo com INAG (2000, pp. C-70/C-278 e C-78/C-278) a área de estudo é abrangida por duas classes de vulnerabilidade de contaminação pelo índice de vulnerabilidade DRASTIC (entre 160 e 199 e 140 e 159), pelo que está abrangida pela classes de vulnerabilidade elevada e intermédia (fig. 36).

Apesar da escala bastante pequena (1/1000K), as áreas com maior potencial de contaminação situam-se, maioritariamente nas planícies aluvionares e terraços fluviais T3 e T4, afectas ao sistema aquífero T7.

Para a área de estudo também será determinada a vulnerabilidade dos aquíferos, através do parâmetro profundidade do topo do aquífero, por ser um aspecto fundamental que condiciona a espessura de material que um poluente tem que atravessar para atingir o aquífero.

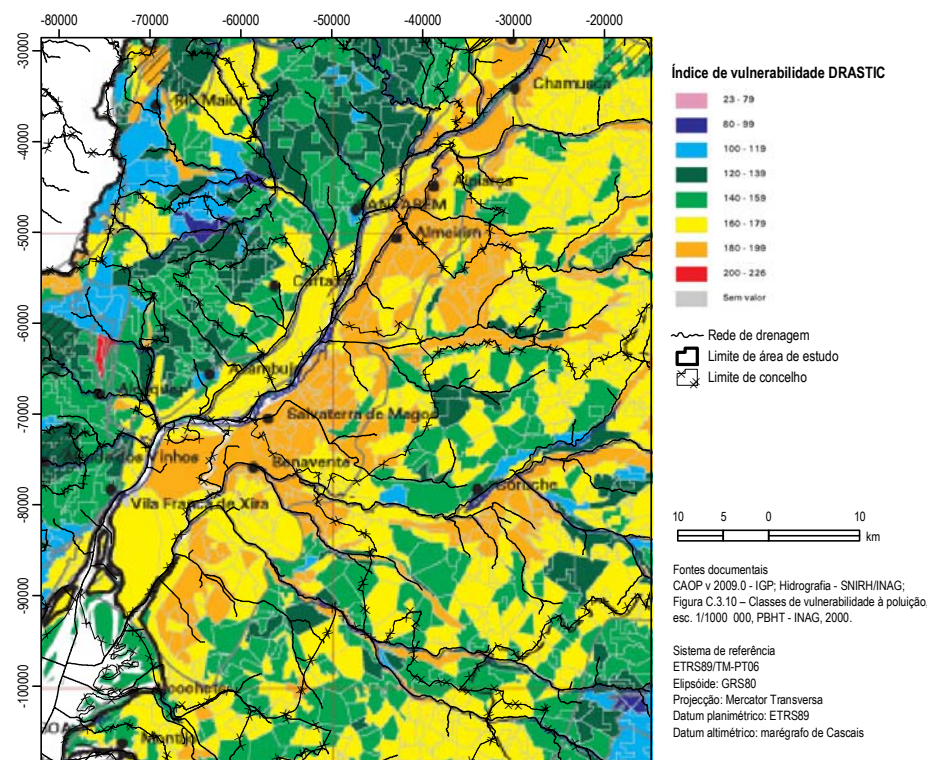


Figura 36 – Classes de vulnerabilidade à poluição (Ext. de fig. C.3.10, INAG, 2000).

## 1.2.8 Hidroclimatologia

### 1.2.8.1 Ritmo das temperaturas, pluviosidade e vento

O ritmo ou ciclo anual das temperaturas afigura-se não uniforme ou irregular, vide oscilações dos cursos das curvas da temperatura, salientando-se que a temperatura média anual do ar foi de 15,4 °C, a amplitude das temperaturas absolutas máximas e mínimas foi de 46,5 °C, a amplitude térmica média anual (das médias máximas e médias mínimas) foi de 11,8 °C (fig. 37). A precipitação média ocorre com maior magnitude nos

meses de Novembro a Março, sendo superior em Janeiro (80 mm). A precipitação máxima diária absoluta foi de 46,4 mm e ocorreu em Outubro (fig. 38).

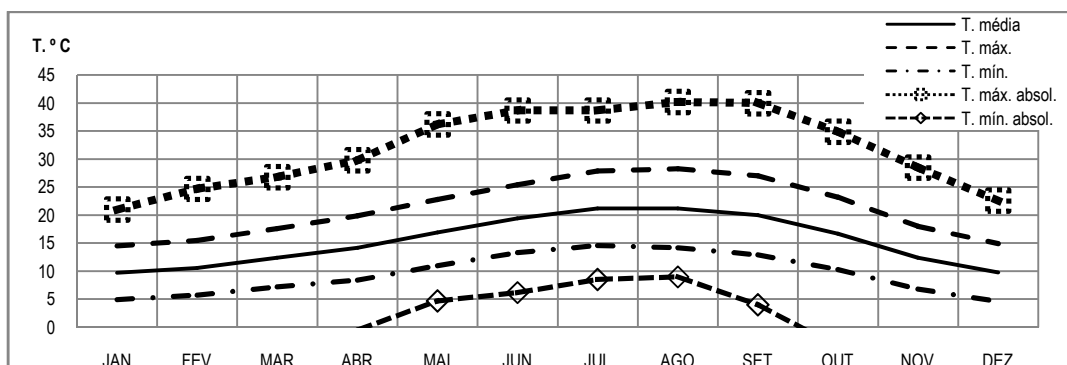


Figura 37 – Ritmo mensal de temperaturas na estação climatológica de Salvaterra de Magos (1951-73).

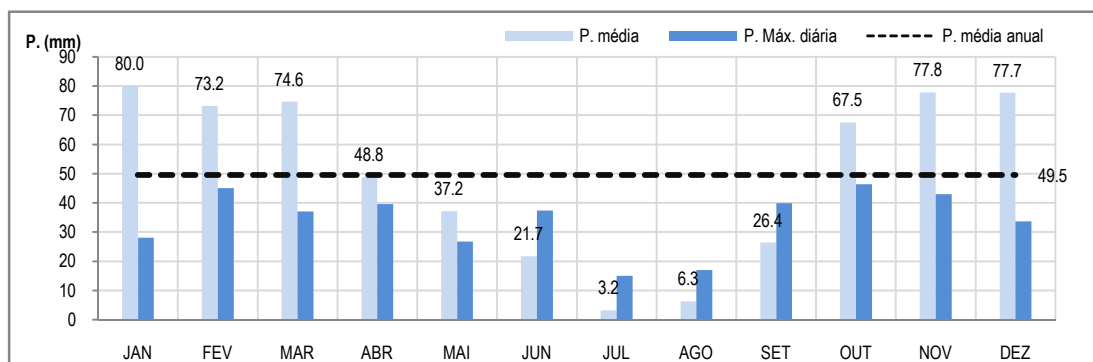


Figura 38 – Ritmo pluviométrico na estação climatológica de Salvaterra de Magos (1951-73).

O ritmo pluviométrico evidencia irregularidade intra-anual e é superior à média anual nos meses de Outubro a Março, definindo um período húmido significativo para a recarga natural dos aquíferos. Por outro lado, o rumo do vento dominante é do octante NW (mais de ¼ do ano), tal como a velocidade média (12 km.h<sup>-1</sup>), sendo a frequência de calmas de 3,2% (vento com velocidade média inferior a 1 km/h), conforme fig. 39.

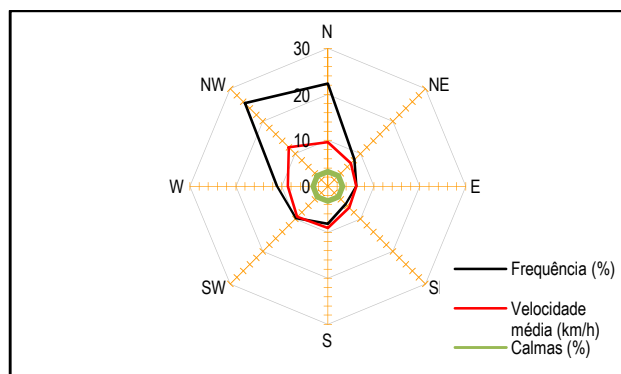


Figura 39 – Frequência e velocidade do vento na estação climatológica de Salvaterra de Magos (1951-73).

### 1.2.8.2 Balanço hidrológico

O balanço hidrológico pode ser utilizado para caracterização climática de uma região (com base nos valores médios mensais de precipitação e da evapotranspiração potencial, défice hídrico e superávit hídrico anuais médios, correspondentes à soma dos respectivos valores mensais verificados ao longo do ano; à posteriori destes cálculos podem ser determinados índices climáticos, necessidades de rega de sistemas de culturas agrícolas (com base no défice hídrico); cálculo do escoamento superficial (com base no superávit e variação de armazenamento de água no solo); cálculo da recarga natural de aquíferos (escoamento subterrâneo + variação de armazenamento de água no subsolo); predição de impactes humanos no ciclo hidrológico. Assim, as potencialidades de aplicação em Ordenamento do Território são notáveis, para avaliação da exequibilidade económica e ecológica de estratégias de uso e ocupação e transformação dos recursos territoriais água e solo (DUNNE e LEOPOLD (1978, pp. 236-237) e LENCASTRE e FRANCO (2010, pp. 328-338). De acordo com RAMOS (2005, pp. 29, 30, 42), a precipitação ( $P$ ) faz a transferência de água do ramo aéreo para o ramo terrestre do ciclo hidrológico, constituindo o *input* (entrada) da água nos sistemas naturais. É ela que alimenta as outras componentes do ciclo hidrológico. Este facto é dado pela equação clássica da hidrologia (eq. 1):

$$P = Et + I + Es + \Delta A_{sup} + \Delta A_{so} + \Delta A_{sub}$$

**Equação 1** – Balanço do ciclo hidrológico.

em que:  $P$  – precipitação;  $\Delta A_{sup}$  - variação do armazenamento superficial;  $Et$  – evapotranspiração  $\Delta A_{so}$  - variação do armazenamento no solo;  $Es$  – escoamento  $\Delta A_{sub}$  - variação do armazenamento subterrâneo ;  $I$  - infiltração. Quando se consideram longos períodos de tempo, é usual admitir-se que as variações de armazenamento de água ( $\Delta A$ ) se anulam, pelo que a equação se pode simplificar (eq. 2):

$$P = Et + I + Es$$

**Equação 2** – Balanço do ciclo hidrológico simplificado.

Um dos métodos mais divulgados da aplicação sequencial do balanço hidrológico é devida a C. Thornthwaite e J. Mather através da seguinte equação (eq. 3):

$$P - (E_{tr} + \Delta A_{so}) = E_{sup} + \Delta A_{sup} + E_{sub} + \Delta A_{sub}$$

**Equação 3** – Aplicação sequencial do balanço do ciclo hidrológico.

De acordo com a mesma autora, é possível demonstrar-se, através da aplicação do método de Thornthwaite-Mather, como o balanço hídrico de uma mesma região varia ao longo do ano e quantificam-se as suas 4 situações hídricas: défice de água, evapotranspiração em detrimento da reserva de água do solo, reconstituição da reserva de água do solo e excesso de água. Com vista a analisar o balanço hídrico da área objecto de estudo, recorreu-se à fonte documental do I.N.M.G. (1991) - *O Clima de Portugal. Normais Climatológicas da Região de Ribatejo e Oeste correspondentes a 1951-1980* (quadro 13).

**Quadro 13** – Balanço hídrico sequencial mensal do solo para a estação climatológica de Salvaterra de Magos<sup>10</sup> (valores médios de 23 anos: 1951-1973), segundo o método Thornthwaite-Matter<sup>11</sup>.

U = 100 mm

A inicial		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Temperatura média (°C)		9,7	10,6	12,4	14,2	16,9	19,4	21,2	21,2	20,0	16,7	12,4	9,8	
Índice i		2,73	3,12	3,96	4,86	6,32	7,79	8,91	8,91	8,16	6,21	3,96	2,77	67,68
ETp0 (mm)		28,06	32,23	41,16	50,86	66,73	82,76	95,05	95,05	86,79	65,50	41,16	28,51	
Coefficiente K		0,82	0,90	1,00	1,11	1,19	1,24	1,22	1,14	1,04	0,93	0,84	0,79	
ETP (mm)		23,0	29,0	41,2	56,5	79,4	102,6	116,0	108,4	90,3	60,9	34,6	22,5	764,3
Precipitação (mm)		80,0	73,2	74,6	48,8	37,2	21,7	3,2	6,3	26,4	67,5	77,8	77,7	594,4
Défice de precipitação		0,0	0,0	0,0	-7,7	-42,2	-80,9	-112,8	-102,1	-63,9	0,0	0,0	0,0	409,5
Perda de água potencial		0,0	0,0	0,0	7,7	49,9	130,8	243,6	345,6	409,5	0,0	249,5	66,4	
Armazenamento (A) (mm)	100,0	100,0	100,0	92,6	60,7	27,0	8,8	3,2	1,7	8,2	51,5	100,0		
Varição do armazenamento		0,0	0,0	0,0	-7,4	-31,9	-33,7	-18,3	-5,6	-1,5	+6,6	+43,2	+48,5	
ETR (mm)		23,0	29,0	41,2	56,2	69,1	55,4	21,5	11,9	27,9	60,9	34,6	22,5	453,1
Défice hídrico (mm)		0,0	0,0	0,0	0,3	10,3	47,2	94,5	96,5	62,4	0,0	0,0	0,0	311,2
Superávit hídrico (mm)		57,0	44,2	33,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	141,3

**Balanço anual**

A inicial	+	Precipitação	-	ETR	=	A final	+	Superávit
100,0	+	594,4	-	453,1	=	100,0	+	141,3
					=	241,3		

Não obstante os Anuários Climatológicos serem frequentemente utilizados em análises do género, optou-se por obter a perspectiva próxima da normal, por conferirem maior estabilidade aos parâmetros climáticos utilizados. A estação climatológica utilizada é a de Salvaterra de Magos com série cronológica referente ao período de 1951-1973.

A estimativa do escoamento superficial foi determinada de acordo com a regra de Thornthwaite e Mather de metade do conjunto, a partir do superávit<sup>12</sup>, conforme exposto em DUNNE e LEOPOLD (1978, pp. 243-244), MENDES e BETTENCOURT (1980, p. 7) ou LENCASTRE e FRANCO (2010, pp. 332-333), iniciando-se no primeiro mês com superávit (Dezembro). O escoamento superficial (*runoff*) é a parcela de superávit hídrico que alimenta o escoamento superficial, a infiltração, percolação e o escoamento subterrâneo, porém, nem toda a

<sup>10</sup> Posicionada a  $\lambda = 8^{\circ}44'28.95''W$ ,  $\varphi = 39^{\circ}2'17.082''N$ , na margem direita do fundo de vale aberto, da Ribeira de Magos, a 5 metros de altitude, no troço a jusante da Albufeira de Magos. A estação meteorológica de Salvaterra de Magos, referência 19E-02, foi extinta. Actualmente funciona no mesmo local uma estação agro-meteorológica denominada Paul de Magos, a cargo da Associação de Regantes e Beneficiários do Vale do Sorraia (tem as funções de administração, conservação e exploração da Obra de Rega do Vale do Sorraia desde 1959. A área de influência abrange uma superfície de 15.365 hectares nos distritos de Portalegre, Évora e Santarém, interessando os concelhos de Ponte de Sor, Avis, Mora, Coruche, Salvaterra de Magos e Benavente), e faz parte de um sistema meteorológico que conta actualmente com uma rede de 8 estações agro-meteorológicas automáticas, com arquivo dos dados originais em bases de dados. As estações estão dispersas pela Obra de Rega do Vale do Sorraia. Os dados disponibilizados são temperatura, precipitação, humidade relativa, radiação global, velocidade média do vento e ETo (evapotranspiração de referência).

<sup>11</sup> Determinado com base no Programa de cálculo desenvolvido pelo Professor Doutor Eusébio Reis para a disciplina de Hidrologia Continental (Maio de 2002).

<sup>12</sup> Face a RAMOS (2005b, p. 44), superávit (ou excesso) hídrico (S) ocorre quando o solo está saturado e  $P \geq Etp$ , então  $S = P - Etp$ . Mas se está a ocorrer a reconstituição da reserva útil, então  $S = (P - Etp) - |\Delta A|$ .

água resultante do excesso hídrico de um mês se escoar nesse mês, podendo escoar-se no(s) mês(es) seguinte(s) (RAMOS, 2005b, p. 45). É um processo subaéreo função da declividade da morfografia, possança e textura do solo, condutividade hidráulica do substrato, vegetação e intervenção humana (vide, por exemplo, RAMOS, 2005b, pp. 47-53). O escoamento superficial é máximo em Fevereiro, com 37,2 l.m<sup>-2</sup>, para ser mínimo e atingir 0,1 l.m<sup>-2</sup> no mês de Novembro, vide linha 3 do quadro 14.

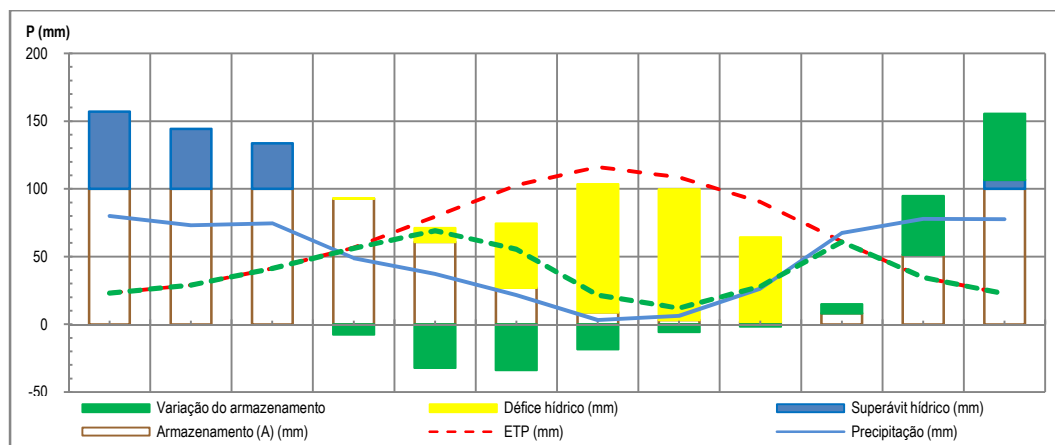
**Quadro 14** – Determinação dos valores do escoamento de superfície (mm ou l.m<sup>-2</sup>) a partir do balanço hidrológico mensal para a estação climatológica de Salvaterra de Magos (valores médios de 23 anos: 1951-1973).

Termos do balanço hidrológico		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Ano
1	SH	57,0	44,2	33,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	141,3
2	R + S <sub>s</sub> + s <sub>so</sub>	60,3	74,4	70,6	35,3	17,7	8,8	4,4	2,2	1,1	0,6	0,3	6,6	282
3	R	30,2	37,2	35,3	17,7	8,8	4,4	2,2	1,1	0,6	0,3	0,1	3,3	141,1
4	S <sub>s</sub> + s <sub>so</sub>	30,2	37,2	35,3	17,7	8,8	4,4	2,2	1,1	0,6	0,3	0,1	3,3	141,1
5	Δ S <sub>s</sub> + s <sub>so</sub>	+26,8	+7,0	-1,9	-17,7	-8,8	-4,4	-2,2	-1,1	-0,6	-0,3	-0,1	+3,2	

Legenda: SH= superávit; R= escoamento superficial; S<sub>s</sub>= armazenamento de água à superfície; S<sub>sso</sub>= armazenamento de água no subsolo.

De acordo com a normal climatológica o balanço hídrico é negativo (P<ETP), pelo que, e de acordo com RAMOS (2005b, p. 29), a «...evapotranspiração faz-se à custa das reservas de água do solo, entrando-se numa situação de défice hídrico.».

A representação gráfica do mesmo encontra-se na fig. 40. As quatro situações hidrológicas definidas no balanço hídrico são: o superávit ou excesso de água, que ocorre nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março e Dezembro, totalizando um excedente de 141,3 mm, isto é, água que vai alimentar o escoamento superficial, subsuperficial e subterrânea, alimentando a zona saturada.



**Figura 40** – Representação gráfica do balanço hidrológico (método de Thornthwaite e Matter), com cursos normais de precipitação, evapotranspiração potencial e real, e disponibilidades normais de água no solo, para a estação climatológica de Salvaterra de Magos (valores médios de 23 anos: 1951-1973).

O défice de água ou hídrico, que ocorre nos meses de Abril, Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro, totaliza 311,2 mm; a reconstituição da reserva de água do solo, que ocorre nos meses de Outubro e Novembro,

corresponde a 49,8 mm; a evapotranspiração em detrimento da reserva do solo, ocorre em Abril, Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro e corresponde a 98,3 mm. Assim, observa-se que quando a curva de precipitação é inferior à curva de evapotranspiração potencial, existe utilização da água do solo, pelo que, ocorre evapotranspiração em detrimento da reserva do solo, até que se esgotem os 100 mm de água disponível, que em condições naturais dificilmente atinge 0 mm. O período de deficiência de água (coincidente com o período de evapotranspiração em detrimento da reserva do solo) termina quando a curva de precipitação excede a curva de evapotranspiração.

Não obstante a variável precipitação não seja utilizada na avaliação da susceptibilidade hidrogeográfica à recarga aquífera, através desta análise parcial foi possível determinar os períodos de maior e menor disponibilidade hídrica com interesse para um melhor entendimento da hidrodinâmica dos aquíferos, designadamente do regime piezométrico, que será directamente influenciado pela variação da parcela de água para armazenamento à superfície e no subsolo.

### 1.2.8.3 Classificação e regime climático

Na classificação climática empírica de Thornthwaite-Mather<sup>13</sup>, o clima de determinado local é descrito através da utilização de quatro índices climáticos definidos com base no balanço hídrico: índice hídrico, índice de aridez, índice de humidade, eficácia térmica no Verão (eq. 4 a 7), (MENDES e BETTENCOURT, 1980, p. 10). Para a estação climatológica de Salvaterra de Magos, no cálculo do balanço hídrico e dos índices climáticos, assume-se a capacidade de água disponível do solo igual a 100 mm.

$$I_a = \frac{DH}{Etp} \times 100 \quad \text{Equação 4 – Regime hídrico sazonal: Índice de aridez.}$$

$$I_h = \frac{SH}{Etp} \times 100 \quad \text{Equação 5 – Regime hídrico sazonal: Índice de humidade.}$$

$$I_H = I_h - 0.6 \times I_a \quad \text{Equação 6 – Índice hídrico anual.}$$

$$C = \frac{Etp_m}{Etp_a} \times 100 \quad \text{Equação 7 – Eficácia térmica no Verão.}$$

onde:  $I_a$  índice de aridez,  $I_h$  índice de humidade,  $I_H$  índice hídrico,  $SH$  superávit hídrico oriundo do BH (mm),  $DH$  deficiência hídrica oriunda do BH (mm),  $Etp$ , evapotranspiração de referência ou potencial (mm),  $Etp_m$  evapotranspiração potencial do trimestre mais quente,  $Etp_a$  evapotranspiração potencial do ano. A  $C$  mede a

<sup>13</sup> Utilizada e descrita, por exemplo, nos fascículos XXIV e XXXIII do então Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, ou nos planos de bacia hidrográfica do Tejo e do Rio Lis e também descrita em MMA (2004).

concentração de  $Etp$  nos 3 meses mais quentes para caracterizar o regime térmico sazonal através da importância relativa do Verão. Considerando a heterogeneidade da precipitação nas diferentes estações do ano, e logo do  $I_a$  e  $I_h$ , o  $IH$  exprime a relação entre a aridez e humidade previamente determinadas. A eficácia térmica anual,  $E_p$ , no quadro em baixo, mede-se através da  $Etp$  em mm. Assim, para Salvaterra de Magos, o código climático é  $C_1B'_2 sa'$ , ou seja, clima sub-húmido seco, mesotérmico, com superávit de água moderado no Inverno e pequena concentração da eficácia térmica no Verão (quadro 15). Os resultados são convergentes com os valores de MENDES e BETTENCOURT (1980, p. 224).

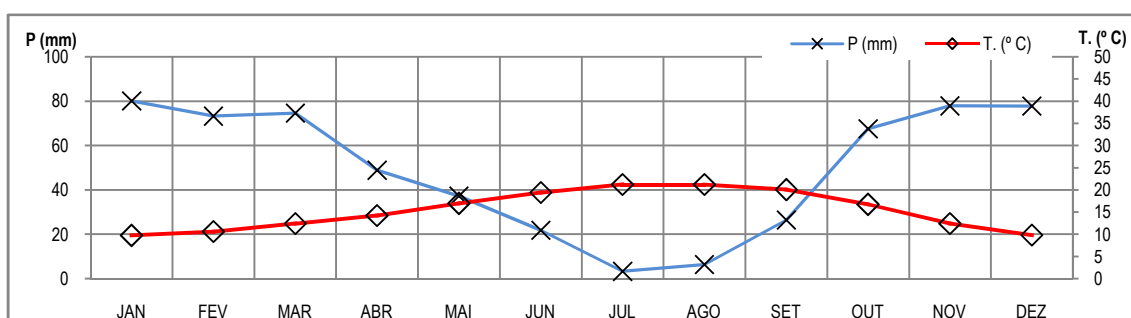
**Quadro 15** – Classificação climática de Thornthwaite e Mather a partir do balanço hidrológico mensal para a estação climatológica de Salvaterra de Magos (valores médios de 23 anos: 1951-1973).

Índice climático	Limiares	Valores	Unidade	Características	Tipo climático
Regime hídrico anual ( $I_H$ )	$-20 < I_H < 0$	-5.9	%	Sub-húmido seco	$C_1$
Regime térmico anual (eficácia térmica, $E_p$ )	$712 < E_p < 855$	764.28	mm	2.º Mesotérmico	$B'_2$
Regime hídrico sazonal					
$I_a$	$I_a > 33.3$	40.7	%	Défice de água grande, no Verão	$s_2$
$IH$ tipo $C$ : $I_h$	$10 < I_h < 20$	18.5	%	Superávit de água moderado, no Inverno	$s$
Regime térmico sazonal ( $C$ )	$C < 48$	41.2	%	Pequena ou nula concentração térmica no Verão	$a'$

De acordo com a classificação climática empírico-quantitativa de Köppen (STRAHLER, 1975, pp. 240-242; D.G.R.A.H., 1984, pp. 359-363; M.M.A., 2004, p. 143), de características amplamente regionais, e que se baseia nas médias mensais e anuais de temperatura e precipitação em função de limiares críticos para vegetação, o clima local tem o código climático  $Csb$ , isto é, um clima mesotérmico (temperaturas intermédias) húmido com estação seca no Verão, onde  $C$  significa grupo climático mesotérmico, isto é, mediterrâneo (de regime térmico com amplitude térmica moderada), com período de precipitação máxima no Inverno, com mês mais chuvoso superior a três vezes à do mês mais seco no Verão e temperatura do mês mais frio enquadrada no limiar  $-3^\circ < T < +18$ ,  $s$  subgrupo de clima com estação seca no Verão e  $b$  clima de Verão quente, onde a temperatura do mês mais quente é inferior a  $22^\circ C$  e há mais de quatro meses em que a temperatura média mensal é superior a  $10^\circ C$ .

De acordo com a classificação climática explicativo-descritiva de STRAHLER (1975, pp. 243-244, 246-247, 288-294), o clima classifica-se como mediterrâneo (subtropical com Verão seco ( $Csb$  de Köppen)) enquadra-se no grupo climático II de clima das latitudes médias (regulado por massas de ar tropicais e polares), podendo descrever-se como sendo um clima de Inverno húmido e Verão seco, em resultado da alternância estacional das condições que originam o clima desértico das costas ocidentais (associados a correntes oceânicas frias) e clima marítimo das costas ocidentais; as massas de ar polares dominam no Inverno com tempestades ciclónicas e precipitação abundante, e as massas de ar tropicais dominam no Verão com secura extrema. A oscilação térmica anual é moderada. Esta classificação climática enquadra-se no regime climático mediterrâneo que se caracteriza pelo Verão muito seco e quente que alterna com um Inverno húmido e temperado (STRAHLER, 1975, p. 249).

De acordo com a classificação de Gaussen, relativamente ao número de meses secos, onde se atende ao ritmo termopluiométrico médio, em que a precipitação (mm) é inferior a duas vezes a temperatura (°C), a área de estudo manifesta um período xérico de quatro meses coincidentes com o Verão (Junho, Julho, Agosto e Setembro), conforme diagrama ombrotérmico de Gaussen (proposto por F. Bagnoulds e H. Gaussen) (fig. 41). Esta técnica serve para colocar em evidência o período seco e necessita apenas da temperatura e precipitação médias mensais e a escala de precipitação é o dobro da temperatura. Qualquer mês com precipitação inferior a duas vezes a temperatura é um mês seco ( $P < 2T$ ). É adequado à análise da transição entre o domínio mediterrâneo e o atlântico. Para precisar a intensidade do período seco Gaussen propôs a utilização de um índice xerotérmico que nos dá o n.º de dias secos nos meses secos ( $P < 2T$ ), que não será tratado na dissertação. A precipitação média anual é de 594,4 mm e apresenta irregularidade anual, com dois picos máximos coincidentes com a estação fria, em Janeiro (80 mm) e Março (74,6 mm).



**Figura 41** – Representação gráfica dos meses secos de acordo com o critério de Gaussen para a estação climatológica de Salvaterra de Magos (valores médios de 23 anos: 1951-1973).

Com o conhecimento da classificação e regime climático é possível um melhor entendimento do funcionamento dos períodos de recarga natural dos aquíferos.

## CAPÍTULO II – O estado da arte

### 1 Recursos hídricos e problemática da sua protecção

#### 1.1 A importância da protecção dos recursos hídricos no contexto euro-mediterrâneo

No contexto Euro-Mediterrâneo, entendido como sendo a área composta por países que fazem fronteira com o Mar Mediterrâneo, as assimetrias regionais em termos de disponibilidade de água definem um contraste norte-sul, cuja quantificação é revelada pelo balanço hidrológico. A Europa do Norte e central e áreas montanhosas do Sul (Cárpatos, Balcãs, Alpes, Pirinéus, Cantábricos e serras galaico-portuguesas) com abundância ( $P > ETP$ ) e o Sul europeu ( $P < ETP$ ) com escassez, especialmente mais intensa na margem Sul e Este do Mar Mediterrâneo. Devido à evolução demográfica positiva e ao seu desenvolvimento social, alguns dos países da zona recorrem a recursos hídricos não convencionais, como seja a dessalinização e a reciclagem das águas residuais (RAMOS, 2005a).

De acordo com estudo realizado para o governo britânico em 2005 e apresentado em 2006, também se refere que os países do sul da Europa sofrerão com a escassez de água devido às alterações climáticas: «*Developed countries in lower latitudes will be more vulnerable - for example, water availability and crop yields in southern Europe are expected to decline by 20% with a 2°C increase in global temperatures. Regions where water is already scarce will face serious difficulties and growing costs*» (STERN, 2006).

Ao nível da União Europeia ocorreram diversas associadas à escassez de água e secas. A iniciativa da Comissão Europeia através da comunicação «Enfrentar o desafio da escassez de água e das secas na União Europeia» (COM(2007) 414 final, de 18/07), menciona que o **ordenamento do território** é também um dos principais motores da utilização de água e aponta que necessita de ser melhorado, vide ponto reservado à problemática de água: «O desenvolvimento económico de algumas bacias hidrográficas pode ter efeitos adversos na disponibilidade de recursos hídricos. Deve ser prestada especial atenção às bacias hidrográficas sujeitas quase permanentemente a *stress* hídrico ou a escassez de água. As actuais políticas da UE têm tendencialmente exacerbado o grau de sensibilidade destas bacias. Por exemplo, o desenvolvimento generalizado de estâncias turísticas em bacias hidrográficas sensíveis teve impactos significativos nos recursos hídricos locais. A agricultura tem também impactos significativos, nomeadamente relacionados com a irrigação.». Em 2010 a Comissão Europeia adoptou o «Segundo Relatório de Acompanhamento relativo à Comunicação sobre a escassez de água e as secas na União Europeia COM(2007) 414 final » (COM(2010)228 final, de 18/05).

A Decisão n.º 1600/2002/CE, de 22/07, do Parlamento Europeu e do Conselho estabeleceu o sexto programa comunitário de acção em matéria de Ambiente e aponta como um dos objectivos e domínios prioritários de acção em matéria de ambiente e saúde e qualidade de vida «alcançar níveis de qualidade das

águas subterrâneas e superficiais que não impliquem efeitos nem riscos significativos para a saúde humana e o ambiente e garantir que as taxas de extracção dos recursos hídricos sejam sustentáveis a longo prazo». Mais tarde, a Directiva 2006/118/CE, de 12/12 do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à protecção das águas subterrâneas contra a poluição e a deterioração, apresenta medidas específicas, previstas nos n.ºs 1 e 2 do artigo 17.º da Directiva 2000/60/CE, para impedir e controlar a poluição das águas subterrâneas.

Espanha fez a divulgação pública, em 1993, do Plano Hidrológico Espanhol e somente em 2001 é publicado o Plano Nacional da Água. Dada a relevância científica, técnica e política das gestão dos recursos hídricos, Portugal e Espanha assinam em 1998 a Convenção sobre Cooperação para a Protecção e o Aproveitamento Sustentável das Águas das Bacias Hidrográficas Luso-Espanholas. Todavia, em face da crescente utilização dos recursos hídricos, os caudais dos três principais cursos de água internacionais têm diminuído, com repercussões negativas tanto na quantidade como na qualidade da água. Aliado ao regime fluvial ponderado, por barragens, desviado por transvases, o escoamento fluvial externo e interno é fortemente influenciado pelo regime climático, nomeadamente, pela variabilidade espaço-temporal.

«Qualquer política de gestão de recursos hídricos deve assentar no conhecimento da distribuição espacial e temporal do recurso água» (PNA, 2001). É desta forma que a publicação Geografia de Portugal inicia a abordagem ao tema da água (FERREIRA, 2005). No contexto concreto de Portugal, nos termos do Decreto regulamentar n.º 18/2001, de 07/12 (referente ao Plano de Bacia Hidrográfica do Tejo), «Ao contrário de outros sectores mais recentes da gestão ambiental, a gestão da água radica numa tradição institucional e jurídica centenária que formulou conceitos ainda hoje relevantes nesta matéria». A administração hidráulica em Portugal data do final do século XIX, com a publicação em 1892 do Regulamento dos Serviços Hidráulicos. «Este documento, que compila vários decretos reais anteriores, determina pela primeira vez um enquadramento legal coerente para o domínio hídrico que, em grande parte, continua válido. A Lei da Água - Decreto n.º 5787-4I, de 10 de Maio de 1919 - estabelece pela primeira vez uma distinção clara entre águas públicas e privadas, e introduz os conceitos de licença e concessão pelas quais é permitido às entidades privadas o acesso ao uso das águas públicas, leitos e margens.». Todavia, a verdadeira política surge durante a década de 1990, fundamentalmente, por transposição de legislação comunitária, donde se destacam os DL n.ºs 74/1990, de 07/03, 45/1994, de 22/02, 46/1994, de 22/02, que culminou no século XXI com a publicação da Directiva-Quadro da Água e Lei da Água.

## **1.2 Recursos hídricos em Portugal continental**

De acordo com o Plano Nacional da Política do Ambiente (1994), em termos de capacidade aquífera, a bacia terciária do Tejo e Sado (onde se situa a área de estudo) é a região mais interessante, devido à elevada capacidade de armazenamento, dos sistemas aquíferos, associada a uma recarga anual estimada em cerca de 200 mm.

Em termos de qualidade das massas de água de superfície e subterrâneas, o Relatório do Estado do Ambiente de 2008 informa-se que «Em 2007, após actualização da análise de risco efectuada em 2005, cerca de 52,4% das massas de água de superfície de Portugal continental encontrava-se em risco de não cumprir os objectivos ambientais preconizados pela Directiva-Quadro da Água e pela Lei da Água; relativamente às águas subterrâneas, apenas 6,8% das massas de água foram classificadas como estando em risco (A.P.A., 2008).

De acordo com a Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º 86/2007, 3/07, que aprova/valida politicamente o Quadro de Referência Estratégica Nacional (QREN) e respectivos Programas Operacionais (PO) para o período 2007-2013 (enquadra a concretização em Portugal de políticas de desenvolvimento económico, social e territorial através dos fundos estruturais e de coesão associados à política de coesão da União Europeia). Neste documento fica expressa a «elevada dependência da gestão dos recursos hídricos em relação a Espanha - 64% do território continental de Portugal está integrado nas bacias hidrográficas dos rios internacionais - a pressão exercida sobre este recurso fundamental torna imperativo assegurar uma maior eficiência do seu uso», apresentando também como fragilidades «Níveis significativos de ineficiência de uso dos recursos hídricos» e «Problemas diversos de qualidade das águas de superfície e subterrâneas».

Também é manifesta a consideração do tema dos recursos hídricos no terceiro objectivo da Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS), aprovada pela RCM n.º 109/2007, de 20/08, Melhor Ambiente e Gestão Sustentável dos Recursos Naturais que visa: «Promover a gestão integrada da água no quadro das bacias hidrográficas, atendendo às interdependências das diferentes massas de água, interiores de superfície e subterrâneas, estuarinas e costeiras e às respectivas margens e áreas adjacentes, bem como às condições biogeográficas naturais, às pressões e impactes das actividades humanas e das alterações climáticas. É objectivo a não deterioração do estado das massas de água e a sua protecção, valorização e recuperação para alcançar o bom estado das águas e dos ecossistemas aquáticos e dos ecossistemas terrestres associados, em particular das zonas húmidas e das zonas ripícolas. Com esse objectivo será promovido o ordenamento do território nas zonas envolventes das massas de água, particularmente das albufeiras de águas públicas e dos estuários e nas zonas de recarga dos principais sistemas aquíferos. Serão, também, implementados instrumentos económico-financeiros para reduzir as externalidades económicas e ambientais negativas e promover o uso eficiente da água, tendo em conta as condições económicas e ambientais regionais. Será promovida a investigação técnico-científica no domínio da água.».

Em articulação com a ENDS, e na sequência das metas estabelecidas no PEAASAR - Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais (aprovado pelo Despacho n.º 2339/2007, de 14/02), por forma a assegurar o cumprimento dos objectivos de abastecimento de água para consumo humano e de tratamento de águas residuais urbanas, através da realização dos investimentos necessários para alcançar o objectivo de servir a generalidade da população portuguesa com serviços de abastecimento de água de elevada qualidade e de tratamento de águas residuais adequados, com preços acessíveis, dos diagnósticos realizados pelos planos de bacia e pelo Plano Nacional da Água, surge em 2001 o

Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA) aprovado pela RCM n.º 113/2005 de 30/06, que tem como objectivo avaliar e promover a eficiência de utilização da água em Portugal nos sectores urbano, agrícola e industrial e propor um conjunto de medidas que permitam uma melhor utilização, contribuindo para os riscos de escassez hídrica e para melhorar as condições ambientais (isto é considera exclusivamente o problema do uso eficiente da água - e não do aspecto mais abrangente da conservação da água - e considera apenas os usos consumptivos). No quadro deste programa, um dos aspectos que merece crescente atenção da sociedade é a necessidade de se proceder a um uso cada vez mais eficiente da água disponível, ou seja, otimizar a utilização desse recurso (eficiência de utilização), sem pôr em causa os objectivos pretendidos (eficácia de utilização) ao nível das necessidades vitais, da qualidade de vida e do desenvolvimento socioeconómico. Pretende-se assim utilizar menos água para conseguir os mesmos objectivos. Supletivamente, como benefícios indirectos, resulta a redução da poluição dos meios hídricos e do consumo de energia, aspectos fortemente dependentes do consumo de água.

### **1.2.1 Disponibilidade de recursos hídricos**

De acordo com RAMOS (2005a), Portugal continental é desigual no que se refere à disponibilidade dos recursos hídricos, fundamentalmente, devido à diversidade espacial e irregularidade temporal. De acordo com a mesma autora, «Dada a sua posição geográfica, a uma latitude subtropical, Portugal possui, em termos médios, um balanço hídrico negativo ( $P-ETR = -140$  mm/ano), embora essa situação de escassez só atinja metade dos meses do ano, definindo dois semestres de características hidrológicas antagónicas. O semestre seco estende-se de Abril a Setembro, enquanto o semestre húmido engloba os meses compreendidos entre Outubro a Março.».

A mesma autora, recorrendo ao balanço hídrico simplificado ( $P-ETP$ ) aplicado às diferentes bacias hidrográficas que drenam o país, salienta o contraste norte-sul: excesso de água nas bacias do Norte (balanço hídrico positivo, em que  $P > ETP$ ) e escassez nas bacias de Sul (balanço hídrico negativo, em que  $P < ETP$ ), sendo a Cordilheira Central o limite geográfico entre as duas regiões. Do ponto de vista do escoamento superficial, observa-se que a sua repartição geográfica correlaciona-se positiva e fortemente com a pluviosidade. Os locais com maior escoamento situam-se no Noroeste e na Cordilheira Central. Por oposição, o Nordeste e Sul do país apresentam escoamentos inferiores a 200 mm/ano, com excepção de serras isoladas onde o valor é superior. Assim, no «Portugal atlântico» composto pelas regiões hidrográficas situadas a norte do alinhamento descontínuo de relevos Sintra-Montejunto-Estrela, a maior porção da água da precipitação alimenta o escoamento (55% a 60%) e no «Portugal mediterrâneo», composto pelas regiões mais secas do Nordeste e do Sul, apenas 27% a 42% alimentam o escoamento, perdendo-se a maior parte para a atmosfera (58% a 73%) através da evapotranspiração.

Relativamente à população servida por tipo de origem de água e por Região Hidrográfica (RH), em 2008 e 2009, existiu um aumento generalizado da captação de água doce subterrânea ao nível de Portugal continental. Ao nível da RH 5 o aumento foi relativo à captação de água doce superficial (quadro 16).

**Quadro 16** - População servida por tipo de origem de água e por Região Hidrográfica em 2008 e 2009. (Extraído de INAG, 2009, 2010).

Regiões Hidrográficas	População servida (%)			
	2008		2009	
	Águas de superfície	Águas subterrâneas	Águas de superfície	Águas subterrâneas
Continente	61	39	66	34
Minho e Lima (RH 1)	32	68	34	66
Cávado, Ave e Leça (RH 2)	95	5	96	4
Douro (RH 3)	76	24	86	14
Vouga, Mondego, Lis e Ribeiras do Oeste (RH 4)	49	51	56	44
Tejo (RH 5)	51	49	57	43
Sado e Mira (RH 6)	20	80	22	78
Guadiana (RH 7)	52	48	59	41
Ribeiras do Algarve (RH 8)	83	17	79	21
Açores (RH 9)	4	96	4	96
Madeira (RH 10)	34	66	51	49

Segundo RAMOS (2005a) «... os dois hidrossistemas que permitem efectuar a avaliação dos recursos hídricos, potencialmente disponíveis numa dada região, são as bacias hidrográficas, para os superficiais, e os sistemas aquíferos para os subterrâneos.», onde podemos encontrar quatro tipos de circulação da água: poroso, cársico, fissurado e vacuolar. A dificuldade do estudo dos sistemas aquíferos é evidente tendo em consideração a sua delimitação. No Plano Nacional da Água definem-se 62 sistemas, no Atlas da Água (INAG) definem-se 58 e no «Desenvolvimento de um Inventário das águas subterrâneas de Portugal» (J. Lobo Ferreira *et al.*, 1995, *in* FERREIRA, 2005), os aquíferos foram agrupados em 26 sistemas.

Não obstante a dificuldade de avaliação da recarga dos aquíferos (estes sistemas apresentam variações laterais e verticais de fácies e de possança e são condicionadas pela acção antropogénica, sobretudo pela impermeabilização), que face à autora, representa a quantidade de água que até eles chega, durante um determinado tempo, através da infiltração profunda, ou seja, a recarga «... é o volume de água médio anual disponível para recarregar os aquíferos se estes forem explorados continuamente» (Lobo Ferreira *et al.*, 1995, p. 58, *in* FERREIRA, 2005), salienta-se que os valores de recarga apresentados pelos autores citados, ainda que potencial, para os sistemas aquíferos da Orla Ocidental, apesar de possuírem somente 19% das reservas de água subterrânea de Portugal continental, possuem 46% dos recursos hídricos subterrâneos renováveis, ultrapassando as Bacias Sedimentares do Tejo e Sado cujos valores correspondem a 72% e 42% respectivamente. Contudo, face à extensão e espessura, o sistema aquífero de Margem Esquerda da Unidade Hidrogeológica do Tejo-Sado continua a ser o mais importante, representa cerca de 33% dos recursos hídricos subterrâneos renováveis do país (RAMOS, *in* FERREIRA, 2005). Ainda de acordo com RAMOS, tendo por base dados do Plano Nacional do Ambiente, 2001, em termos de pressão humana sobre os recursos hídricos, verifica-se que é de longe superior relativamente aos recursos hídricos subterrâneos, pois são utilizados anualmente, 76%

dos recursos hídricos subterrâneos anuais; em contrapartida são utilizados 13% dos recursos hídricos superficiais, especialmente, devido aos consumos ligados ao sector-primário da agricultura e uso urbano.

Quanto à dependência dos recursos hídricos subterrâneos, a autora conclui que o Algarve é a região mais dependente, considerando que 80% do total das suas utilizações são provenientes dos aquíferos, devido à exiguidade e escoamento temporário das ribeiras; por sua vez o Alentejo é a região menos dependente face ao substrato/subsolo existente que se comporta como formação impermeável (com excepção de pequenos afloramentos de calcários cristalinos ou mármore), à semelhança da escassez dos recursos hídricos superficiais, cuja resolução, é em parte conseguida através do armazenamento de água em barragens para rega e abastecimento público.

A propósito das Alterações Climáticas em Portugal, VEIGA da CUNHA *et al.* (2006), expõem os impactes directos das alterações climáticas nos recursos hídricos portugueses, em concreto, no regime do escoamento superficial e na recarga de aquíferos e na piezometria e posição das interfaces em aquíferos localizados em zonas costeiras e estuarinas, assim como, o efeito esperado no regime de ocorrência de situações de cheia. Os resultados obtidos para o século XXI, através dos modelos climáticos, sugerem um ligeiro aumento da precipitação anual para a região Norte de Portugal e um decréscimo para as regiões Centro e Sul, resultado do aumento da assimetria sazonal da precipitação, com diminuição significativa no Verão e aumento da temperatura média anual mais significativo no Sul do país. Por outro lado, concluem que existe uma tendência clara para a redução da disponibilidade da água correspondente aos recursos aquíferos superficiais/freáticos, em resultado da redução da recarga e do aumento da evapotranspiração, com a consequente degradação de ecossistemas fluviais de regime efluente e albufeiras.

### **1.2.2 Os recursos hídricos nas regiões transfronteiriças luso-espanholas**

No artigo apresentado por MARTINS (2005), dá-se a conhecer o assunto das várias cimeiras luso-espanholas, onde se percebe que desde 1993 o tema específico dos recursos hídricos tem estado na agenda e foi dos mais recorrentes até à actualidade, por razões estratégicas de carácter socioeconómico e ambiental. A título exemplificativo, veja-se o caso concreto da cimeira luso-espanhola de Valência, em 2-3/10/2002, aprovada pela Resolução da Assembleia da República n.º 13/2003, de 01/03 cuja aprovação da Convenção entre a República Portuguesa e o Reino de Espanha sobre Cooperação Transfronteiriça entre Instâncias e Entidades Territoriais, foi assinada em Valência em 3 de Outubro de 2002. Não obstante não incida directamente sobre a temática dos recursos hídricos, pode enquadrar iniciativas relacionadas com a água (vide n.º 1 do art.º 5.º - Conteúdo dos protocolos de cooperação).

No passado recente o Decreto do Presidente da República n.º 147/2008 de 14/11, ratificou o Protocolo de Revisão da Convenção sobre Cooperação para a Protecção e o Aproveitamento Sustentável das Águas das Bacias Hidrográficas Luso-espanholas (Convenção de Albufeira) e o Protocolo Adicional, acordado a nível político durante a 2.ª Conferência das Partes da Convenção, realizada em Madrid em 19/02/2008 e assinado em

04/04/2008, aprovado pela Resolução da Assembleia da República n.º 62/2008, em 26/09/2008. Nesta Resolução uma das considerações que motivaram a revisão foi a necessidade de redefinir os critérios de determinação do regime de caudais das águas das bacias hidrográficas luso-espanholas.

Por outro lado, no contexto do Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN) e considerando as debilidades territoriais (socioeconómicas) nas áreas transfronteiriças, salienta-se o Programa Operacional de Cooperação Transfronteiriça Portugal-Espanha, 2007-2013, que abrange um território composto por 17 NUT III fronteiriças, que constitui o seu âmbito básico de aplicação (fig. 42).

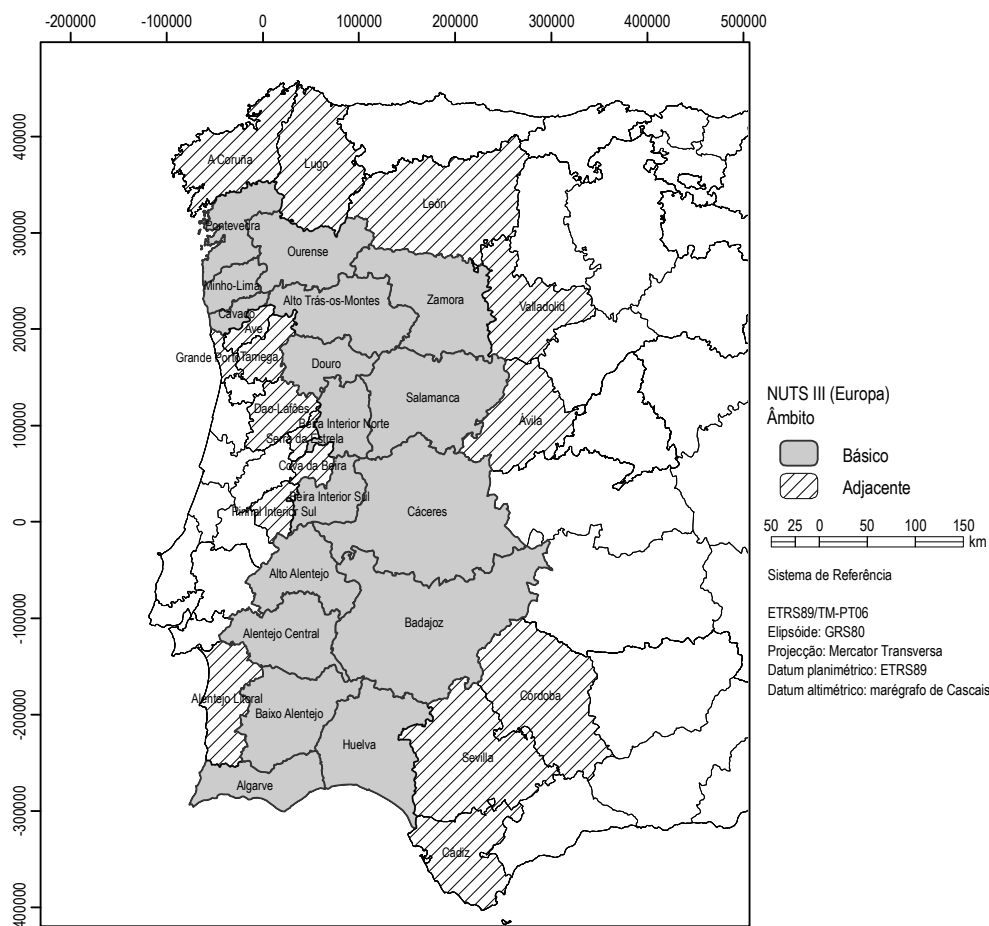


Figura 42 – NUT III de âmbito básico e adjacentes.

Tendo por base o programa elaborado pelo I.F.D.R./PT e D.G.F.C./ESP (2009), aquelas unidades territoriais cobrem uma superfície total de 136 640 Km<sup>2</sup> (23,5% do espaço ibérico) e contam com uma população de 5 474 225 habitantes, o que representa cerca de 10% da população total dos dois estados. «As 17 NUT III fronteiriças, dividem-se por ambos os lados da raia da seguinte forma: i) Portugal (10) – Minho-Lima, Cávado, Alto Trás-os-Montes, Douro, Beira Interior Norte, Beira Interior Sul, Alto Alentejo, Alentejo Central, Baixo Alentejo e Algarve; Espanha (7) – Pontevedra, Ourense, Zamora, Salamanca, Cáceres, Badajoz e Huelva.». As 16 NUTS de âmbito adjacente são: Grande Porto, Ave, Tâmega, Dão – Lafões, Serra da Estrela, Cova da Beira, Pinhal

Interior Sul, Alentejo Litoral (Portugal) e A Coruña, Lugo, Léon, Valladolid, Ávila, Córdoba, Sevilha, Cádiz (Espanha). No âmbito do diagnóstico efectuado para o mesmo programa (área da Protecção e Gestão Ambiental) enumeram-se como aspectos negativos a contaminação de algumas bacias fluviais, insuficientes infra-estruturas para o tratamento de águas residuais e má qualidade das águas subterrâneas. Como oportunidades apontam-se a gestão conjunta das bacias fluviais e como ameaças a emergência/agravamento dos problemas ambientais, a extensão dos regadios com técnicas tradicionais e a degradação e contaminação provocada pela actividade extractiva na faixa piritosa. No contexto dos eixos prioritários e objectivos específicos da programação, a prioridade designada cooperação e gestão conjunta em ambiente, património e prevenção de riscos (desenvolvida em termos dos objectivos específicos derivados do diagnóstico SWOT e da tipologia orientadora dos projectos), define como objectivos específicos: apoiar intervenções orientadas para o planeamento e gestão coordenada de infra-estruturas e serviços ambientais (recursos hídricos nas bacias hidrográficas transfronteiriças, sistemas conjuntos de recolha e tratamento de resíduos). No seguimento a tipologia de projectos enquadra: «Projectos transfronteiriços para melhorar as dotações e o uso racional da água; projectos transfronteiriços para a gestão e uso conjunto da água superficial e subterrânea; projectos de planeamento e gestão coordenada de saneamento e depuração em tramos transfronteiriços de bacias fluviais partilhadas; projectos transfronteiriços de sistemas conjuntos de recolha e tratamento de resíduos sólidos urbanos, agrários e industriais; redacção de estudos – viabilidade, estratégicos, ambientais, ... – e projectos técnicos de alcance transfronteiriço.

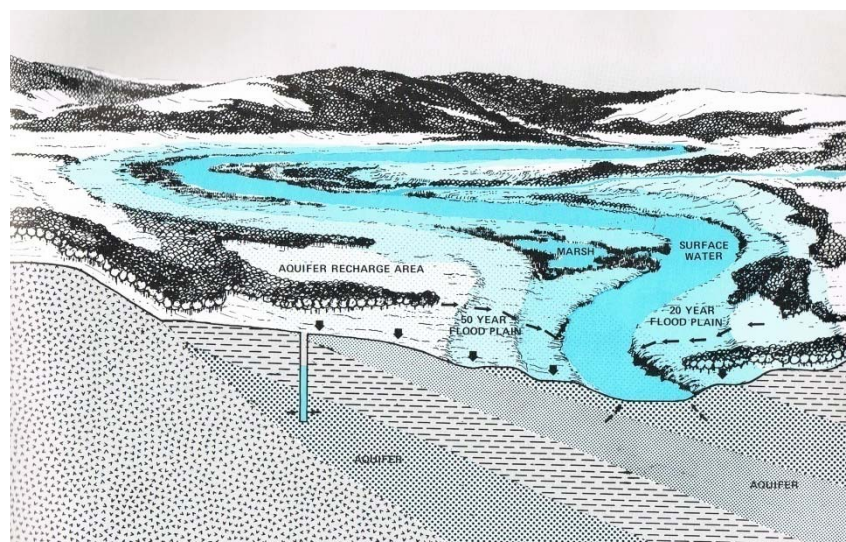
### **1.2.3 Enquadramento temático das áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos**

As áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos são áreas geográficas com estatuto legal determinado pelo RJREN e fazem parte de uma das áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre. O conceito e função encontram-se explicados no n.º 1/d/Secção II/Anexo I, a que se refere o art.º 5 do DL n.º 166/2008, de 22/08, rectificado pela DR n.º 63-B/2008, de 21/10, e que é: «As áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos são as áreas geográficas que, devido à natureza do solo, às formações geológicas aflorantes e subjacentes e à morfologia do terreno (Geomorfologia), apresentam condições favoráveis à ocorrência de infiltração e recarga natural dos aquíferos e se revestem de particular interesse na salvaguarda da quantidade e qualidade da água a fim de prevenir ou evitar a sua escassez ou deterioração.».

São áreas de transferência entre água superficial e aquíferos (MCHARG, 1992, p. 58) (fig. 43). Por exemplo, é a transferência da água subterrânea para a água superficial que permite que os cursos de água tenham água nos períodos sem precipitação (cursos de água efluentes). São áreas críticas de circulação de água, pois uma área atravessada por um curso de água poluído, pode contaminar determinado aquífero, normalmente, relativamente limpos. Tratam-se portanto, de áreas críticas ou estratégicas de circulação de água

para a gestão e protecção dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais em concreto, e para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre.

MCHARG (1992, p. 58) também refere que estas superfícies permeáveis que contribuem para a recarga de aquíferos, devem ser objecto de gestão regulamentada dos usos do solo, e acauteladas de cursos de água poluídos (ou outros focos de poluição difusa ou pontual), afim de assegurar a continuação da percolação.



**Figura 43** – Hidrogeomorfologia e hidrogeologia em corte transversal de um vale. (Ext. de MCHARG, 1992, p. 59).

Em termos de Ordenamento do Território, e por beneficiar de protecção legal, a REN possui o estatuto de restrição de utilidade pública, onde se estabelecem um conjunto de condicionamentos à ocupação, uso e transformação do solo, identificando os usos e as acções compatíveis com os objectivos desse regime nos vários tipos de áreas (vide art. 2.º) dos três grandes conjuntos de áreas abrangidas pela REN: áreas de protecção do litoral, áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre (inclui as áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos) e áreas de prevenção de riscos naturais.

A expressão áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos engloba tanto as áreas de infiltração máxima como as cabeceiras das linhas de água previstas no DL n.º 166/2006, de 06/09, porém, com a inovação de possuir maior alcance do ponto de vista da gestão da água, cuja explicitação se faz a seguir.

Para reforçar o carácter estratégico da água, veja-se, RAMOS PEREIRA, *et al.* (1997, p. 19), onde se compreende que a área de estudo posiciona-se numa das duas áreas com os melhores reservatórios de água subterrânea existentes em Portugal Continental, porquanto, situa-se onde existe «a maior espessura das formações sedimentares porosas do Baixo Vale do Tejo, para onde converge a água superficial e subterrânea das áreas envolventes mais elevadas, aliadas à precipitação relativamente elevada, repartida por mais de 100 dias/ano...». Por outro lado, no artigo que veio a divulgar parte da investigação desenvolvida no âmbito do projecto MAREN, de onde parte da frase anterior foi retirada, RAMOS PERREIRA *et al.* (2000, p. 38), em

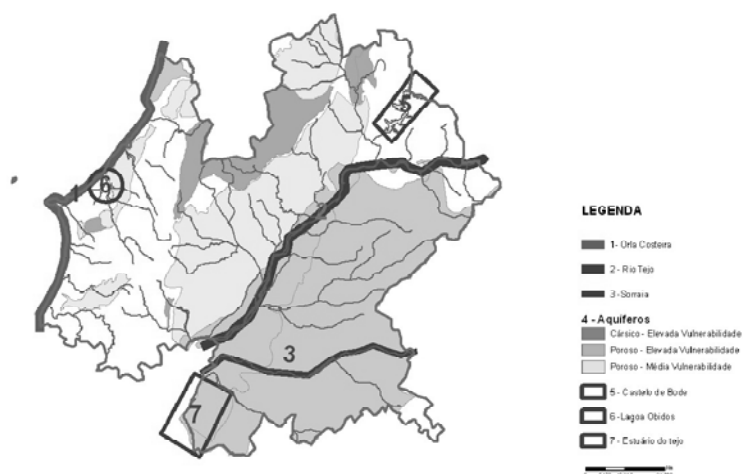
conformidade com o então RJREN dado pelo DL n.º 93/1990, de 19/03, defendia que «As áreas de REN devem ser definidas e geridas em rede (rede de REN litoral, REN de áreas em riscos de erosão, REN ribeirinha e **REN aquífera**), de forma a que as diferentes áreas pertencentes aos diversos tipos de REN se possam articular de forma integrada.». É uma afirmação que volvidos 10 anos continua actual e reforça o carácter estratégico que estas áreas assumem, pois o novo RJREN dado pelo DL n.º 180/2008, de 22/08, não só conserva como estende a abrangência das áreas de protecção (sob as denominações áreas de protecção do litoral, **áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre** e áreas de prevenção de riscos naturais), como vai ao encontro da protecção integrada, vide pressupostos fundamentais em que se baseou a revisão do RJREN (no preâmbulo do DL n.º 180/2008, de 22/08): «i) o reforço da importância estratégica da Reserva Ecológica Nacional, tendo presente a sua função de protecção dos recursos considerados essenciais para a manutenção e preservação de uma estrutura biofísica indispensável ao uso sustentável do território;» e mais alargada ao promover «iii) a articulação explícita com outros instrumentos de política de ambiente e de ordenamento do território». Isto é, somente com o novo diploma do RJREN é que se introduziu maior alcance nos objectivos de protecção da água e se passou a encarar a delimitação de áreas geográficas de alimentação de massas de água subterrânea (áreas de recarga de aquíferos) como áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos a integrar na REN para **salvaguarda da quantidade e qualidade da água subterrânea** por ser um dos principais mananciais de abastecimento humano.

De acordo com RAMOS PEREIRA, *et al.* (1997, p. 19 e 2000, p. 9), «...a REN deve ser considerada como um instrumento fundamental no ordenamento do território, uma vez que tenta regar o uso de áreas particularmente sensíveis do ponto de vista ambiental, porque experimentam um elevado grau de transformação quando submetidas a pressões antrópicas ou naturais (Viles e Spencer, 1995)». Exemplificando, RAMOS PEREIRA *et al.* (2000, p. 24), demonstra a importância da protecção através do caso do município de Porto de Mós, explicando que «... a contaminação generalizada dos aquíferos da área levou a autarquia a fazer o abastecimento público a partir da barragem de Castelo de Bode, com custos muito acrescidos.», onde também refere que, para além deste exemplo, no Maciço Calcário Estremenho, existem áreas «...situadas nos vales do baixo Tejo e Sado que, apesar de possuírem as melhores reservas de água subterrâneas do país, devido à difusão dos focos poluidores, se tornaram impróprias para abastecimento público, tendo levado vários municípios a recorrer à água de Castelo de Bode.».

SIMÕES (1998, prefácio) refere que «Por termos aqui, no Baixo Tejo, o maior e o mais importante reservatório natural de águas subterrâneas do País; por constituir a única fonte de abastecimento de alguns municípios e constituir possível recurso futuro de outros, actualmente fornecidos por águas superficiais de barragem, torna-o estratégico e obrigatória a sua preservação. Com mais razão ainda, se assumirmos a acessibilidade a actos de vandalismo, em momentos de crise, a que o armazenamento de águas superficiais está sujeito (barragens), comprometendo o abastecimento de água potável e mesmo a saúde pública dos habitantes da área urbana dele dependente.».

Em face do PNUEA, sendo a água um factor essencial para o desenvolvimento socioeconómico do País, deve ser considerada um recurso estratégico e estruturante, tendo necessariamente que se garantir uma elevada eficiência do seu uso, o que deve corresponder a uma opção estratégica na política portuguesa de gestão de recursos hídricos. As razões que sustentam esta opção estratégica são: imperativo ambiental (recurso não ilimitado); necessidade estratégica (alternativa ligada às disponibilidades e reservas de água no País); interesse económico a nível nacional (estimam-se em 0,64% do PIB nacional as potenciais poupanças); interesse económico a nível do tecido empresarial; interesse económico a nível das entidades gestoras; interesse económico a nível dos cidadãos; corresponde a obrigações do País em termos de legislação comunitária.

De acordo com o Plano Regional de Ordenamento do Território do Oeste e Vale do Tejo – PROT-OVT (RCM n.º 64-A/2009, de 06/08, rectificado pela Declaração de Rectificação n.º 71-A/2009, de 02/10) «A água sob as suas diferentes formas constitui um recurso estratégico na Região Oeste e Vale do Tejo. O oceano, os recursos hídricos superficiais e os recursos hídricos subterrâneos assumem uma dimensão que os colocam ao nível dos recursos fundamentais para a sustentabilidade regional.» (fig. 44).



**Figura 44** - Água enquanto valor estratégico do OVT. (Ext. de RCM n.º 64-A/2009, de 06/08).

Refere-se também que «Os recursos subterrâneos têm escala internacional pela dimensão estratégica que apresentam, em especial, os aquíferos do Rio Tejo e Sado e ainda os dos calcários cársicos das zonas serranas do interior da região.». Dada a relevância da água presente em todas as actividades humanas, podem ser delimitadas áreas com potencial hidrogeológico, com vista à definição de reservas estratégicas, nos instrumentos de gestão territorial nos termos do regime jurídico dos instrumentos de gestão territorial – RJIGT (DL n.º 380/1999, de 22/09, com a redacção dada pelo DL n.º 46/2009, de 20/02). Por exemplo, o município de Pombal recorreu ao enquadramento legal do RJIGT para estabelecendo medidas preventivas para o Sistema Aquífero da Mata do Urso, que é a designação dada ao Sistema Aquífero Leirosa-Monte Real (código O10;

classificado como poroso e multicamada, isto é, com características aproximadamente similares ao sistema aquífero T7), inserido na Unidade Hidrogeológica Orla Ocidental (ALMEIDA *et al.*, 2000c), na área pertencente ao concelho de Pombal, abrangendo parte das freguesias de Carriço e Guia. As medidas preventivas visam salvaguardar, a curto prazo, a compatibilização da gestão do abastecimento público com o uso do solo, conservando e protegendo os sistemas aquíferos em causa vide publicações em Diário da República, através do Aviso n.º 25065/2008, de 15/10 e do Aviso n.º 5821/2010, de 19/03.

Em apresentação efectuada Manuel Lacerda da ARH Tejo, em Faro, a 4/12/2008, enumerou as seguintes situações críticas no contexto da gestão integrada dos recursos hídricos da sua jurisdição: como exemplo de sobre-exploração o caso do Sistema aquífero de Torres Vedras (indícios); de intrusão salina, o exemplo de Almada e Peniche (indícios); de contaminação difusa e tópica o exemplo das Aluviões do Tejo (área a montante de Santarém) e no que se refere a zonas vulneráveis, o exemplo da Zona Vulnerável 5 - Aluviões do Tejo (Directiva 91/676/CEE, de 12/12; Portaria n.º 164/2010, Portaria 83/2010, de 10/02). De facto, salienta-se que o distrito de Santarém apresenta várias actividades humanas susceptíveis de poluir a água subterrânea, nomeadamente através do uso intensivo de pesticidas e fertilizantes na agricultura, de explorações agro-pecuárias, indústrias extractivas e transformadoras, sistemas de tratamento de águas residuais deficientes ou inexistentes.

Ainda de acordo com o PROT-OVT «No Oeste e Vale do Tejo a disponibilidade dos recursos hídricos não constitui um problema, no entanto, a sua vulnerabilidade e contaminação são especialmente importantes, sobretudo nos terrenos de permeabilidade elevada.», onde se pode enquadrar a área de estudo.

As áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos também estão previstas na Lei da Água (Lei n.º 58/2005, de 29/12), vide n.º 1/art.º 2º e relaciona-se com os seguintes diplomas: DL n.º 236/1998, de 01/08 com a redacção actual (estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos); DL n.º 382/1999, de 22/09 (estabelece as normas e os critérios para a delimitação de perímetros de protecção de captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público, com a finalidade de proteger a qualidade das águas dessas captações); DL n.º 77/2006, de 30/03 (complementa a transposição da Directiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23/10, que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água, em desenvolvimento do regime fixado na Lei n.º 58/2005, de 29/12); Directiva n.º 2006/118/CE, 12/12 (estabelece medidas específicas, previstas nos n.ºs 1 e 2 do artigo 17.º da Directiva 2000/60/CE, para impedir e controlar a poluição das águas subterrâneas relativa à protecção das águas subterrâneas contra a poluição e a deterioração); DL n.º 226-A/2007, de 31/05, com a actual redacção (estabelece o regime jurídico de utilização do domínio hídrico); DL n.º 208/2008, de 28/10 (estabelece o regime de protecção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2006/118/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12/12, relativa à protecção da água subterrânea contra a poluição e deterioração, e regulamenta o artigo 47.º da Lei n.º 58/2005, de 29 /12, no respeitante à avaliação do estado químico da água

subterrânea); Portaria n.º 133/2005, de 16/08 (estabelece um regime de licenciamento do exercício das actividades de pesquisa, captação e montagem de equipamentos de extracção de água subterrânea); Portaria n.º 1450/2007, de 12/11 (regulamenta o regime de utilização dos recursos hídricos); Despacho 14872/2009, de 02/07 (estabelece que sejam seguidas normas de orientação garantir uma correcta e homogénea aplicação da legislação em todo o País); e a Portaria n.º 1115/2009, de 29/09 (estabelece o regime de avaliação e a monitorização do estado quantitativo das massas de água subterrâneas a que se refere o art.º 47.º da Lei n.º 58/2005, de 29/12).

## 2 Estudos e métodos de avaliação de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos

À época de elaboração do P.D.M.S.M., e atendendo ao RJREN vigente, a metodologia de delimitação das actuais áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos, considerou apenas as áreas de máxima infiltração associadas à litologia onde existam tipos de solos com elevada condutividade hidráulica (de acordo com C.M.S.M., 1993, pp. 35-36) (quadro 17).

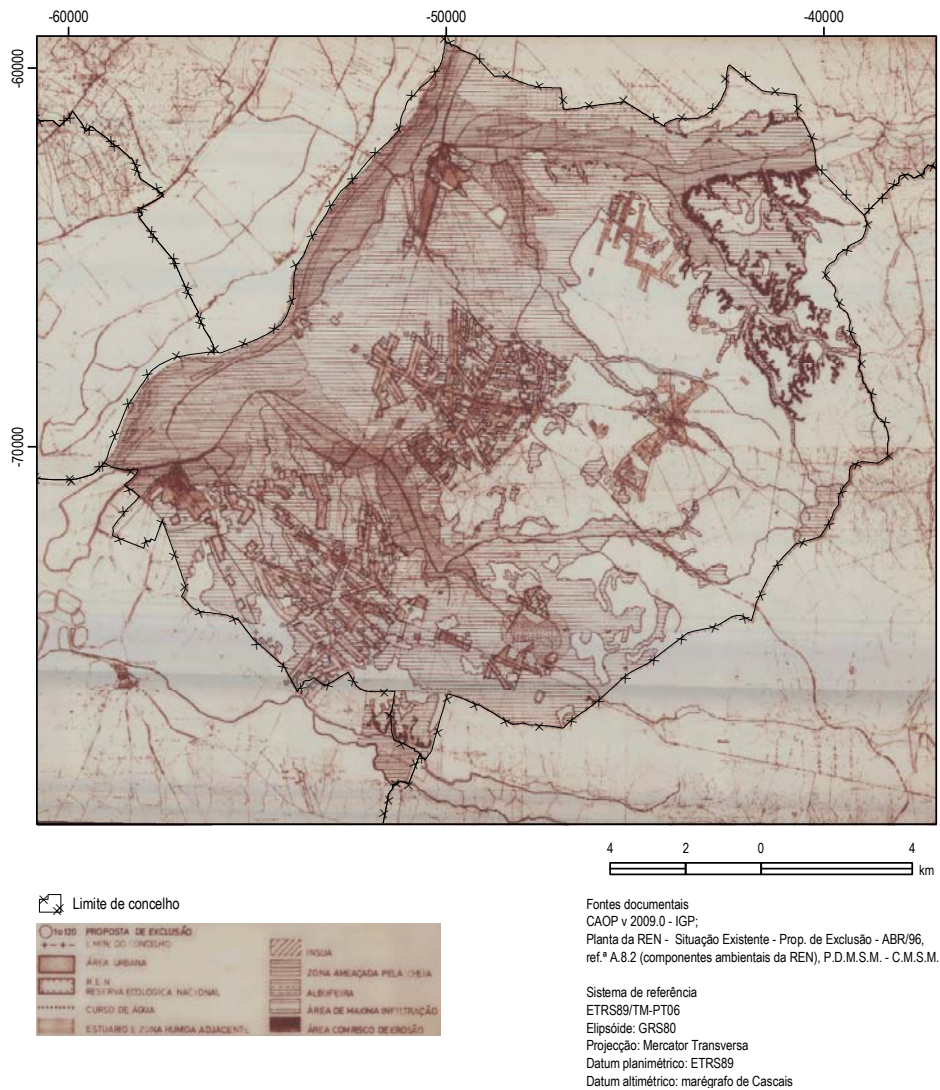
A figura 45 permite a visualização do sistema de REN áreas de máxima infiltração (traços na horizontal) consideradas no Plano Director Municipal de Salvaterra de Magos (P.D.M.S.M.).

**Quadro 17** – Critérios de delimitação de áreas de máxima infiltração na REN publicada da área de estudo (concelho de Salvaterra de Magos). (Ext. de C.M.S.M., 1993, pp. 35-36).

RJREN	Área integrada na REN	Critérios
DL n.º 93/1990, de 19/03	Áreas de máxima infiltração	Cartografia geológica: áreas de aluvião e areias de dunas e terraços, da cartografia geológica (1/50K), cujos solos possuam elevada capacidade de infiltração, de acordo com a cartografia pedológica (1/50K), cujos solos <sup>14</sup> seleccionados correspondem a: Rg (regossolos psamíticos não húmidos); Rgc (regossolos psamíticos húmicos cultivados); Al (aluviosolos modernos de textura ligeira); Alc (aluviosolos modernos de textura ligeira calcários); Atl (aluviosolos antigos de textura ligeira); Sbl (solos de baixas (coluviosolos)); Par (solos litólicos não húmicos de materiais arenáceos pouco consolidados); Vt (solos litólicos não húmicos de arenitos); Ap (podzóis não hidromórficos sem surraipa, de areias ou arenitos); Ppr (podzóis não hidromórficos com surraipa, de materiais arenáceos pouco consolidados); Asl (solos salinos de salinidade moderada de aluviões de textura ligeira); Aslc (solos salinos de salinidade moderada de aluviões de textura ligeira, calcários); Cal (solos hidromórficos de aluviões, de textura ligeira).

CANGUEIRO (1991, pp. 16-18) refere que deverão ser tidos em conta critérios geológicos, pedológicos, geomorfológicos e de uso e ocupação do território (conjugação essa que deverá beneficiar a situação que potencia a retenção e permeabilidade).

<sup>14</sup> O solo Sp (solos turfosos sobre materiais arenosos) foi referenciado por lapso na metodologia de delimitação das áreas de máxima infiltração presente no Volume II do Plano Director Municipal de Salvaterra de Magos, porque não existem na área de estudo (concelho de Salvaterra de Magos).



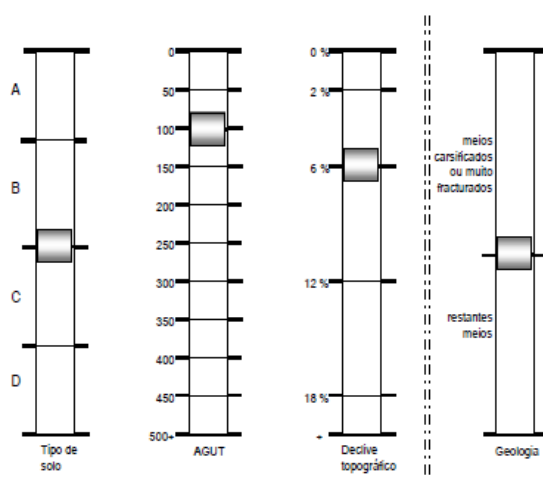
**Figura 45** – Planta da R.E.N.- Situação existente – Proposta de exclusão, Abril de 1996 (ref.ª A.8.2, possui várias componentes ambientais da R.E.N.) do P.D.M.S.M.

LOBO FERREIRA *et al.*, 1999 e OLIVEIRA e LOBO FERREIRA, (2001), citado em OLIVEIRA e LOBO FERREIRA (2002), no contexto da elaboração dos Planos de Bacias Hidrográficas do Tejo e Ribeiras do Oeste, onde o mesmo núcleo de investigação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (L.N.E.C.) apresentou nova metodologia, após desenvolvimento em contexto de diversos projectos (Proc. 607/11/14806; Proc. 607/18/12159; Proc. 607/19/10665 e Proc. 607/11/14252), muito embora não centrados na temática das áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos (à época, áreas de máxima infiltração), mas sim na vulnerabilidade aquífera à contaminação, através do método do índice DRASTIC (que corresponde ao somatório ponderado de 7 valores correspondentes aos seguintes 7 parâmetros ou indicadores hidrogeológicos (cf. ALLER *et al.* (1987), citado em OLIVEIRA *et al.* (1997): 1 - Profundidade do Topo do Aquífero (*Depth to Water*); 2 - Recarga do Aquífero (*Net Recharge*); 3 - Material do Aquífero (*Aquifer Media*); 4 - Tipo de Solo (*Soil Media*); 5 -

Topografia (*Topography*); 6 - Influência da Zona Vadosa (*Impact of the Vadose Zone Media*); 7 - Condutividade Hidráulica do Aquífero (*Hydraulic Conductivity of the Aquifer*)).

Todavia, existem várias metodologias para localizar, distinguir e avaliar a importância relativa da vulnerabilidade dos aquíferos. MATIAS (2010, pp. 14-22) efectua a caracterização de um conjunto suficientemente vasto de metodologias e que aqui se enumera simplesmente por não serem aplicados: para além da já referenciada DRASTIC (ALLER, *et al.*, 1987; LOBO FERREIRA *et al.*, 1997, p. 173 e seguintes; LOBO FERREIRA, 1998; OLIVEIRA e LOBO FERREIRA, 1998; PARALTA *et al.* 2001); GOD (FOSTER e HIRATA, 1991; FOSTER *et al.*, 2002); AVI (VAN STEMPVOORT *et al.*, 1992); SI (FRANCÉS *et al.*, 2001); EPPNA (PARALTA, *et al.*, 2005); SINTACS (CIVITA *et al.*, 1990); EPIK, (DOERFLIGER e ZWAHLEN, 1997), adaptado a aquíferos cársicos; Ekv (AUGE, 1995); e o GALDIT (CHACHADI *et al.*, 2001). Sobre a comparação entres estes métodos a estudos de caso veja-se LEITÃO *et al.*, 2003; LOBO FERREIRA *et al.*, 2004, e LOBO FERREIRA, 1998).

A metodologia apresentada por OLIVEIRA e LOBO FERREIRA (2002) baseia-se na informação cartográfica existente sobre solos, uso do solo, topografia e geologia/hidrogeologia, e derivação de valores de parâmetros que condicionam o processo de infiltração: o tipo de solo, a quantidade máxima de água utilizável para a evapotranspiração e o declive da superfície topográfica. Considera-se ainda um factor geológico, relacionado com a fracturação ou a carsificação. O processo é iterativo. Nas situações em que o parâmetro geológico se refere aos restantes meios (classe B) então verifica-se se os restantes três parâmetros assumem valores acima dos limites. Os autores aplicaram os limiares: 1) meios carsificados ou muito fracturados; ou 2) tipos de solo da classe A ou B e AGUT até 100 mm e declive da superfície topográfica até 6% (fig. 46). Também propuseram um índice de facilidade de infiltração com base em pontuações para os mesmos parâmetros, cuja cartografia final deriva da soma por sobreposição dos temas cartográficos. Mais uma vez, o parâmetro geológico é apenas considerado no caso de ser classe A (carsificado ou fracturado).



**Figura 46** – Determinação de limiares para considerar áreas de máxima infiltração no contexto dos Planos de Bacias Hidrográficas estudados (Ext. de OLIVEIRA e LOBO FERREIRA, 2002, p. 8).

BRITO *et al.* (2004, 2006), apresenta metodologia (com atribuição de pesos, de 0 a 1, em função da importância relativa) para avaliar separadamente áreas de máxima infiltração e vulnerabilidade aquífera, baseada em duas etapas, aplicada ao concelho do Seixal. Em primeiro lugar, classifica parâmetros hidrogeológicos (4 a saber: geologia para a permeabilidade do substrato; tipo de solo para avaliar a permeabilidade de sedimentos não consolidados; declive para identificar áreas de drenagem superficial e cursos de água para identificar áreas de cheia) por grau de infiltração para serem associados e gerar um mapa das áreas mais favoráveis à recarga de aquíferos, em segundo lugar, o mapa de infiltração potencial previamente obtido é sobreposto, por intersecção, ao tema da profundidade do nível hidrostático da água (mapa previamente elaborado que funciona como indicador da vulnerabilidade do aquífero, cuja modelação e cartografia deriva de estimação geoestatística por *kriging*, tendo por base medições de 273 captações de abastecimento, em anos diferentes). A cartografia final das áreas de protecção prioritária resulta da combinação das duas avaliações previamente elaboradas: mapa de áreas de máxima infiltração (subtraído de áreas impermeáveis) e mapa do indicador de vulnerabilidade aquífera. De acordo com BRITO *et al.* (2004) o mapa final sintetiza as áreas com condições mais favoráveis para a recarga de sistemas aquíferos e fornece informação importante e estratégica sobre a localização de áreas de protecção prioritária de susceptibilidade à contaminação potencial de aquíferos em áreas de máxima infiltração.

JULIÃO *et al.* (2009, p. 74), apresenta metodologia através da Ficha de Susceptibilidade de Degradação e Contaminação de Aquíferos que também se relaciona com a temática, referindo que devem ser utilizados os seguintes factores ou ocorrências para a construção da respectiva cartografia de susceptibilidade: localização dos sistemas aquíferos, litologia da zona vadosa, estrutura geológica, tipo hidrológico do solo e declive (salvaguardando o facto de algumas áreas de declive elevado funcionarem como áreas fundamentais de recarga de aquíferos não freáticos). Também refere que «A susceptibilidade à contaminação de aquíferos poderá ser definida através de modelos hidráulicos de circulação subterrânea ou de métodos heurísticos de tipo multicritério que integrem os factores condicionantes devidamente ponderados.» (ibidem, 2009, p. 75).

De acordo com o RJREN, os critérios de delimitação da componente ambiental áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos constam no n.º 2/d/Secção II/Anexo I, a que se refere o art.º 5.º do DL .º 166/2008, de 22/08: «A delimitação das áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos deve considerar o funcionamento hidráulico do aquífero, nomeadamente no que se refere aos mecanismos de recarga e descarga e ao sentido do fluxo subterrâneo e eventuais conexões hidráulicas, a vulnerabilidade à poluição e as pressões existentes resultantes de actividades e ou instalações, e os seus principais usos, em especial a produção de água para consumo humano.». Conforme já salientado, a expressão áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos engloba tanto as áreas de infiltração máxima como as cabeceiras das linhas de água previstas, vide anexo IV a que se refere o art.º 43.º do DL n.º 166/2006, de 06/09. Todavia, à data de conclusão desta dissertação ainda não está publicada a regulamentação do RJREN referente à delimitação do nível estratégico a que o art.º 5.º faz referência.

RIBEIRO e MENDES, 2010, apresentam definições e critérios de delimitação para a tipologia de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos integradas em REN, onde referem metodologias para avaliar a recarga e a vulnerabilidade, e analisam criticamente a evolução do RJREN.

De acordo com informação do portal electrónico da Comissão Nacional da Reserva Ecológica Nacional - CNREN ([http://cnren.dgotdu.pt/cnren/Paginas/cnren\\_orientacoesestrategicas.aspx](http://cnren.dgotdu.pt/cnren/Paginas/cnren_orientacoesestrategicas.aspx)) «As orientações estratégicas compreendem directrizes e critérios para a delimitação das áreas da REN a nível municipal. São acompanhadas de um esquema nacional de referência que inclui a identificação gráfica das principais componentes de protecção dos sistemas e processos biofísicos, dos valores a salvaguardar e dos riscos a prevenir.»

O documento de apoio à delimitação da REN elaborado pela C.C.D.R.L.V.T. (2010, pp. 32-34) refere nas explicitações de critérios que deverão ser considerados: sistemas aquíferos inventariados pelo INAG, derivados de estudos técnico-científicos validados, produtivos e economicamente exploráveis ou «outros sistemas que não sendo economicamente exploráveis o possam vir a ser, havendo possibilidade de recuperação, desde que sejam importantes para a prevenção e redução de situações de cheias e inundação e de seca extrema, bem como para a sustentabilidade de sistemas aquáticos e da biodiversidade dependentes da água subterrânea.». Por outro lado, faz referência à importância da pesquisa bibliográfica, características das formações geológicas, características dos sistemas aquíferos, características dos solos, declive do terreno e salienta que a ocupação do solo não deve ser considerada devido à sua mutabilidade no tempo.

O documento apresentado pelo STCNREN (2010) manifesta a preocupação em estabelecer um quadro comum de referência nacional e que aqui se reproduz: «A delimitação desta tipologia de área é complexa existindo várias metodologias aplicáveis. Importa definir com precisão o que se entende por áreas estratégicas, conhecer a localização dos aquíferos e identificar as respectivas áreas de protecção e recarga e, na impossibilidade de indicar um único critério ou metodologia, haverá que conformar a elaboração dos estudos base da delimitação. Estes sistemas ocorrem independentemente dos limites administrativos, o que aconselha a realização de estudos com incidência supra municipal. Deverá ponderar-se qual o nível de incidência mais adequado e a articulação com o nível municipal. Outras questões se colocam ainda na delimitação destas áreas, destacando-se, pela sua pertinência, onde e como obter dados comparáveis para todo o território continental; que metodologias adoptar; como considerar cada factor e, como conjugar os vários factores.»

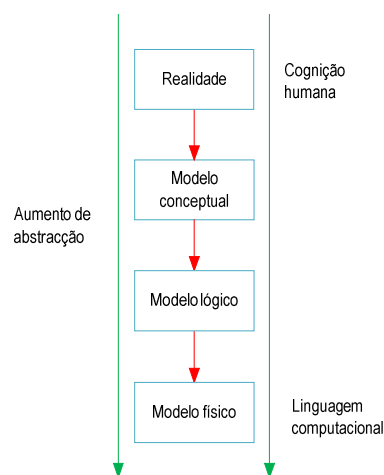


# CAPÍTULO III – Metodologia, técnicas e cartografia

## 1 Modelo metodológico

De acordo com LONGLEY, *et al.* (2001, pp. 184, 185, 233, 234, 236), um modelo de dados corresponde a um conjunto organizado de partes para descrever e representar aspectos seleccionados do mundo real num computador. Na elaboração desta dissertação adoptou-se uma abordagem que tem em consideração quatro níveis de abstracção (níveis de generalização ou simplificação) (fig. 47).

Primeiramente, os fenómenos geográficos de diversas valências fazem parte do mundo real que podem ser relevantes ou não para a aplicação em causa; em segundo lugar, o modelo conceptual é um modelo adequado para o conhecimento humano, onde são seleccionados objectos e processos considerados relevantes para determinado problema; terceiro, o modelo lógico corresponde a uma representação da realidade orientada à implementação, normalmente expresso sob a forma de diagramas ou listas; por último, o modelo físico define o esquema da base de dados e representa a aplicação num SIG, e pode incluir tabelas armazenadas como ficheiros ou bases de dados.



**Figura 47** – Níveis de abstracção relevantes para um modelo de dados em SIG.  
(Adaptado de LONGLEY *et al.*, 2001, p. 184).

Assim, identificada a realidade descrita e explicada no capítulo 1, importa definir um modelo conceptual, lógico e físico. Transportando para a recarga de aquíferos o modelo metodológico supra exposto, a fig. 48, representa as cinco fases de elaboração de um mapa de susceptibilidade.

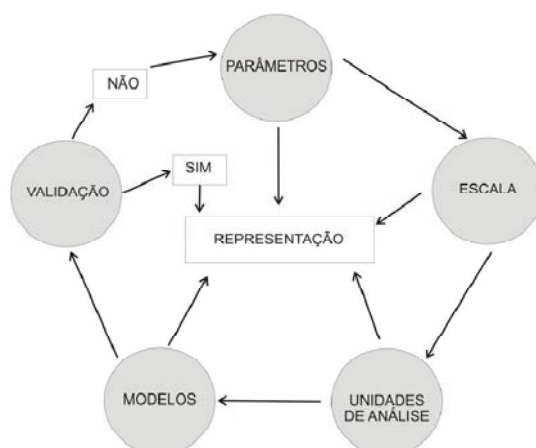


Figura 48 – Etapas de elaboração de um mapa de susceptibilidade. (Ext. de GARCIA *et al.*, 2007, p. 266).

## 2 Enquadramento cartográfico

A recolha de dados de natureza cartográfica envolveu diversos tipos de cartografia topográfica e temática., cujo âmbito se encontra identificado no quadro 18 e ilustrado na figura 49.

Quadro 18 – Cartografia utilizada.

Designação da cartografia	Entidade produtora	Publicação na escala	Sist. de Referência (Hayford-Gauss)	Folha	Ano de Edição ou Voo	Resolução espacial	Exactidão <sup>15</sup> posicional/temática
Carta Militar de Portugal (Série M888)	Instituto Geográfico do Exército (IGeoE)	1/25K	Datum Lisboa	364, 365, 377, 378, 391, 392	2005 (4.ª ed.), 2004 (3.ª ed.), 2007 (4.ª ed.), 2007 (3.ª ed.), 2007 (4.ª ed.), 2007 (3.ª ed.)	2,5 m	≥ 12,5 m?
Carta Geológica de Portugal	I.N.E.T.I., I. P.	1/50K	Datum 73	364, 365 (31-A), 377, 378, 391, 392 (31-C)	2005 (2.ª ed.)	?	?
Carta dos Solos de Portugal	S.R.O.A.	1/50K	Datum Lisboa	31-A, 31-C	1977 (1.ª ed.), 1963 (1.ª ed.)	4 m	?
Ortofotocartografia da Série Nacional de Ortofotomapas <sup>16</sup>	Instituto Geográfico Português, I.P./ Comunidade Intermunicipal da Lezíria do Tejo (CIMLT)	1/10K	Datum 73	14002200, 14002250, 14002300, 14502200, 14502250, 14502300, 14502350, 14502400, 15002200, 15002250, 15002300, 15002350, 15002400, 15502200, 15502250, 15502300, 15502350, 15502400, 16002250, 16002300, 16002350	2006	0,5 m	Planimetria Digital: EMQ ≤ 1,5 m

<sup>15</sup> De acordo com I.G.P., 2008, pp. 21, 27.

<sup>16</sup> Vide Despacho n.º 23915/2005, de 23/11 (listagem onde constam as referências da cartografia oficial). O presente conjunto refere-se a um período temporal mais actual cuja listagem ainda não foi aprovada pelo ministério da tutela (actual MAOTDR) e publicada pelo IGP em Diário da República.

Designação da cartografia	Entidade produtora	Publicação na escala	Sist. de Referência (Hayford-Gauss)	Folha	Ano de Edição ou Voo	Resolução espacial	Exactidão <sup>15</sup> posicional/temática
Modelo Numérico Topográfico da Série Cartográfica Nacional <sup>17</sup> (SCN10k)	Instituto Geográfico Português, I.P./ Comunidade Intermunicipal da Lezíria do Tejo (CIMLT)	1/10K	Datum 73	364-4, 365-3, 377-2	1999	-	Planimetria Digital: EMQ ≤ 1,5 m
				377-3	1997		
				377-4, 378-1, 378-2, 378-3, 378-4, 391-1, 391-2, 391-3	1999		
				391-4	1997-1999		
				392-1, 392-2, 392-3	1999		

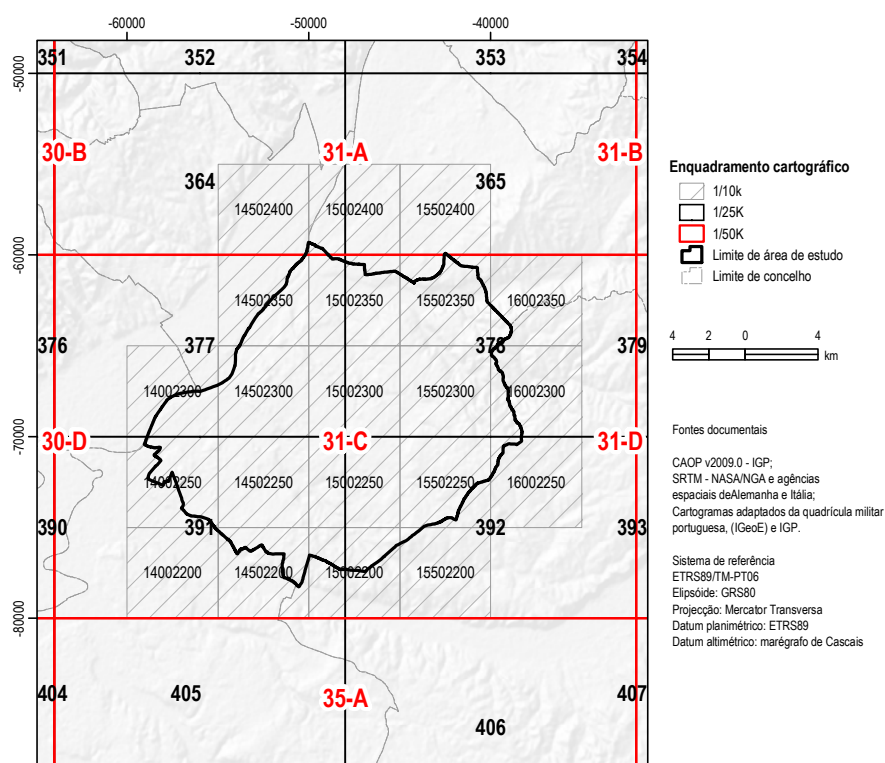


Figura 49 – Enquadramento cartográfico da área de estudo.

### 3 Recolha e tratamento dos dados

#### 3.1 Litologia e estrutura

A geometria da litologia foi a única, a par da geometria dos sistemas aquíferos que não foi preciso converter em estrutura vectorial uma vez que foi adquirida nesta estrutura de dados. A estrutura do substrato é

<sup>17</sup> Vide Despacho n.º 23915/2005, de 23/11 (listagem onde consta a cartografia oficial).

horizontal ou sub-horizontal, o que permite uma maior simplificação do modelo de dados utilizado na dissertação, no que à variável subsolo diz respeito.

### 3.1.1 Parametrização da condutividade hidráulica em meios rochosos

#### 3.1.1.1 Valores de condutividade hidráulica padrão

As dimensões da condutividade hidráulica variam, isto é, se o gradiente hidráulico e densidade do fluxo tem base de massa, peso ou volume. É frequente utilizar-se o gradiente hidráulico numa base de peso e a densidade do fluxo numa base de volume, sendo as dimensões de  $K$  L/T. A condutividade hidráulica não descreve a capacidade dos solos disporem naturalmente de água internamente.

A condutividade hidráulica é uma das características que mais varia no espaço, tanto das rochas consolidadas como não consolidadas. A dificuldade em obter valores aplicados à área de estudo não inviabiliza a utilização de valores publicados na literatura especializada como no caso-vertente. Pensa-se que assim, se confere maior objectividade ao trabalho.

Os quadros 19 e 20 apresentam valores padrão de condutividade hidráulica do substrato (subsolo) e servem para salientar que os mesmos divergem, entre diferentes autores. Optou-se por adoptar os valores patentes no quadro 20, por melhor se ajustarem ao tipo de rocha existente.

**Quadro 19** - Valores de condutividade hidráulica de rochas (Adapt. de DUNNE e LEOPOLD (1978, p. 206), de acordo com o U. S. Geological Survey Water Supply Papers e outros relatórios).

Rocha	Condutividade Hidráulica			Notas dos factores condicionantes da permeabilidade mais comuns
	(m.dia <sup>-1</sup> )	(cm.h <sup>-1</sup> )	(cm.s <sup>-1</sup> )	
Argila	<0,01	< 0,04176	< 0,0000116	Poros muito pequenos
Silte	0,0001 - 1	0,000418 - 4,176	0,000000116 - 0,00116	Poros pequenos
Loess	0,0001 - 0,5	0,000418 - 2,084	0,000000116 - 0,000579	Depende da textura e quantidade de cimento
Areia Fina	0,01 - 10	0,04176 - 40,320	0,0000116 - 0,0112	Depende da textura (dimensão dos poros)
Areia Média a Grosseira	10 - 3000	40,320 - 12499	0,0112 - 3,472	Depende da textura
Areia de Duna	2 - 20 (média de 8 - 10)	8,316 - 83,520 (média de 33,336 - 41,760)	0,00231 - 0,0232 (média de 0,00926 - 0,0116)	Depende da textura
Balastro	1000 - 10000	4165 - 41666	1,157 - 11,574	Poros grandes
Areia e Balastro	0,3 - 10	1,249 - 40,320	0,000347 - 0,0112	Mal calibrados; grãos finos tapam os poros grandes do balastro
Depósitos de Aluvião Glaciários	> 1	> 4,176	> 0,00116	Frequentemente mal calibrados. Acima de 10 m/dia se muito grosseiros e bem calibrados
Till Glaciário	0,001 - 10	0,00418 - 40,320	0,00000116 - 0,0112	Depende se são terreno de till denso e silteoso ou till de areias de ablação
Arenitos e Conglomerados	0,3 - 3	1,249 - 12,492	0,000347 - 0,00347	Dimensão dos poros intergranulares, grau de cimentação e de união/ligamento
Calcário Cristalino fracturado	0,00003 - 0,1	0,000126 - 0,418	0,000000035 - 0,000116	Muito poucos poros; calcários unidos/ligados, porém, podem ter permeabilidade muito grande e variável.
Gabro	> 0,0003	> 0,00125	> 0,000000347	Poucos poros; permeabilidade depende do grau de união/ligamento
Granito e	0,0003 -	0,00125 - 0,125	0,000000347 -	Depende do grau de ligamento/união. Rochas graníticas intensamente

Rocha	Condutividade Hidráulica			Notas dos factores condicionantes da permeabilidade mais comuns
	(m.dia <sup>-1</sup> )	(cm.h <sup>-1</sup> )	(cm.s <sup>-1</sup> )	
Granodiorito	0,003		0,0000347	alteradas, porém, podem ter permeabilidades com limiares de 0.003 - 3 m/dia.
Tufos Vulcânicos	0,0003 - 3	0,00125 - 12,492	0,00000347 - 0,00347	Depende da profundidade da formação e da compacidade.
Lavas	0,0003 - 3	0,00125 - 12,492	0,00000347 - 0,00347	Depende largamente do grau de fracturação, mas superfícies alteradas podem ser altamente permeáveis

Nota: apesar de não informar se K é saturada ou não saturada; todavia, atendendo à magnitude dos valores em questão, entende-se que se referem à condutividade hidráulica saturada; ademais permitem a diferenciação litológica.

**Quadro 20** - Valores de condutividade hidráulica para vários tipos de subsolo (Ext. de RAMOS, 2009, p. 41, de acordo com Gregory e Walling (1973)).

Tipo de subsolo		Condutividade hidráulica (m/dia)	Condutividade hidráulica (cm/h)	Classe de permeabilidade
Formações geológicas não consolidadas	cascalho	$10^2 - 10^6$	41666,67	elevada
	areia	$10 - 10^4$	1317,62	elevada
	silte	$10^{-3} - 10$	0,42	variável a reduzida
	argila	$10^{-6} - 10^{-4}$	0,0000417	reduzida
Rochas	arenito	$10^{-2} - 10^2$	4,17	variável
	calcário	$10^{-2} - 10$	1,32	variável
	conglomerado	$10^{-4} - 1$	0,042	variável
	argilito	$10^{-7} - 10$	0,0042	reduzida
	basalto alterado	$10^{-5} - 10^{-2}$	0,0013	reduzida
	tufos	$10^{-6} - 10^{-2}$	0,00042	reduzida
	granito e afins	$10^{-7} - 10^{-3}$	0,000042	reduzida
	xisto e grauvaque	$10^{-9} - 10^{-5}$	0,00000042	muito reduzida
	ardósia	$10^{-9} - 10^{-6}$	0,00000013	muito reduzida
gnaisse, micaxisto	$10^{-9} - 10^{-6}$	0,00000013	muito reduzida	

O agrupamento da litoestratigrafia fez-se pelas características da litologia e o agrupamento da mesma sob o ponto de vista hidrológico fez-se de acordo com os valores de K, com o auxílio da média geométrica<sup>18</sup>.

Salienta-se, em especial, a formação aluviões por possuir valores de condutividade hidráulica variável (tanto numa perspectiva lateral como longitudinal (considerando a paisagem na horizontal e vertical)) atendendo à fácies da mesma e ligação hidráulica com o aquífero.

A divisão em classes do quadro 21 foi obtida considerando a especificidade morfossedimentar da área de estudo (morfologia e sedimentos) conjugada com análise de sensibilidade (análise comparativa da rocha em questão) e auxiliada pelo método gráfico (agrupamento baseado em descontinuidades de ruptura e proximidade) (DIAS, 2007, p. 126).

<sup>18</sup> O valor médio da condutividade hidráulica foi determinado pela média geométrica considerando que a série de valores trata sobre um fenómeno cujas variações referem-se a valores sempre positivos e proporcionais a um valor de carga hidráulica, variável no espaço. De acordo com S.S.D.S. (1993), as médias logarítmicas (média geométrica) devem ser utilizadas em vez das médias aritméticas porque a condutividade hidráulica é uma propriedade logarítmica normal distribuída. O logaritmo inverso da média dos logaritmos dos valores individuais de condutividade hidráulica é o logaritmo da média ou média geométrica, e deve ser usada para classificar determinado solo na classe de condutividade hidráulica apropriada. As médias de logaritmo são inferiores às médias aritméticas.

**Quadro 21** – Classes de valores médios de condutividade hidráulica do subsolo.

Código	Formação	Litologia	Condutividade Hidráulica	
			Média Geométrica (K (cm,h <sup>-1</sup> ))	Classe
3	Q <sub>i</sub>	Areias, fenoclastos	7409,50	Elevada
2	Q <sub>i'</sub>	Fenoclastos	41666,67	Variável
	Q <sub>f</sub>	Areias, silte, argilas, fenoclastos	5,56	
	aluv	Areia, silte, argila	0,28	
	P <sub>SA</sub>	Arenito, conglomerado	0,42	
	P <sub>u</sub>	Areia, arenito	74,09	
1	MAT	Areias, arenitos, argilitos	2,84	Reduzida
		<b>Média aritmética</b>	7022,76	
		<b>Desvio-padrão</b>	15523,01	

## 3.2 Geomorfologia

### 3.2.1 Pré-processamento da morfometria e identificação morfológica

A investigação em Geografia Física pressupõe a representação fiel do relevo, pois é fundamental para a melhor simulação numérica dos fenómenos hidrogeográficos e geomorfológicos ou hidrogeomorfológicos. Para auxiliar a delimitação das cabeceiras de vale e cumeadas recorreu-se ao Modelo Digital de Terreno Hidrologicamente Consistente (MDTHC) previamente construído, utilizando-se o SIG *Arclnfo* onde se realizaram uma série de procedimentos para a sua elaboração. Partindo do mapa topográfico, gerou-se um TIN, posteriormente convertido em imagem matricial/raster, formato grid da E.S.R.I (MDT bruto). A resolução espacial foi condicionada pelas características do mapa de base, obtendo-se células com 100 m<sup>2</sup> ou 10 m de lado, em linha com o definido em MONTGOMERY e ZHANG (1994) e I.G.P. (2008), pp. 17-20. Ou seja o modelo numérico altimétrico (MNA<sup>19</sup>) derivou de um modelo de triângulos, posteriormente convertido em modelo matricial, gerado a partir dos elementos tridimensionais (3D) dos domínios da rede geodésica 3D (os sinais geodésicos utilizados são marcos geodésicos<sup>20</sup>), altimetria 3D (para além de pontos cotados<sup>21</sup> e curvas de nível (secundárias e mestras de cota de múltiplos de 25 m, com equidistância vertical de 5 m), incluem-se elementos lineares topográficos de quebra/ruptura de terreno<sup>22</sup> conhecidos como *breakline*, nomeadamente: limites superior e inferior de escarpados, aterros/desaterros e socalcos) e hidrografia 3D (nomeadamente os elementos: linha de água, rio navegável ou fluviável, rio não navegável nem fluviável, ribeira, lagos, albufeira e linha de regolfo) constantes do Catálogo de Objectos (Anexo F) inserto em I.G.P. (2008). Os dados de base foram pré-

<sup>19</sup> De acordo com I.G.P. (2008), corresponde a: «... informação do relevo, materializada pela rede topológica de triângulos no formato de rede irregular de triângulos, vulgo TIN, pelo formato matricial ou em grelha em modo ASCII, de acordo com as características indicadas nestas normas técnicas e seus anexos.»

<sup>20</sup> De acordo com I.G.P. (2008), as cotas são referidas à base ou ao terreno.

<sup>21</sup> De acordo com I.G.P., (2008) a colocação dos pontos cotados tem em consideração ... «: 1 - As cotas dos pontos cotados são apresentadas ao meio metro, sendo a sua posição verdadeira dada pelo ponto decimal do número correspondente à cota. 2 - Os pontos cotados, excepto os referentes a terreno encoberto por vegetação ou outro tipo de obstrução., são determinados nas posições seguintes: - Locais destacados como cumes, depressões e portelas; - Zonas de variação de inclinação significativa da linha central de estradas, geralmente em intervalos de 200 metros; - Zonas planas, onde a distância horizontal entre curvas de nível exceda, em regra, 500 metros; - Ao longo da plataforma das estradas em aterro, nos tabuleiros das pontes, e situações semelhantes, espaçados de 80 metros; - No topo e na base de muros de suporte, socalcos, barragens, etc.»

<sup>22</sup> De acordo com I.G.P. (2008), «A recolha de outros elementos definidores do relevo, designadamente, escarpados, taludes e socalcos, é feita sempre que o desnível máximo que caracteriza esses objectos seja igual ou superior a um terço da equidistância das curvas de nível e o seu comprimento igual ou superior a 5 m.»

processados adicionalmente: foi necessário incorporar as curvas de nível da 1.<sup>a</sup> cobertura da cartografia 1/10k de 1999 na 2.<sup>a</sup> cobertura 1/10k de 2006 (uma vez que esta não apresentava isoípsas, à época, por ainda estar em validação). Esta situação implicou pré-processamento adicional, em ambiente S.I.G., por meio de funções de proximidade e sobreposição, afim de remover inconsistências derivadas de sobreposições, e que interferem na qualidade do Modelo Numérico Altimétrico, especialmente ao longo da faixa de território adjacente ao IC3 (100 m desde os dois eixos de circulação), e ao longo de linhas de quebra de terreno (10 m). As linhas de água da hidrografia utilizadas correspondem a uma actualização com base em levantamento de campo em 2009. De acordo com as normas de qualidade de conformidade posicional, insertas em I.G.P. (2008), os dados altimétricos representados pelo ficheiro matricial do MNA não pode apresentar um EMQ em altimetria superior a 1,80 m. Estima-se que o erro cartográfico deriva a partir de uma exactidão cartográfica de 0,2 mm. Multiplicando este valor pela escala do mapa tem-se a distância correspondente no terreno (LONGLEY *et al.*, 2001, p. 333), que é inevitavelmente o erro de posição que existe sempre, consequência da generalização e graficismo comum a qualquer representação cartográfica da realidade. Por exemplo, um mapa na escala 1/10K apresenta uma resolução de 0,2 mm na escala do mapa, o que corresponde a 2 m no terreno, o que está em conformidade com as normas de qualidade de saídas gráficas definidas pela Autoridade Nacional de Cartografia para escalas 1/10K, vide I.G.P. (2008, p. 28), onde se refere que as mesmas devem possuir uma precisão cartográfica medida pelo EMQ inferior a 2 m (elementos obtidos por processos fotogramétricos, processos topográficos e/ou por digitalização). O conhecimento da qualidade cartográfica é importante para efectuar juízos de valor sobre as representações numéricas da realidade; comparação de produtos cartográficos e construção de metadados.

Não obstante a análise geomorfológica ter sido efectuada sobre o MDE bruto, também foi utilizado um MDTHC (a melhoria do MDT foi efectuada para fins hidrológicos e geomorfológicos somente para a eventual individualização de cumeadas e cabeceiras de vale). Para a construção do MDTHC, em primeiro lugar, eliminaram-se sectores espúrios/falsos ou artificiais ou naturais sumidouros ou depressões, através do filtro *Fill*. Este comando permite dar a conhecer onde ocorre o sentido preferencial do escoamento superficial, que se dá, da maior para a menor elevação, pelo que aproxima o fenómeno modelado mais fielmente da realidade. Posteriormente, utilizou-se o algoritmo D8 (oito direcções de fluxo/escoamento; proposto por O' Callaghan e Mark, 1984, que permite calcular a direcção do escoamento superficial, *Flow Direction*, através de uma das 8 direcções possíveis, separadas por 45°, isto é, determina o vector de determinado octante, baseado no valor da cota topográfica. De seguida, executa-se o algoritmo *Flow Accumulation* que determina o número de células localizadas a montante que escoam para cada célula de jusante, com vista a produzir uma magnitude superior nas células a jusante, no modelo numérico, e que, no mundo real, correspondem a fundos de vale, de montante para jusante, ou seja, pontos de escoamento superficial preferencial, proporcionalmente à área contributiva. O valor para individualizar o talvegue foi a constante empírica de - 0,5 m subtraída à superfície do MDE Bruto. A metodologia seguida foi: através da cartografia vectorial de rede hidrográfica extraíram-se valores de altitude do MDE Bruto, converteu-se em pontos e executou-se um MDE com estes valores. O resultado é um MDE mais

fiável em fundos de vale com declive baixo (geralmente inferior a 2%). Assim, de forma sumária, são caracterizadas as formas de relevo cumeada, talvegue e cabeceira de vale uma vez que constituem geomorfismos característicos das bacias hidrográficas e que interceptam a precipitação que por sua vez infiltra e eventualmente percola com maior ou menor facilidade. A divisória topográfica ou cumeada/festo/linha de displúvio ocorre sobre um terço, o declive não é um critério determinante. Por outro lado, uma vertente pode ser simples ou compósita, onde pode ocorrer convergência ou divergência, na perspectiva paralela às curvas de nível, e convexidade ou concavidade, na perspectiva transversal às curvas de nível. Apesar de não constarem como dados morfográficos, na portela/colo o perfil transversal é côncavo na direcção da cumeada, e convexo na direcção da vertente, o declive não é critério determinante e a rugosidade pode ser moderada ou alta. A colina apresenta curvatura convexa em todas as direcções, a rugosidade é moderada ou alta e o declive não é um critério determinante. Na depressão a curvatura é convexa em todas as direcções, a rugosidade é moderada ou alta e o declive não é um critério determinante. As cumeadas foram identificadas de forma automática através do MDE invertido, sobre o qual se executou o algoritmo acumulação de escoamento, com validação visual sobre o ecrã das cumeadas que separam as bacias-vertente mais importantes. No talvegue, o declive não é um critério determinante, a forma geral é côncava na direcção das vertentes e a rugosidade pode ser moderada ou alta. A identificação e delimitação da forma de relevo cabeceira de vale (também conhecida por nascente) é muito importante do ponto de vista geomorfológico e hidrológico, pois são locais preferenciais para a ocorrência de actividade geomorfológica (movimentos de massa) e hidrológica (recepção de água, infiltração, percolação), ou seja, são sectores de concentração de sedimentos e água.

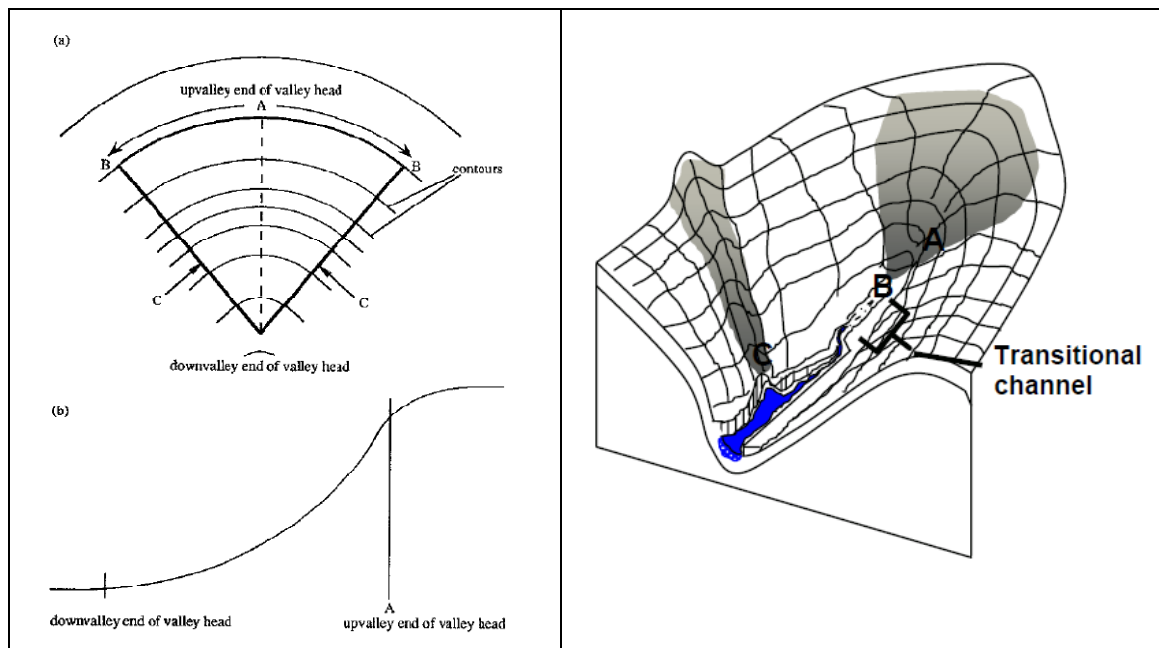
De acordo com TRIBE (1992a), as cabeceiras de vale correspondem a sectores côncavos (superfície curva reentrante ou escavada) e que podem ser delimitados tendo por critérios geomorfológicos e hidrológicos:

A) posicionam-se onde existe uma mudança na forma do perfil da vertente (perfil de curvatura) de côncavo para convexo;

B) posicionam-se onde o plano de curvatura muda de área côncava/convergente, para rectilínea ou convexa/divergente;

C) constituem linhas normais às curvas de nível (fig. 50).

A morfografia da fig. 51 exemplifica a ligação entre a forma tipo de cabeceiras de canal ou origem de cursos de água e as cabeceiras de vale na paisagem (EPA, 2006, p. 40). As características do vale (declive, litologia e uso do território determinam a evolução das cabeceiras de vale e logo a sua localização (EPA, 2006, p. 40, de acordo com Dietrich and Dunne, 1993, Montgomery, 1999). A cabeceira de canal é um relevo particularmente sensível em paisagens áridas e semi-áridas onde a erosão hídrica por ravinamento gerado por cabeceiras de canal é um sério problema socioeconómico e ambiental (EPA, 2006, p. 41, de acordo com Bull and Kirkby, 2002).



**Figura 50** – Cabeceira de vale tipo cartografada por sete geomorfólogos e hidrólogos. A a C são explicados no texto. (a) Esboço característico em planta. (b) Secção ao longo da cabeceira de vale ao longo da linha pontuada em (a). (Ext. de TRIBE, 1992a, p. 449).

**Figura 51** – Posição da cabeceira de vale relativamente ao canal fluvial. Identificação de cabeceira de vale (A), cabeceira de canal fluvial gradual (B) e cabeceira de canal fluvial abrupto (C). Áreas a cinzento indicam bacias de drenagem de ordem zero que drenam para dentro das cabeceiras dos canais fluviais. (Ext. de EPA, 2006, p. 40, de modificado de Dietrich e Dunne, 1993).

Por outras palavras, a cabeceira de vale localiza-se ao longo do perfil longitudinal, de determinado curso de água, onde a área de convergência e concavidade terrestre é superior. Simulou-se a extracção de vales a partir do MDE, porém, o resultado não foi satisfatório, face a erros de comissão e omissão (através da aplicação de princípios de delineação automática de vales, expostos por O' Callaghan e Mark, 1984 e Jensen e Domingue, 1988) citados em TRIBE (1991, 1992a,b) para se obter um MDE hidrológicamente consistente). Não obstante o enunciado, após determinação de direcções de escoamento e derivação de limiares de escoamento acumulado, o limiar de  $\geq 500$  (n.º de células que contribuem para a definição de um vale) permitiu a apresentação de parte dos vales existentes, e o final dos vales aparentou estar localizado na cabeceira de vale, tendo como base de validação um mapa de isoipsas da área de estudo.

Assim, optou-se por construir uma base de dados com vista a extrair as sub-redes de hierarquia 1 de STRAHLER. A rotina adoptada no pré-processamento das linhas de água é de REIS (2006, p. 192 e seguintes). A localização e delimitação dos geossistemas cabeceiras de vale deverá ter em conta a sua dimensão e posição na rede hidrográfica, nomeadamente, curvatura, declividade, proximidade à cumeada, densidade de drenagem (da rede de hierarquia fluvial 1 de STRAHLER) e ocupação e uso do território, indo ao encontro das noções apresentadas por CANGUEIRO (1990) e TRIBE (1991, 1992a,b). Para o efeito, extraíram-se do mapa geomorfológico os geomorfismos: talwegues e cumeadas. O método para localização da cabeceira de vale baseia-se nos princípios de TRIBE (1991, 1992a,b), adoptando com adaptações a metodologia que posiciona

esta geoforma no final dos vales e expandindo-a aos locais cujas células recebem água das células vizinhas, caso a água escoasse à superfície. Assim, utilizam-se os critérios apresentados em TRIBE (1992a) A, B, C e CANGUEIRO (1991). Além disso, tem-se em consideração o MDE para auxiliar a delimitação (pontos cotados culminantes), nomeadamente, o final dos vales (segmentos fluviais de 1.<sup>a</sup> ordem de acordo com STRAHLER), o declive (geralmente,  $\geq 10\%$ ), para separar fundos de vale de cabeceiras de vale, perfis e planos de curvatura côncavos e convergentes, respectivamente, e densidade de drenagem<sup>23</sup> ( $> 4 \text{ km.km}^{-2}$ ).

CANGUEIRO (1991, pp. 13-16) considera que, quando a densidade de drenagem é relativamente elevada ao nível da rede primária (na classificação de STRAHLER) e desde que exista proximidade dos sectores de cabeceira de vale delimitados, estes poderão ser unidos desenvolvendo-se ao longo da cumeada.

Para determinar a densidade de drenagem (eq. 8), onde  $C_c$  é o comprimento total de cada curso de água (polilinha ou somatório da mesma numa célula, no computador, optou-se pela utilização de uma quadrícula quilométrica para análise por não decalcar a geometria da rede de drenagem, e transmitir a variabilidade espacial da densidade de drenagem, ao contrário de por exemplo uma quadrícula de 1 ha, o que permite uma percepção mais directa das condições de drenagem directamente relacionadas com a geomorfologia, nomeadamente, declividade (quanto maior o declive, menor a condutividade hidráulica), amplitude do relevo (quanto maior a amplitude do relevo maior a energia de posição, e menor a condutividade hidráulica do maciço (terroso e rochoso).

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n C_c}{A}$$

**Equação 8** – Densidade de drenagem.

Precedido da análise à densidade de drenagem, efectuou-se a análise dos talwegues em estrutura vectorial. Esta fase implicou correcção topológica, e posteriormente efectuou-se uma análise em termos de hierarquia fluvial (aplicando a classificação fluvial de STRAHLER). Para este procedimento recorreu-se à extensão hidrológica *RivEX+*.

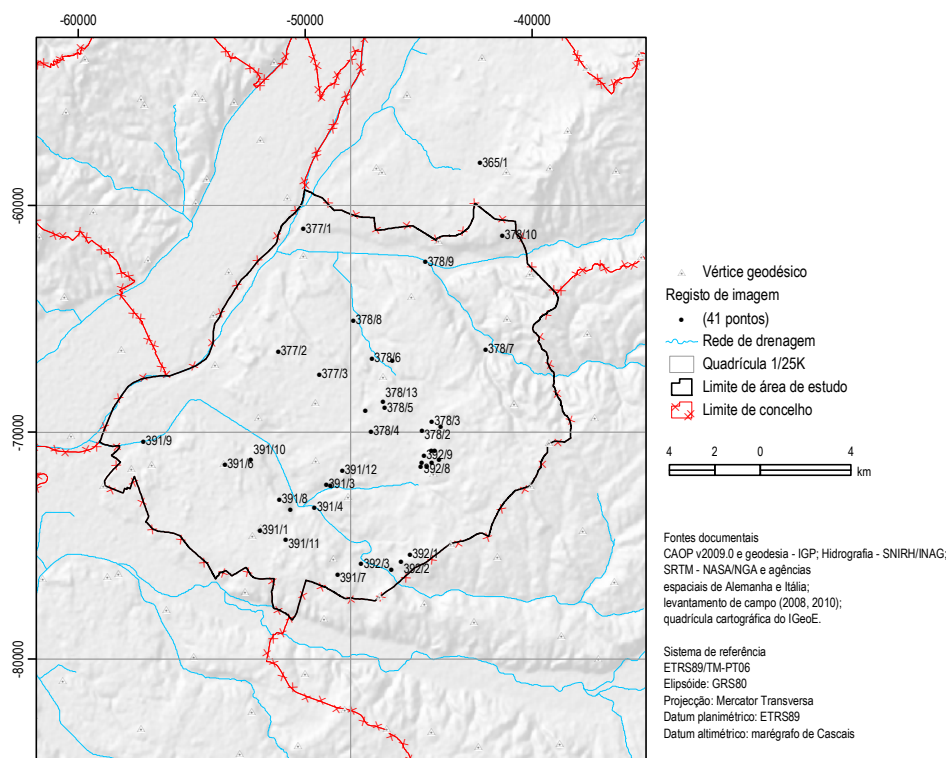
Por outro lado, seleccionaram-se as entidades geomorfológicas aluviões, com larga representação nas planícies aluviais dos principais cursos de água que drenam a área de estudo, por exibirem conexão hidráulica e condutividade hidráulica variável (conforme se poderá constatar). As cabeceiras de vale também são consideradas por constituírem áreas estratégicas de concentração, infiltração, percolação e eventual recarga, nas áreas planálticas da área de estudo.

Foram retirados vários registos de imagem para melhor percepção de diversas entidades geomorfológicas (fig. 52, anexo A.12).

---

<sup>23</sup> Também correlacionável com a densidade de drenagem, surge a variável amplitude do relevo, que proporciona valores empíricos da energia potencial disponível para o escoamento superficial e a sua transformação em energia cinética, que gera trabalho e consequentemente, a migração de água e sedimentos, erodindo o relevo e substrato, ou seja, favorecendo a morfogénese em detrimento da pedogénese. Assim, quanto maior a amplitude do relevo, maior a dissecação do relevo e maior a densidade de drenagem, dos pontos mais altos para os pontos mais baixos. A sua expressão cartográfica poderá derivar do mapa geomorfológico.

O mapa geomorfológico foi vectorizado a partir de MARTINS (1999; fig. VII-1; fig. III-24 e fig. V-1), com o auxílio da cartografia topográfica (1/10K (isoípsas e hidrografia), ortofotomapas, Carta Geológica (1/25K do I.N.E.T.I.), Carta de Solos (1/50K; somente os limites de alguns fundos de vale), BARBOSA (1995) e da legenda da Carta Geomorfológica de Portugal, escala 1/500K (FERREIRA, 1980).



**Figura 52** – Localização dos registos de imagem de diversas entidades geomorfológicas.

É feita uma aproximação aos elementos abordados em estudos da Geomorfologia, como sejam, análise da história e natureza da superfície terrestre, nomeadamente, materiais e processos que a originou e faz evoluir, elaborando cartografia geomorfológica. Idealmente a cartografia geomorfológica de pormenor permitirá reconstruir a evolução da paisagem, avaliar a natureza e magnitude dos processos actuais e prever a evolução futura. O mapa deverá produzir informação sobre a distribuição e correlação de formas de relevo de determinada forma, dimensão, origem e idade (KLIMASZEWSKI, 1988, p. 459). São presentes cinco tipos de dados: num primeiro grupo tem-se aspectos descritivos como elementos morfográficos (identificação das formas de relevo de ablação e de acumulação, com recurso a simbologia gráfica convencional, como por exemplo, rechãs, portelas, topos e bases de vertente, rebordos, informação estrutural com expressão morfológica ...) e elementos morfométricos (quantificação das formas de relevo, demonstrando altitudes). Num segundo grupo tem-se uma componente explicativa, através de elementos estruturais (litologia, disposição das rochas, acidentes tectónicos); elementos morfogenéticos (associação das formas de relevo identificadas ao sistema morfogenético, como por exemplo planície aluvial silto-argilosa, terraços fluviais, *glacis* de ablação, superfície de aplanamento areno-

conglomerática, isto é, tem-se em atenção a génese, os materiais e processos; e elementos morfocronológicos (idade relativa das formas de relevo) (KLIMASZEWSKI, 1962, p. 358), TRICART (1965, pp. 187-189) e COQUE (1977, p. 400). Também é tido em consideração ARCHAMBAULT *et al.* (1965).

O sistema de classificação das entidades geomorfológicas adoptado é do tipo misto (ideográfico e nomotético, conforme GUERRA e CUNHA (1994, p. 399), tendo-se sempre presente a posição, forma e origem (onde se atende à composição, processos geradores e modificadores).

Resumindo, o Modelo Digital de Terreno (MDT) foi elaborado com dados de entrada validados e correspondem a cotas topográficas, sinais geodésicos, isoípsas, linhas de quebra/ruptura de terreno e hidrografia. Nesta investigação a análise geomorfológica incide sobre a hipsografia, talwegues, rede de drenagem e declividade, na perspectiva geomorfológica e geomorfométrica, cuja obtenção daqueles aspectos deriva do MDT-TIN gerado a partir da cartografia topográfica oficial na escala de 1/10K. Num MDT, o algoritmo que executa estas derivadas é constituído por um filtro/submatriz de 3 x 3 células, na vizinhança da célula central, que percorre a matriz de altitudes. As primeiras derivadas (declive e exposição) foram directamente extraídas do (MDT) obtido pelo método de triangulação, cujo resultado é uma rede irregular triangulada - RIT (ou MDT – TIN) por ser mais rigoroso na representação do relevo (REIS, 1996, 2006; BURROUGH e MCDONNELL, 1998; GASPAR, 2004), uma vez que as faces dos triângulos adequam-se à densidade dos pontos variável, por oposição a uma malha quadriculada (MATOS, 2001). A análise estatística e espacial é efectuada directamente sobre matrizes de face quadriculada, isto é, em estrutura de dados matricial, por ser mais adequada a análise geográfica. O mapa de relevo sombreado que serve de fundo cartográfico a alguma cartografia elaborada, foi construído com informação de isoípsas e cotas auxiliares (EASTMAN, 2001). As formas de relevo cabeceira de vale, cumeada, talvegue foram interpretadas com auxílio do MDT.

### **3.3 Tipos de solos**

#### **3.3.1 Integração em sistema de informação geográfica**

Para a georreferenciação das folhas 31-A e 31-C na escala de 1/50K da Carta de Solos de Portugal, foram utilizados 88 pontos de controlo, que correspondem a vértices geodésicos, intersecções com rodovias e intersecções com a quadrícula da Carta Militar de Portugal. Impendem sobre a área de estudo 42 pontos de controlo. Na etapa de georreferenciação das respectivas folhas, para minimizar as distorções existentes, foram previamente recortadas em 4 fracções, de forma a abranger a área da respectiva folha da Carta Militar de Portugal na escala de 1/25K, com vista a nova georreferenciação com o menor erro médio quadrático (EMQ). O Erro Médio Quadrático<sup>24</sup> é uma quantidade estatística que mede a qualidade de observações através de uma

---

<sup>24</sup> Consultar, por exemplo, CASACA *et al.* (2005, pp. 356-358); I.G.P. (2008, p. 4) e LONGLEY *et al.* (2001, pp. 329-330).

magnitude e que, aplicada à presente georreferenciação é determinada, para o caso planimétrico, pela equação 9:

$$EMQ_{XY} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{res})^2 + (Y_{res})^2}{n}}$$

**Equação 9** – Erro médio quadrático.

onde  $n$  é o número de pontos da amostra,  $X$ ,  $Y_{res}$ , os resíduos ou erros das coordenadas planimétricas  $x$ ,  $y$ , para o ponto  $i$ , com base na diferença entre as coordenadas planimétricas extraídas da cartografia e previstas pelo modelo de transformação cartográfico.

Pretende-se, assim, cumprir padrões de qualidade cartográfica aceitáveis (quadro 22). Além disso, o conhecimento da qualidade cartográfica permitirá controlar de forma mais objectiva a cartografia temática elaborada.

**Quadro 22** - Fidelidade exigida para a representação planimétrica de pontos bem definidos, expressa através do EMQ, como quantificador do operador de exactidão que caracteriza a proximidade entre as estimativas que o estimador produz e o valor a estimar.

Escala do mapa	Erro limite do EMQ (m)
1:2000	0,5
1:4000	1,0
1:5000	1,25
1:10000	2,5
1:20000	5,0
1:25000	6,25
1:50000	12,5

Fonte dos dados: com base no padrão estabelecido pelo comité da American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (MERCHANT, 1987, citado em REIS, 1996, p. 96).

Efectivamente, para a georreferenciação das 2 folhas em questão, procedeu-se à individualização em 4 partes da folha 31-A e a 8 individualizações da folha 31-C, tendo como referência a quadrícula da Carta Militar de Portugal na escala de 1/25K.

Optou-se por esta forma por se entender que atenua o erro cartográfico elevado que a georreferenciação, à folha, produz.

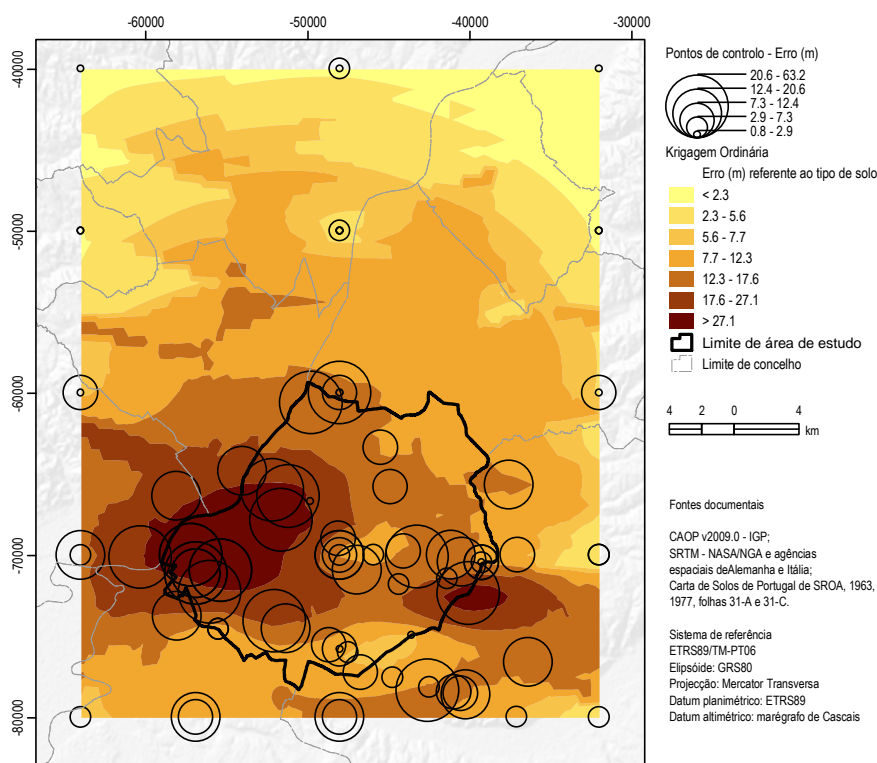
A exactidão da georreferenciação é medida pelo erro médio quadrático (EMQ); sendo que para a folha 31-A os estatísticos média e desvio-padrão do EMQ são 2 m e 1 m, respectivamente; para a folha 31-C os estatísticos média e desvio-padrão do EMQ são 18 m e 9 m (quadro 23).

Estes valores permitem afirmar que das duas porções de território coberto pela duas folhas o que está melhor representado corresponde à folha 31-A.

Globalmente, o valor do erro cartográfico corresponde a 12 m, o que na escala 1/50K corresponde a 0,24 mm (erro planimétrico) (quadro 23, fig. 53).

**Quadro 23** – Número de pontos de controlo, erro médio quadrático e erro máximo da georreferenciação das folhas 31-A e 31-C da Carta de Solos de Portugal na escala 1/50K.

Folha (50k)	Folha (25k)	N.º PC	EMQ	Erro máx.
31-A	352	4	2,9	2,9
	353	4	1,0	1,0
	364	4	2,3	2,3
	365	4	2,3	2,3
	377W	6	13,4	19,0
31-C	377E	10	34,9	60,8
	378W	6	7,7	12,3
	378E	4	10,8	15,8
	391W	9	24,3	36,3
	391E	12	21,6	47,7
	392W	21	19,3	63,2
	392E	6	8,7	17,5
Soma		90	149	281
Média		8	12	23
Desvio Padrão		5	10	22
Variância		23	104	482



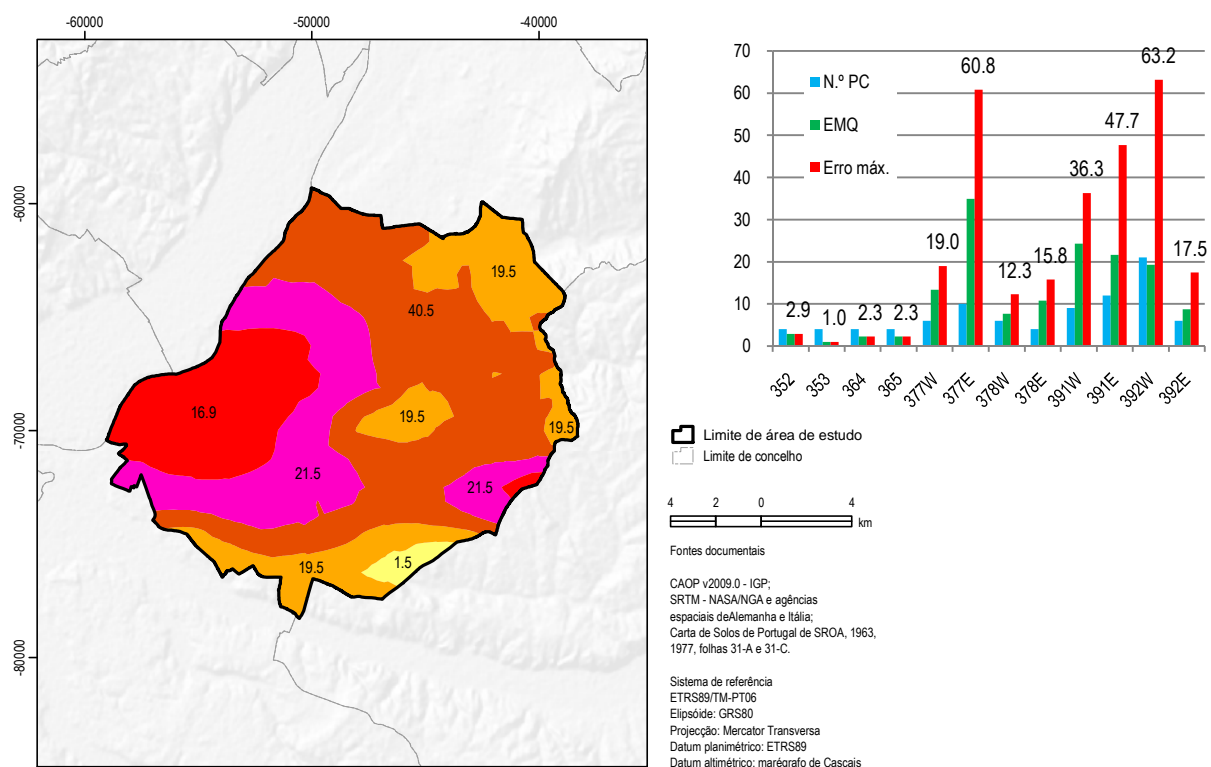
**Figura 53** - Distribuição geográfica dos erros de georreferenciação das folhas 31-A e 31-C da Carta de Solos de Portugal na escala 1/50K. Os símbolos graduados (círculos) representam os pontos de controlo utilizados na interpolação espacial. As manchas de cores representam as classes de erro.

Com base em informação em estrutura matricial (*krigagem ordinária, KO*), para a área de estudo, o valor de erro cartográfico do EMQ é de 23 m (0,46 mm de erro planimétrico à escala de 1/50K) e desvio padrão de 10 m, o que não contraria o princípio básico de que as posições medidas sobre o mapa são exactas até aproximadamente 0,5 mm no mapa (erro planimétrico), isto é, 25 m de erro gráfico. O método de interpolação

geostatístico foi o da *krigagem ordinária*, através da extensão *Geostatistical Analyst* do *ArcInfo* (BURROUGH e MCDONNELL, 1998; GOOVAERTS, 1997; LONGLEY *et al.*, 2001; e SOARES, 2006).

A KO produz valores estimados por interpolação assumindo um valor da média constante para a área de estudo, mas desconhecido, permitindo influências locais devido a valores de vizinhos próximos. Por a média ser desconhecida existem poucas assunções. Este facto torna a KO particularmente flexível, mas talvez menos potente que outros métodos. Na sequência do cálculo da KO, os estatísticos que caracterizam a qualidade da georreferenciação, informam que, em termos de normalidade dos dados amostrais, quanto à forma, apresentam uma distribuição unimodal, a amostra de dados no histograma, face ao grau de assimetria (1,16) a distribuição apresenta uma assimetria positiva ( $M_0 \leq M_e \leq \mu$ ) ou enviesada à esquerda. O grau de achatamento ou curtose (3,83) informa que se trata de uma distribuição leptocúrtica, pelo que a intensidade das frequências na vizinhança dos valores centrais é maior face a uma distribuição normal. Em termos de medidas da variabilidade ou dispersão dos dados, observa-se que a amplitude total é 59,95 m, a amplitude interquartilica é 19,36 m, o desvio padrão 14,81 m e a variância é 219,28.

A fig. 54 apresenta a repartição espacial das classes de EMQ, e área ocupada pelas mesmas, em percentagem, para a área de estudo e as frequências relativas sob a forma de gráfico de colunas para toda a área das folhas. Observa-se que no bordos ocidental e oriental, onde o EMQ é superior, a área da classe de erro corresponde a 16,9 % da área de estudo (fig. 53 e 54).



**Figura 54** - Distribuição geográfica dos erros de georreferenciação das folhas 31-A e 31-C da Carta de Solos de Portugal na escala 1/50K, na área de estudo. As frequências relativas encontram-se em percentagens, sobre cada mancha de classe de erro.

Ainda na sequência do cálculo da  $KO$ , considerando um gráfico quantil-quantil normal, observa-se que os valores dos quantis dos dados aproximam-se da linha recta que representa a normalidade da distribuição, isto é, dos quantis normalizados, com excepção dos valores centrais e extremos. Na análise de tendência verifica-se a presença de duas tendências, ajustadas a um polinómio de 2.º grau, tanto na direcção E-W como na direcção N-S, embora a tendência E-W seja mais significativa (fig. 53). A tendência ou deriva está associada aos maiores erros de georreferenciação causados pela deformação da cartografia do tipo de solo.

Para a vectorização da Carta de Solos foi necessário rectificar, para além da informação auxiliar referente a massas de água (leito de cursos de água incluindo insuas, e também albufeiras e lagoas), os limites pedológicos de natureza aluvionar de fundos de vale, atendendo ao critério localização da rede hidrográfica e níveis altitudimétricos ou altimétricos, posição relativa das unidades de solo face a elementos cartografados como vias de comunicação. Com efeito, considerando a geomorfologia presente, efectuaram-se as rectificações à Carta de Solos, georreferenciada, nas áreas de fundo de vale, com recurso à informação cartográfica topográfica de traço na escala de 1/10K, cartografia topográfica de imagem, na escala de 1/10K, ou seja, vectorização com interpretação sobre o ecrã, à escala superior ou igual a 1/5K, e reconhecimento de campo no caso da ex-RARET, portanto, o critério foi geomorfológico (relevo, sua génese e tipo de rocha que o constitui), sem prejuízo pelo critério pedológico que tem em consideração a geocronologia (idade). Esta etapa também foi importante no bordo ocidental da folha 31-C (folhas da Carta Militar de Portugal n.ºs 377 e 391) e parte da folha 31-A, face ao erro cartográfico elevado.

Salienta-se que foi associada correspondência ao tipo de solo numa vasta área classificada como social, a Oeste da Vila de Glória do Ribatejo (ex-RARET). Propõe-se a classificação, de Norte para Sul como: Solos Litólicos + Solos Argiluvitados Pouco Insaturados (n.ºs 2211-Vt + 6123-Pag da C.S.P.), Solos Podzolizados (n.º 712-Ppt da C.S.P.) e Solos Litólicos (n.º 2211-Vt da C.S.P.). Os critérios de classificação utilizados foram: unidade de solo adjacente e geomorfológico (morfografia, morfometria e morfogénese).

Posteriormente, o mapa pedológico foi actualizado com base no tema dos espaços artificializados do mapa de uso e ocupação do território, através de uma operação de sobreposição com actualização, em ambiente de sistema de informação geográfica (SIG).

### **3.3.2 Parametrização da condutividade hidráulica subsuperficial (água do solo ou zona vadosa)**

#### **3.3.2.1 Valores de condutividade hidráulica padrão**

Um solo numa classe de  $K$  muito elevada pode estar saturado devido à presença de horizontes subjacentes do tipo imperme ou porque se localiza num sector deprimido na paisagem, onde a água demora mais a percolar do que a inundar, ou seja, a água pode de facto mover-se lentamente apesar de  $K$  elevados. A condutividade hidráulica dependente da tortuosidade do trajecto e da secção dos espaços vazios entre os agregados, das características do fluido e temperatura. A nota técnica n.º 6 disponibilizada pelo U.S.D.A. na

internet (URL: <http://soils.U.S.D.A.gov/technical/technotes/>) sobre a condutividade hidráulica saturada permite um enquadramento mais alargado.

Do ponto de vista hidrológico, os tipos de solo (pedon) podem ser classificados em termos de  $K$  conforme resultados no quadro 24. A divisão em classes foi baseada no método de progressão geométrica, por caracterizar melhor as unidades de solo com menor magnitude de condutividade hidráulica, pois «... as amplitudes de classe são muito pequenas num dos extremos da distribuição, crescendo em progressão para o outro.» (DIAS e ALEGRIA, 1983, p. 11).

**Quadro 24** - Classes de condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_s$ ).

Código	Condutividade Hidráulica Saturada	
	$K_{sat}$ (cm.h <sup>-1</sup> )	Classe
5	7,69 - 25,89	Muito alta
4	2,29 - 7,69	Alta
3	0,68 - 2,29	Moderada
2	0,20 - 0,68	Baixa
1	0,06 - 0,20	Muito baixa
0	0	Outras áreas
	<b>Máximo</b>	25,89
	<b>Mínimo</b>	0,06

Se uma mancha / unidade pedológica da carta de solos representa uma associação/complexo de solos, o procedimento para determinar a condutividade hidráulica, será o mesmo para o cálculo de  $n_u$ , vide ponto 3.3.4, capítulo III, ou seja, o valor será ponderado pela área de afloramento. O parâmetro foi calculado em *Excel* e integrado no mapa pedológico actualizado.

### 3.3.3 Parâmetros da água no solo (zona insaturada)

Esta temática baseia-se, fundamentalmente, na extracção de texto de OLIVEIRA (2004, 2006), gentilmente cedido pelo autor, mas também, em LENCASTRE e FRANCO (2010, pp. 157-164).

Nos solos sem coberto vegetal, sujeitos a evaporação, o teor de água pode descer até metade daquele que seria dado pelo ponto de emurchecimento das plantas (de acordo com ALLEN *et al.*, 1998 em OLIVEIRA, 2004, 2006).

Do conjunto de pressões que constituem a curva característica de humidade do solo salientam-se a capacidade de campo ( $CC$ ) e o coeficiente de emurchecimento ( $CE$ ), cujos valores podem ser determinados laboratorialmente. Nas condições de capacidade de campo, a tensão de água no solo varia entre 0,1 e 0,33 atmosferas. Considerando que 1 atmosfera são 1033 centímetros de coluna de água, se se expressar em termos de logaritmo da altura da coluna de água (em centímetros) que exerce pressão equivalente à força de retenção ou atracção do solo para a água ( $pF$ ), 0,1 atmosfera corresponde a aproximadamente  $pF$  2 e 0,33 atmosfera corresponde a aproximadamente  $pF$  2,5.

À medida que as plantas extraem humidade do *solo*, a água só subsiste em poros cada vez menores e as plantas têm necessidade de exercer uma sucção (pressão negativa) cada vez maior para absorver a água. Grande parte das plantas podem criar uma sucção até 15 atmosferas (*pF* 4,2). Quando as plantas não podem retirar mais água, começam a secar e atinge-se o ponto ou coeficiente de emurchecimento permanente, *CE/WP*. Abaixo deste teor de humidade no *solo*, as plantas mostram-se incapazes de recuperar a turgência depois de colocadas, às escuras, numa atmosfera saturada (LENCASTRE e FRANCO, 2010, p. 161). Apesar do poder de sucção depender também do tipo de planta, é possível estimar *CC* e *CE* em laboratório, considerando para o efeito que *CC* corresponde ao volume de água retido por uma amostra de solo quando sujeita a uma tensão de sucção de 0,1 bar (aproximadamente *pF* 2) a 0,33 bar (aproximadamente *pF* 2,5) e que *CE* corresponde ao teor de humidade medido em amostras de solo submetidas a uma sucção de 15 bar (aproximadamente *pF* 4,2).

A força de sucção da água pelo solo pode exprimir-se em 1 bar = 0,1 MPa = 1000 cm de H<sub>2</sub>O (quadro 25), pode ser transformada pelo log<sub>10</sub> desta pressão (*pF*). Quanto mais húmido está o solo, menor é a sucção, ou seja, a água está menos retida pelo solo. Com a dessecação do solo a força de sucção aumenta. Podemos estabelecer a curva de tensão de humidade do solo ou de variação do *pF* em função da taxa de humidade do solo em laboratório através da câmara de pressão (curva característica do solo).

**Quadro 25** - Unidades equivalentes do potencial da água no solo.

Altura da coluna de água	Logaritmo decimal da altura da coluna de água	Outros sistemas de medida		Sistema de medida S.I.
		Bares/Atmosferas	kPa	Pa
cm	<i>pF</i>			
100	2,0	0,1	10	10000
317	2,5	0,33	33	33000
15000,0	4,2	15	1500	1500000

Quanto mais húmido está o solo, menor é a sucção ou seja a água esta menos retida pelo solo. Com a dessecação do solo a força de sucção aumenta. Podemos estabelecer a curva de tensão de humidade do solo ou de variação do *pF* em função da taxa de humidade do solo em laboratório através da câmara de pressão (curva característica do solo). A relação entre o potencial matricial ou mátrico e o conteúdo de água denomina-se curva característica de um solo ( $\Psi_m = f(\theta_v)$ ) ou curva de tensão de humidade do solo. As plantas só podem utilizar a parcela de água contida entre a capacidade de campo e o coeficiente de emurchecimento, a qual se denomina capacidade utilizável dos solos,  $n_u$  (eq. 10):

$$n_u = CC - WP$$

**Equação 10** - Capacidade utilizável dos solos.

A quantidade máxima de água do solo utilizável pelas plantas (*AGUT*) possui unidades L e define-se por (eq. 11):

$$AGUT = rp \times n_u$$

**Equação 11** - Capacidade utilizável dos solos pelas plantas.

sendo  $r_p$  a profundidade das raízes das plantas. A capacidade de campo de um solo pode ser estimada mediante a equação (eq. 12):

$$cc = \sum [(pF_{2 \text{ ou } pF_{2,5}})_i * esp_i] / \sum esp_i \quad \text{Equação 12 - Capacidade de campo.}$$

onde o somatório se desenvolve de 1 ao número de horizontes presentes no solo e  $esp_i$  se refere à espessura do horizonte em questão. A capacidade de água utilizável é a água retida no intervalo compreendido entre a  $CC$  e o  $PE$  (consultar CUSTODIO e LLAMAS (1983, pp. 311-312). Para alguns perfis de solos existe a determinação de  $pF_2$  em laboratório. No caso desta força de sucção não estar determinada (o que sucede na área de estudo) utiliza-se a seguinte fórmula que permite estimar  $pF_{2,5}$  (RAWLS e BRAKENSIEK, 1989) em função das percentagens de areia ( $S$ ), argila ( $C$ ) e de matéria orgânica ( $OM$ ) (eq. 13):

$$pF_{2,5} = 0,2576^{25} - 0,002 \times S + 0,0036 \times C + 0,0299 \times OM \quad \text{Equação 13 - Estimativa de } pF_{2,5}.$$

LEOPOLD *et al.* (1964, p. 112), referem que a matéria orgânica é uma das propriedades mais importantes do solo, devido à função retenção de água e de controlo do ambiente físico-químico da zona de alteração.

Utilizando o mesmo procedimento, calcula-se o ponto de emurchecimento do solo através da equação (eq. 14):

$$wp = \sum (pF_{4,2})_i * esp_i / \sum esp_i \quad \text{Equação 14 - Ponto de emurchecimento.}$$

Normalmente  $pF_{4,2}$  é determinado em laboratório. Para os perfis em que não é determinado,  $pF_{4,2}$  pode ser estimado pela equação de RAWLS e BRAKENSIEK, 1989 (eq. 15):

$$pF_{4,2} = 0,026^{26} + 0,005 \times C + 0,0158 \times OM \quad \text{Equação 15 - Estimativa de } pF_{4,2}.$$

As eq. 13 e 15 representam equações de regressão linear determinadas para 1323 solos dos E.U.A. Os coeficientes de correlação encontrados foram de 87% para a Eq. 13 e de 80% para a eq. 14. A porosidade de um solo pode ser estimada (eq. 16):

$$n = \sum (n_i * esp_i) / \sum esp_i \quad \text{Equação 16 - Porosidade de um solo.}$$

onde o somatório se desenvolve de 1 ao número de horizontes presentes no solo e  $esp_i$  se refere à respectiva espessura do horizonte em questão. Na aplicação das eq. 13 e 15, as fracções areia, limo e argila são calculadas para 100%. A porosidade de cada horizonte também pode ser determinada laboratorialmente ou pode ser estimada a partir de equações que relacionam a porosidade com outros parâmetros do solo mais facilmente determináveis. RAWLS e BRAKENSIEK (1989), apresentam as seguintes equações (eq. 17-19):

<sup>25</sup> Intercepto/ordenada na origem, isto é, o valor que a variável dependente assume, quando todas as independentes são iguais a zero; restantes valores são coeficientes da regressão.

<sup>26</sup> Intercepto/ordenada na origem, isto é, o valor que a variável dependente assume, quando todas as independentes são iguais a zero; restantes valores são coeficientes da regressão.

$$n = (2,65 - \rho_d) / 2,65$$

**Equação 17** - Porosidade de cada horizonte via laboratório.

sendo  $\rho_d$  a densidade aparente [M/L<sup>3</sup>] (eq. 18):

$$\rho_d = 1,51 + 0,0025 \times S - 0,0013 \times S \times OM - 0,0006 \times C \times OM - 0,0048 \times C \times CEC$$

**Equação 18** -  
Densidade aparente.

onde *CEC* é a razão entre a capacidade de troca catiónica da argila (*CEC<sub>c</sub>*), dada pela eq. 19, e o teor de argila (*C*) (eq. 19):

$$CEC_c = CEC_{solo} - MO \times (1,42 + 1,70 \cdot d_h)$$

**Equação 19** - Capacidade de troca catiónica da argila.

Os parâmetros dependentes do solo capacidade de campo e ponto de emurchecimento foram calculados a partir dos dados analíticos e legenda da carta de solos à escala 1/50K. Nalgumas situações, os dados analíticos não permitiram a quantificação da capacidade utilizável dos solos, pelo que, para a determinação de  $n_u$ , utilizou-se o quadro 26, que apresenta os valores obtidos em laboratório para sucções de 0,33 e 15 bar em função da classe textural do solo.

**Quadro 26** - Propriedades hidrológicas médias do solo classificado em termos de textura. (Ext. de RAWLS e BRAKENSIEK, 1989, e de OLIVEIRA *et al.*, 1997).

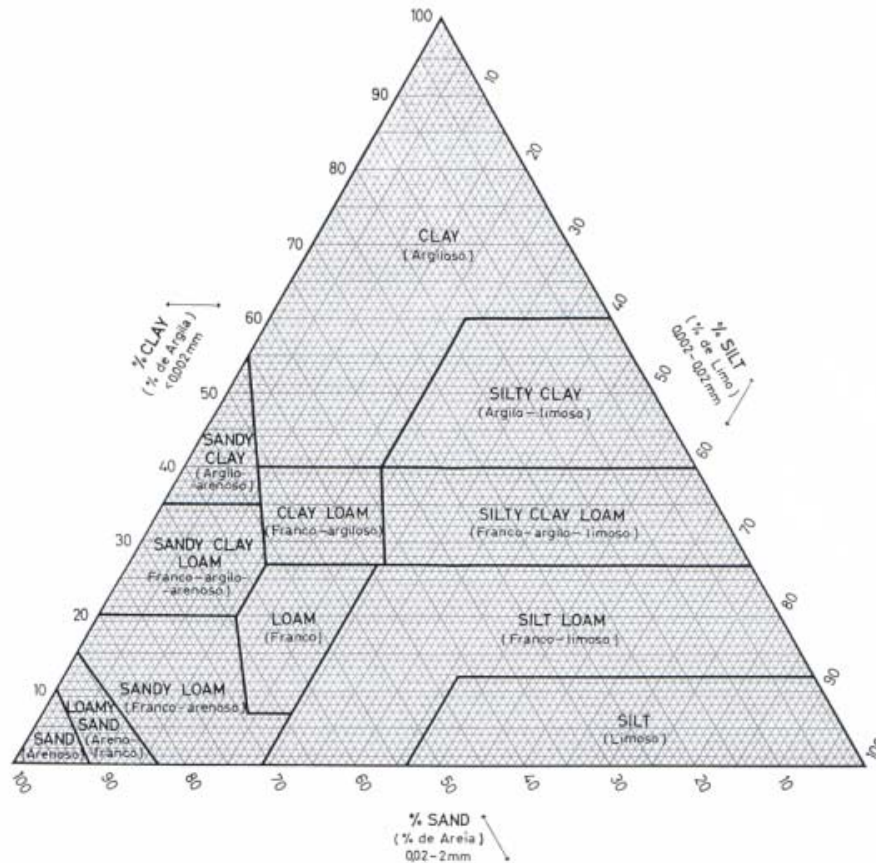
Classe textural	Número de amostras	Porosidade total (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Porosidade total (%)	Porosidade efectiva (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Porosidade efectiva (%)	Água retida a uma sucção de 0,33 bar (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Água retida a uma sucção de 15 bar (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Condução Hidráulica Saturada ((Ks). cm/h)
Arenoso	762	0,437	43,7	0,417	41,7	0,091	0,03	21,00
Arenoso franco	338	0,437	43,7	0,401	40,1	0,125	0,06	6,11
Franco arenoso	666	0,453	45,3	0,412	41,2	0,207	0,10	2,59
Franco	383	0,463	46,3	0,434	43,4	0,270	0,12	0,68
Limoso (*)	(*)	0,443 (*)	44,3	-	-	0,297 (*)	0,072	-9
Franco limoso	1206	0,501	50,1	0,486	48,6	0,33	0,13	1,32
Franco argilo-arenoso	498	0,398	39,8	0,330	33,0	0,26	0,15	0,43
Franco argiloso	366	0,464	46,4	0,390	39,0	0,32	0,20	0,23
Franco argilo-limoso	689	0,471	47,1	0,432	43,2	0,37	0,21	0,15
Argilo-arenoso	45	0,43	43,0	0,321	32,1	0,34	0,24	0,12
Argilo-limoso	127	0,479	47,9	0,423	42,3	0,39	0,25	0,09
Argiloso	291	0,475	47,5	0,385	38,5	0,40	0,27	0,06

Legenda: -9: sem dados; (\*) calculado de acordo com as Eq. 13, Eq. 15, Eq. 17, Eq. 18 e Eq. 19, utilizando S=6, C=6, MO=1, CEC = 10, dh = 50 cm.

Para a determinação das classes de textura utilizou-se o diagrama triangular para a classificação básica da textura do solo construído por GOMES e SILVA (1962) (fig. 55). Esta nova classificação visa resolver a diferença dimensional da classe do limo U.S.D.A. e limo internacional (da escala de Atterberg e adoptada pelo então S.R.O.A. até à actualidade). No estudo efectuado (GOMES e SILVA) confrontaram, sobre uma

amostragem em 585 horizontes de solo, as classificações obtidas com o diagrama resultante da conversão do U.S.D.A. (coincidente com GOMES e SILVA, 1962, em S.R.O.A., 1970, e U.S.D.A.).

Considerando como classificações correctas as obtidas as fornecidas pelo diagrama do U.S.D.A., o diagrama proposto e aqui utilizado conduziu a 81,4% dos casos bem classificados.



**Figura 55** – Diagrama triangular para a classificação da textura do solo utilizando: classes de textura adoptadas pela classificação portuguesa, vide GOMES e SILVA (1962) e adoptadas pelo S.R.O.A. (1970).

### 3.3.4 Água utilizável na área de estudo

Um dos factores de infiltração e percolação é a capacidade de água utilizável que pode ser removida do solo através da evapotranspiração. Assim, quanto maior for a quantidade de água retida na zona vadosa susceptível de ser utilizada pelas plantas menor é a água de percolação que atinge a zona saturada e recarrega os aquíferos. A capacidade utilizável dos solos foi determinada a partir de C.N.R.O.A. (1973).

O quadro 27, apresenta os resultados  $n_u$  para cada tipo de solo (sem associações), que servirá para aferir a água utilizável pelas plantas (AGUT), em função da profundidade das raízes destas.

**Quadro 27 – Capacidade utilizável dos solos.**

SIGLA	Código	CC (cm)	CE (cm)	Média (2 perfis)		N <sub>u</sub> (médio cm)	N <sub>u</sub> (cm água por cm solo)	Notas N <sub>u</sub>
				CC	CE			
A	131102	0,28	0,12	#	#	#	0,15	2
Aa	131103	0,36	0,24	#	#	#	0,12	2
Ac	131202	0,31	0,18	#	#	#	0,14	2
Al	131101	0,14	0,06	#	#	#	0,08	2
Alc	131201	0,25	0,13	#	#	#	0,12	2
Ap	611101	0,02	0,01	#	#	#	0,01	1
Aph	621001	0,05	0,01	#	#	#	0,04	1;2
Aslc	711102	0,14	0,06	#	#	#	0,08	3
Atl	132101	0,17	0,08	0,15	0,06	0,09	0,09	1;2;4
Atl	132101	0,13	0,03					
Ca	810103	0,31	0,17	#	#	#	0,14	2
Caa	810105	0,40	0,28	#	#	#	0,12	2
Caac	810106	0,52	0,34	#	#	#	0,18	2
Cac	810104	0,31	0,15	#	#	#	0,16	3
Cal	810101	0,14	0,06	#	#	#	0,08	2
Et	111010	0,30	0,16	#	#	#	0,14	2
Pag	512301	0,25	0,16	0,29	0,15	0,13	0,13	1;2;4
Pag	512301	0,32	0,15					
Par	221101	0,16	0,03	#	#	#	0,13	1
Ppr	612001	0,17	0,08	0,17	0,08	0,09	0,09	1;2;4
Ppr	612001	0,16	0,07					
Ppt	612002	0,19	0,07	#	#	#	0,13	1
Ps	821001	0,25	0,12	#	#	#	0,13	1
Pz	612003	0,12	0,03	0,07	0,02	0,05	0,05	1;4
Pz	612003	0,03	0,01					
Rg	121101	0,09	0,04	#	#	#	0,05	2
Rgc	121201	0,15	0,07	#	#	#	0,08	2
Sag	810402	0,32	0,12	#	#	#	0,20	1
Sb	140102	0,31	0,15	#	#	#	0,16	2
Sbl	140101	0,22	0,06	#	#	#	0,16	1
Sg	810201	0,14	0,04	#	#	#	0,11	1
Vt	221113	0,14	0,06	0,13	0,04	0,09	0,09	1;4
Vt	221113	0,13	0,03					

**Legenda:** 1 - Dados de C.N.R.O.A., 1973; 2 - Equações publicadas em RAWLS e BRAKENSIEK, 1989; 3 - Sem dados em C.N.R.O.A., 1973, mas baseado em valores a partir da textura publicados em RAWLS e BRAKENSIEK, 1989; 4 - Média aritmética de dois solos representativos.

Se uma mancha / unidade pedológica da carta de solos representa uma associação / complexo de solos, o n<sub>u</sub> ou AGUT de cada tipo de solo dessa associação é determinado multiplicando n<sub>u</sub> ou AGUT de cada solo da associação pela fracção da área de ocorrência (no caso da cartografia 1/50 k não se dispõe das áreas de ocorrência). No presente caso, trabalhou-se sobre os valores de n<sub>u</sub>, em folha de *Excel*. Por exemplo, se se tiver um complexo de duas unidades de solo, o primeiro ocupa 60% da área e o segundo os restantes 40%, continuando, se o primeiro solo apresenta um valor de AGUT de 200 mm e o segundo um valor de AGUT de 100 mm, significa que o valor de AGUT da associação será 160 mm (200 mm x 0,6 + 100 x 0,40 = 120 mm + 40 mm = 160 mm). No caso de complexos com três unidades de solo, utilizou-se 50%, 30% e 20%, para os 1.º, 2.º e 3.º solos, respectivamente, conforme sugestão do Geólogo Manuel Oliveira (a este respeito também se teve em conta S.R.O.A., 1972, pp. 189-190).

Considerando apenas as unidades de solo, sem associações, o valor médio (perspectiva muito generalizada) da quantidade de água (retida nos solos existentes no local de estudo) disponível para as plantas é de 0,11 cm de água por cm de solo (fig. 56).

Após integração da profundidade das raízes das plantas no mapa de uso e ocupação do território, procedeu-se à união destes dois mapas para obter o valor de AGUT através da eq. 11. Posteriormente, procedeu-se à classificação dos valores com base na média aritmética, servindo de limite de classe, e desvio padrão (quadro 28).

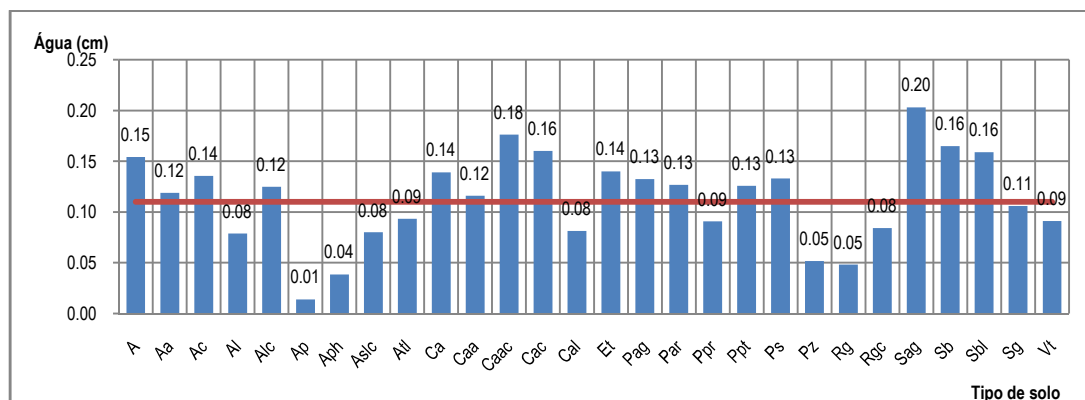


Figura 56 – Quantidade de água disponível por tipo de solo.

Quadro 28 - Classes de capacidade utilizável dos solos pelas plantas.

	AGUT			Classe
	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)	Água (mm)	
	22267900	9,1	495,74 - 558,31	Muito alta
	1411900	0,6	377,83 - 495,74	Alta
	1084800	0,4	259,92 - 377,83	Moderadamente alta
	62802900	25,7	142,02 - 259,92	Moderadamente baixa
	19321100	7,9	24,11 - 142,02	Baixa
	124752700	51,1	1 - 24,11	Muito baixa
	12287900	5,0	0	Sem plantas
<b>Soma</b>	243929200	100	-	-
<b>Média aritmética</b>	-	-	142,02	-
<b>Desvio padrão</b>	-	-	117,91	-

### 3.3.5 Grupos hidrológicos de solos

Para determinar o tipo de solo, do ponto de vista do hidrológico, classificou-se cada tipo de solo (do ponto de vista pedológico), tendo como referência, mas com adaptação de critérios, o mesmo procedimento adoptado em OLIVEIRA *et al.* (1997) nomeadamente: a legenda da carta de solos de Portugal na escala de 1/50K (as manchas de solo constituem uma unidade de análise), os seguintes dados de C.N.R.O.A. (1973): a espessura do solo, teor em balastro, teor em argila, condutividade hidráulica saturada constante; dados de S.R.O.A. (1972): drenagem e espessura efectiva do solo; e dados de S.R.O.A. (1970): descrição qualitativa das famílias quanto à textura (também foi determinada a textura para auxiliar na classificação de solos quanto à condutividade hidráulica saturada, inovando neste aspecto), descrição qualitativa em S.R.O.A. (1965) (inovando

neste aspecto) e U.S.D.A. (2009), conforme discriminado à frente. De acordo com U.S.D.A. (2005) os grupos hidrológicos de solos (GHS) ou HSG (*Hidrologic Soil Groups*) podem-se definir como grupos de solos que têm potenciais de escoamento similares sob condições de tempestade/chuvada e de ocupação similares. As propriedades do solo que influenciam o escoamento potencial são aquelas que influenciam a taxa de infiltração mínima para um solo sem vegetação, após humedecimento prolongado e quando não gelado. As propriedades são: profundidade a um nível freático sazonal alto, condutividade hidráulica saturada e profundidade a um horizonte de solo com grau de transmissão de água muito baixo. As mudanças nas propriedades do solo causadas por gestão do solo ou mudanças climáticas, também implicam a modificação do GHS. A influência da ocupação do solo é tratada de forma independente. De acordo com esta metodologia os solos podem ser classificados em quatro grupos, A, B, C, e D, e três classes compósitas (que não ocorrem na área de estudo), A/D, B/D, e C/D. Em termos de significado, os GHS são utilizados em equações para estimar o escoamento a partir da precipitação. Estas estimativas são necessárias para a resolução de problemas hidrológicos que são suscitados no planeamento da protecção de bacias hidrográficas e projectos de prevenção contra cheias, para planeamento ou projecção de estruturas para o uso ou controlo da água. De forma mais completa, são definidos em U.S.D.A. (2009) quatro grupos de solo hidrológicos, que em conjunto com a ocupação e uso do território e condições hidrológicas determinam o número curva (*curve number – CN*) de escoamento associado ao GHS. Os CN de escoamento são utilizados para estimar a fracção de escoamento directo proveniente da precipitação. Nesta tese não são determinados os CN<sup>27</sup>.

As unidades de solo (famílias) agrupadas em função dos GHS possuem características físicas e de escoamento similares. De acordo com U.S.D.A. (2009), inicialmente, os critérios para associar tipos de solo a GHS eram baseados em séries de precipitação, escoamento e infiltração (por infiltrómetro). Os novos solos são classificados com base na comparação de perfis de solos já incluídos num GHS. A maior parte das classificações assenta na premissa que os solos numa determinada região climática que são semelhantes nos atributos profundidade até um horizonte restritivo ou nível freático, taxa de transmissão de água, textura, estrutura e grau de expansão quando saturados, têm respostas de escoamento semelhantes. As classes são baseadas nos seguintes factores: entrada e transmissão de água sob condições de humidade anual máximas (completamente humedecidos); solo não gelado (*permafrost*) de forma a não impedir a infiltração e transmissão de água); superfície do solo nua; aumento máximo de argilas expansivas. O declive da superfície do solo não é considerado na classificação de GHS. Numa forma mais simplista os GHS podem ser determinados pelos horizontes de solo de menor condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) e profundidade a horizontes mais ou menos impermeáveis do que horizontes adjacentes (horizontes com menor permeabilidade e maior densidade aparente; denominam-se impermes e fazem parte de um conjunto de horizontes subsuperficiais de diagnóstico) ou profundidade ao nível freático (se estiver presente). Quando os valores de condutividade hidráulica não estão

---

<sup>27</sup> O cálculo do número de escoamento (CN) é o resultado da média ponderada dos diferentes valores de CN de cada área homogénea em termos de uso e ocupação do território em relação à área total.

$CN = \sum_{n=1}^n A_n * N_n / A_t$  Onde: CN – Número de escoamento; n – número de zonas homogéneas;  $A_n$  – Área da zona homogénea n;  $N_n$  – Número de escoamento da área n;  $A_t$  – Área total.

disponíveis podem ser utilizadas outras características físicas, nomeadamente: textura, compacidade (densidade aparente), consistência da estrutura do solo, mineralogia das argilas (contração/expansão) e matéria orgânica, são utilizados para prever o movimento da água.

Assim, de acordo com U.S.D.A. (2009), os quatro GHS definem-se da seguinte forma:

**Grupo A:** os solos deste grupo têm escoamento potencial baixo quando completamente humedecidos. A água é transmitida de forma livre através do solo (taxa de infiltração alta). Os solos do grupo A possuem tipicamente menos de 10% de argila e mais de 90% de areia ou balastro e têm texturas arenosa ou de balastro. Alguns solos com texturas areno-franca, franco-arenosa, franca ou franco-limosa podem ser colocados neste grupo se tiverem boa agregação (estrutura bem definida), de baixa densidade aparente, ou se tiverem mais de 35% de fragmentos rochosos. Os limites das características físicas de diagnóstico do grupo A são: a condutividade hidráulica saturada de todos os horizontes do solo excede  $14,4 \text{ cm.h}^{-1}$ . A profundidade até qualquer horizonte impermeável à água é maior do que 50 cm. A profundidade ao nível freático é maior do que 60 cm. Os solos que possuem uma profundidade maior do que 100 cm face a horizontes impermeáveis à água pertencem ao grupo A se a condutividade hidráulica saturada de todos os horizontes do solo, dentro dos 100 cm de solo, exceder  $3,6 \text{ cm.h}^{-1}$ .

**Grupo B:** os solos deste grupo têm escoamento potencial moderadamente baixo quando completamente humedecidos. A transmissão de água pelo solo é desimpedida (taxa de infiltração moderada). Os solos do grupo B apresentam valores típicos de % argila entre 10% e 20% e valores de % de areia entre 50% a 90% e possuem textura areno-franca ou franco-arenosa. Alguns solos com textura franca, franco-limosa, limosa, ou franco-argilo-arenosa podem ser classificados neste grupo se tiverem boa agregação (estrutura bem definida), de baixa densidade aparente, ou possuírem mais de 35% de fragmentos de rocha. Os limites das características físicas de diagnóstico do grupo B são: a condutividade hidráulica no horizonte menos transmissivo entre a superfície e 50 cm de profundidade oscila entre  $3,6 \text{ cm.h}^{-1} < k_s < 14,4 \text{ cm.h}^{-1}$ . A profundidade até qualquer horizonte de solo impermeável à água é superior a 50 cm. A profundidade até ao nível freático é maior do que 60 cm. Solos com profundidade superior a 100 cm relativamente a horizontes de solo impermeáveis à água pertencem ao grupo B se a condutividade hidráulica saturada de todos os horizontes do solo, dentro dos 100 cm de solo, desde a superfície, exceder  $1,4 \text{ cm.h}^{-1}$ , mas menos de  $3,6 \text{ cm.h}^{-1}$ .

**Grupo C:** os solos deste grupo possuem escoamento potencial moderadamente alto quando completamente humedecidos. A transmissão de água através do solo é um pouco limitada (taxa de infiltração baixa). Os solos do grupo C têm valores típicos de argila entre 20% e 40% e menos de 50% de areia e possuem texturas franca, franco-limosa, franco-argilo-arenosa, franco-argilosa, e franco-argilo-limosa. Alguns solos de textura argilosa, argilo-limosa, ou argilo-arenosa podem ser classificados neste grupo se tiverem boa agregação (estrutura bem definida), baixa densidade aparente, ou possuírem mais de 35% de fragmentos de rocha. Os limites das características físicas de diagnóstico do grupo C são: a condutividade hidráulica saturada do horizonte menos transmissivo desde a superfície até 50 cm de profundidade oscila entre  $0,36 \text{ cm.h}^{-1} < k_s < 3,6$

cm.h<sup>-1</sup>. A profundidade até qualquer horizonte impermeável à água é superior a 50 cm. A profundidade ao nível freático é superior a 60 cm. Os solos com profundidade superior a 100 cm face a uma restrição ou nível freático pertencem ao grupo C se a condutividade hidráulica saturada de todos os horizontes até 100 cm de profundidade, desde a superfície, exceder 0,14 cm.h<sup>-1</sup>, mas menos de 1,4 cm.h<sup>-1</sup>.

**Grupo D:** os solos deste grupo possuem escoamento potencial alto quando completamente humedecidos. O movimento através do solo é limitado ou muito limitado (taxa de infiltração muito baixa). Os solos do grupo D têm valores típicos de argila superiores a 40%, menos de 50% de areia, e possuem textura argilosa. Nalguns locais também possuem potencial elevado de contracção-expansão. Todos os solos com profundidade inferior a 50 cm face a um horizonte impermeável à água e todos os solos com um nível freático dentro dos 60 cm, desde a superfície, pertencem a este grupo, apesar de alguns poderem ter classificação compósita, conforme descrito a seguir, se forem adequadamente drenados.

Os limites das características físicas de diagnóstico do grupo D são: para solos com um horizonte impermeável à água entre 50 cm e 100 cm, a condutividade hidráulica no horizonte de solo menos transmissivo é inferior ou igual a 0,36 cm.h<sup>-1</sup>. Para solos com profundidade superior a 100 cm face a restrições ou nível freático, a condutividade hidráulica de todos os horizontes de solo até 100 cm de profundidade, desde a superfície, é inferior ou igual a 0,14 cm.h<sup>-1</sup>.

**Grupos Hidrológicos de Solos compósitos:** alguns solos humedecidos são classificados como Grupo D, tendo por base, exclusivamente, a presença de um nível freático dentro da profundidade de 60 cm, desde a superfície, embora a condutividade hidráulica saturada possa ser favorável à transmissão de água. Se estes solos poderem ser adequadamente drenados, são classificados como compósitos (A/D, B/D, e C/D), tendo por base a sua condutividade hidráulica saturada e profundidade do nível freático, quando drenado. A primeira letra aplica-se à condição drenada e a segunda à condição não drenada. Para o propósito da classificação dos GHS, adequadamente drenado significa que o nível freático alto sazonal é mantido, pelo menos, a 60 cm de profundidade abaixo da superfície, num solo onde estaria mais alto em condições naturais.

Os quadros 29 e 30 constituem as matrizes de critérios de classificação de GHS. Devem ser analisados os dois quadros. Caso os dados de *K<sub>s</sub>* estejam disponíveis e fiáveis, juntamente com profundidade do nível freático devem ser utilizados para associar o solo ao GHS correcto. Se este dados não estiverem disponíveis o GHS é determinado por observação das propriedades do solo no campo. Factores como textura, compactidade (densidade aparente), coesão da estrutura do solo, mineralogia da argila e matéria orgânica são considerados na predição da *K<sub>s</sub>* de cada horizonte do perfil do solo. A profundidade e a condutividade hidráulica de qualquer horizonte de solo impermeável à água e profundidade a qualquer nível freático alto, são utilizados para determinar correctamente o GHS para o solo. A propriedade que for mais limitadora ao movimento da água, geralmente determina o GHS do solo. Apesar de tudo, poderão surgir situações anómalas onde se tornam necessários ajustamentos aos GHS.

**Quadro 29** – Critérios de determinação de GHS quando um horizonte impermeável à água existe a uma profundidade entre 50 e 100 centímetros, desde a superfície. (Ext. de U.S.D.A., 2009).

Propriedades do solo	Grupo Hidrológico de Solo			
	A	B	C	D
K <sub>sat</sub> do horizonte menos transmissivo (cm.h <sup>-1</sup> )	> 14,4	14,4 - 3,6	3,6 - 0,36	≤ 0,36
	e	e	e	e/ou
Prof.ao horizonte impermeável à água (cm)	50 a 100	50 a 100	50 a 100	<50
	e	e	e	e/ou
Profundidade ao nível piezométrico (cm)	60 a 100	60 a 100	60 a 100	<60

**Quadro 30** - Critérios de determinação de GHS quando qualquer horizonte impermeável à água existe a uma profundidade superior a 100 centímetros, desde a superfície (Ext. de U.S.D.A., 2009).

Propriedades do solo	Grupo Hidrológico de Solo			
	A	B	C	D
K <sub>sat</sub> do horizonte menos transmissivo (cm.h <sup>-1</sup> )	> 3,6	3,6 - 1,4	1,4 - 0,14	≤ 0,14
	e	e	e	e/ou
Prof.ao horizonte impermeável à água (cm)	>100	>100	>100	>100
	e	e	e	e/ou
Profundidade ao nível piezométrico (cm)	>100	>100	>100	>100

Assim, os grupos hidrológicos de solo constituem uma forma de classificação do escoamento potencial a que determinada superfície está sujeita, associando-se um número de escoamento (adimensional) em função do escoamento potencial. Quanto maior este, menor é a água que se vai infiltrar e, eventualmente percolar até recarregar a zona saturada. Sobre o assunto consulte-se DAVID (1976); OLIVEIRA *et al.* (1997); OLIVEIRA e LOBO FERREIRA (2002); e U.S.D.A. (2009).

No quadro 31 consta o GHS por unidade pedológica, com vista à construção de um mapa com o escoamento e infiltração potencial para a área de estudo.

**Quadro 31** - Grupos hidrológicos de solos.

SIGLA	Código	Fracção < 2 mm (%) Textura do Solo (SROA)	Código Textura (SROA)	K <sub>s</sub> (cm.h <sup>-1</sup> )	Classes K <sub>s</sub>	Dados em SROA (1972)		GHS	Critério (GHS)
						Drenagem (Hd)	Espessura efectiva (E)		
A	131102	Franca	8	0,68	3	1	2 (1)	B	U.S.D.A. 2009; Hd; Esp.
Aa	131103	Argilosa	12	0,06	4	2 ou 3	3 (1)	D	U.S.D.A. 2009; Hd
Ac	131202	Franca	8	0,68	3	1	2 (1)	C	U.S.D.A. 2009; Hd; Esp.
Al	131101	Areno-franca	7	6,11	2	1	3 (1)	A	U.S.D.A. 2009; Hd; Esp.
Alc	131201	Franco-arenosa	2	2,59	2	1	4 (1)	B	U.S.D.A. 2009; Hd; Esp.
Ap	611101	Arenosa	1	25,31	2	1	1	A	U.S.D.A. 2009; Hd; Esp.
Aph	621001	Arenosa	1	26,27	2	4 ou 3	1	D	U.S.D.A. 2009; Hd
Aslc	711102	Franco-arenosa	2	2,59	3	0	3 (2)	D	U.S.D.A. 2009
Atl	132101	Franco-arenosa	2	1,41	3	1	1	C	U.S.D.A. 2009; Hd; Esp.
Ca	810103	Franca	8	0,68	3	2 a 4	1	D	U.S.D.A. 2009; Hd
Caa	810105	Argilosa	12	0,06	4	2 a 4	1	D	U.S.D.A. 2009; Hd
Caac	810106	Argilo-limosa	6	0,09	4	2 a 4	1	D	U.S.D.A. 2009; Hd
Cac	810104	Franco-argilo-limosa	5	0,15	4	2 a 4	1	D	U.S.D.A. 2009; Hd
Cal	810101	Franco-arenosa	2	2,59	3	2 a 4	1	D	U.S.D.A. 2009; Hd
Et	111010	Franco-arenosa	2	2,59	3	0	4 (1)	C	U.S.D.A. 2009
Pag	512301	Franco-argilo-arenosa	9	1,02	3	2 a 4	1 a 4	D	U.S.D.A. 2009; Hd
Par	221101	Franco-arenosa	2	1,76	3	1	1	C	U.S.D.A. 2009; Hd; Esp.
Ppr	612001	Franco-arenosa	2	2,59	3	1	1	B	U.S.D.A. 2009
Ppt	612002	Franco-argilo-arenosa	9	2,68	3	1	1 a 3	C	U.S.D.A. 2009; Esp.
Ps	821001	Franco-argilo-arenosa	9	4,31	2	3 a 5	1 a 3	D	U.S.D.A. 2009; Hd
Pz	612003	Franco-arenosa	2	3,96	2	1	1	B	U.S.D.A. 2009; Hd
Rg	121101	Arenosa	1	21	2	1	1	A	U.S.D.A. 2009
Rgc	121201	Arenosa	1	21	2	1 a 4	1	A	U.S.D.A. 2009
Sag	810402	Franco-argilosa	10	0,54	3	4 ou 5	1 a 4	D	U.S.D.A. 2009; Hd

SIGLA	Código	Fracção < 2 mm (%)	Código Textura (SROA)	K <sub>s</sub> (cm.h <sup>-1</sup> )	Classes K <sub>s</sub>	Dados em SROA (1972)		GHS	Critério (GHS)
		Textura do Solo (SROA)				Drenagem (Hd)	Espessura efectiva (E)		
Sb	140102	Franco-limosa	3	1,32	3	1	1 (1)	C	U.S.D.A. 2009; Esp.
Sbl	140101	Franco-arenosa	2	1,23	3	1	1 (1)	C	U.S.D.A. 2009
Sg	810201	Franco-arenosa	2	5,46	2	4 ou 3	1	D	U.S.D.A. 2009; Hd
Vt	221113	Franco-arenosa	2	3,88	2	1	1 a 3	B	U.S.D.A. 2009

#### Legenda

##### Notas:

- (1) - Sem valor em S.R.O.A., 1972, pelo que se adoptaram valores de características da família em questão em C.N.R.O.A., 1973.  
(2) - Sem valor em S.R.O.A., 1972, pelo que se adoptaram valores de características de famílias semelhantes em C.N.R.O.A., 1973.

##### Classes de espessura efectiva do solo (S.R.O.A., 1972).

Espessura (cm)	Limiares
E1	> 45
E2	35-45
E3	25-35
E4	< 25

##### Classes de drenagem do solo por excesso de água (S.R.O.A., 1972).

Drenagem solo (excesso de água)	Limiares
Hd1	Solos normalmente bem drenados; permeabilidade no solo e subsolo é rápida ou permeabilidade moderada associada a elevada capacidade de armazenamento.
Hd2	Solo com excesso de água durante pequena parte do ano; Solos moderadamente bem drenados; permeabilidade moderada, muitas vezes associada a capacidade de armazenamento baixa ou com nível freático próximo da superfície durante pequena parte do ano.
Hd3	Solos imperfeitamente drenados; permeabilidade lenta no solo e/ou subsolo; frequentemente com horizontes ou substrato pouco permeáveis, ou com permeabilidade moderada associada a baixa capacidade de armazenamento, ou nível freático próximo da superfície durante parte considerável do ano (parte Outono-Primavera).
Hd4	Solos com excesso de água durante grande parte do ano (Outono-Primavera); solos pobremente ou muito pobremente drenados; permeabilidade lenta ou muito lenta no solo e/ou subsolo ou com nível freático próximo da superfície durante aquele período (Outono-Primavera).
Hd5	Solos com excesso de água durante todo o ano; nível freático superficial durante todo o ano.

##### Classes de atribuição de GHS tendo em conta drenagem e espessura efectiva (OLIVEIRA *et al.*, 1997).

HSG	Hd	E
A	1	1
B	1-2	1-3
C	3	-
D	4 ou 5	-

A sua elaboração efectuou-se de acordo com OLIVEIRA e LOBO FERREIRA (2002), e supletivamente, de acordo com U.S.D.A. (2009), designadamente, adoptando os critérios quantitativos nos quadros 29 e 30.

Se uma mancha / unidade pedológica da carta de solos representa uma associação / complexo de solos, utiliza-se o GHS que representar maior área de afloramento. O trabalho desenvolveu-se em *Excel* e *ArCInfo*.

### 3.4 Hidrologia

Para a realização deste tema são necessários dados sobre as massas de água superficiais e subterrâneas. A componente superficial extrai-se da rede hidrográfica. A componente subterrânea advém de dados de monitorização de água subterrânea do SNIRH/INAG, recolha de níveis de água no campo, recolha e análise da estratigrafia e litologia (sobrejacente e subjacente) através de perfis litológicos (relatórios hidrogeológicos de captações de água municipais), consulta de bibliografia da especialidade e recolha de valores padrão de condutividade hidráulica de solo e rocha.

#### 3.4.1 Revisão teórica do movimento da água em meios saturados e não saturados

Neste ponto, são referenciadas diferentes abordagens a conceitos relacionados com a circulação de água na zona satura e insaturada, por vezes, muito próximas, com o intuito de passar em revista diversas perspectivas, de forma concisa.

O escoamento ou fluxo é regido por leis físicas (por exemplo, a lei de Bernoulli<sup>28</sup>, que descreve o movimento dos fluídos e a lei de Darcy<sup>29</sup>, que descreve o fluxo de um fluído através de um meio poroso) e representado quantitativamente por variáveis como vazão, profundidade e velocidade. O comportamento do escoamento é descrito por equações de conservação de massa, energia e quantidade.

CUSTODIO e LLAMAS (1983, p. 69) referem que em hidrodinâmica, num ponto com determinada secção por se move um líquido, distinguem-se três tipos de energia: energia cinética (devido à velocidade do movimento), energia de pressão ou altura piezométrica (devido à pressão) e energia de posição ou altura geométrica (devido à altura sobre um plano de referência) (equações na bibliografia pesquisada).

VALLEJO *et al.* (2002, p. 267) referem que o movimento da água em formações geológicas está condicionado pela sua capacidade em realizar trabalho através das suas partículas elementares. A energia depende, por um lado, do campo de forças a que o fluído está submetido e do agente sensível a esse campo, e por outro lado, do tipo de energia em si ou forma pela qual o corpo possui armazenada a capacidade de realizar trabalho. Os três tipos de energia que podem incidir sobre a água que se move numa determinada formação permeável, assumindo que não existem trocas de calor, são (eq. 20-22):

$$E_h = mgz$$

**Equação 20** – Energia potencial.

$$E_c = 1/2 \cdot mv^2$$

**Equação 21** – Energia cinética.

$$E_p = pV$$

**Equação 22** – Energia de pressão.

<sup>28</sup> Daniel Bernoulli, Físico suíço, publicou obra (*Hydrodynamica*) com a sua lei em 1738.

<sup>29</sup> Henry Darcy, Engenheiro Hidráulico francês, publicou obra (*Les fontaines publiques de la Ville de Dijon*) com a sua lei em 1856.

onde  $g$  é a intensidade do campo gravítico e  $m$  a massa ou agente sensível ao campo gravitacional,  $z$  é a altura referente a uma cota de referência,  $v$  é a velocidade do fluido (água),  $p$  é a pressão a que o fluido está submetido e  $V$  é o volume. Pelo princípio da conservação da energia, esta permanece constante ao longo de uma linha de corrente, pelo que (eq. 23):

$$E = E_h + E_c + E_p \quad \text{Equação 23 – Energia total.}$$

Num fluido submetido ao mesmo campo gravitacional tem-se (eq. 24):

$$\text{Constante} = z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} \quad \text{Equação 24 – Energia total constante.}$$

onde  $\rho$  é a massa específica do fluido. A equação 24 não é mais do que a equação de Bernoulli. Como os termos são expressos em comprimentos, podem denominar-se alturas: altura de posição, altura de velocidade e altura de pressão, pela ordem com que surgem na eq. 24.

De acordo com FREEZE e CHERRY (1979, pp. 18-23) e VALLEJO *et al.* (2002, pp. 27-28), em mecânica de fluidos, é frequente expressar-se a energia num determinado ponto do fluido em movimento a partir do denominado Teorema de Bernoulli (eq. 25):

$$H = z + \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} \quad \text{Equação 25 – Teorema de Bernoulli.}$$

onde  $H$  é a carga hidráulica total, que se decompõe em três porções:  $z$  é a altura geométrica, que se mede a partir de um plano de referência,  $z = 0$ , seleccionado arbitrariamente,  $u/\gamma_w$  é a altura de pressão, sendo  $u$  a pressão de água no ponto considerado e  $\gamma_w$  o peso específico da água,  $v^2/2g$  é a altura de velocidade, onde  $v$  é a velocidade de fluxo no ponto considerado e  $g$  a aceleração da gravidade. Os dois primeiros termos representam uma energia de posição (potencial), e o terceiro termo corresponde a uma energia cinética. Os três termos possuem unidades de comprimento conforme já salientado.

Os conceitos de potencial de fluido (energia mecânica por unidade de massa) e carga hidráulica podem ser explicados à luz daquela equação. Assim, se se colocar a eq. 25 em termos de altura/carga tem-se (eq. 26):

$$h_T = h_z + h_p + h_v \quad \text{Equação 26 – Carga hidráulica.}$$

onde  $h_z$  é a altura de elevação,  $h_p$ , a altura de pressão,  $h_v$  a altura de velocidade, e  $h_T$  a carga total.

De acordo com RAMOS (2005b, p. 86) «No processo de infiltração no subsolo a água utiliza quatro tipos de espaços vazios, designados por: poroso; fissurado; cársico; vacuolar». No caso presente, é tratado o

meio poroso. O fluxo em meio não saturado é um exemplo de fluxo multifásico (ar e água) através de um meio poroso.

O mecanismo de transferência de água varia de acordo com solo: se está relativamente seco, adquirem importância os fluxos de vapor, muito influenciados por gradientes térmicos, se está relativamente húmido, adquirem importância os fluxos capilares em diferentes direcções. O fluxo em solo saturado ou não saturado faz-se, geralmente, na direcção do gradiente de potencial de água e no sentido do maior para o menor potencial; por outro lado, a força que faz mover a água em solo saturado é um gradiente de potencial de pressão positiva, e em solo não saturado a água encontra-se num ambiente de pressão subatmosférica, ou de sucção, correspondente a um gradiente de potencial de pressão negativa.

### 3.4.1.1 Zona saturada, zona não saturada/insaturada e zona de tensão saturada/capilar

De acordo com a síntese para a zona saturada, insaturada e capilar, apresentada por FREEZE e CHERRY (1979, p. 44), a zona saturada caracteriza-se por:

- 1- Ocorrer sob o nível piezométrico;
- 2- Os poros do solo estão preenchidos com água e o teor de humidade  $\theta$  iguala a porosidade  $n$ ;
- 3- A pressão de fluido  $p$  é maior do que a atmosférica, pelo que, a altura de pressão<sup>30</sup>  $\Psi$  (medição como medida de pressão) é maior do que zero;
- 4- A altura hidráulica  $h$  deve ser medida com um piezómetro;
- 5- A condutividade hidráulica  $K$  é uma constante, não é uma função da altura de pressão  $\Psi$ .

De acordo com FERNANDES (2006, pp. 151-152) «A altura de água no piezómetro acima do ponto onde a base deste está instalada,  $h_w$ , designa-se por altura piezométrica. À altura daquele ponto,  $z$ , acima de um dado plano horizontal de referência (arbitrariamente fixado) chama-se cota geométrica. À soma da cota geométrica com a altura da cota piezométrica dá-se o nome de cota piezométrica (eq. 27):

$$h = z + h_w$$

**Equação 27** – Cota piezométrica.

e representa a energia potencial da água por unidade de peso em cada ponto. Esta energia engloba assim duas parcelas: i) a primeira,  $z$ , corresponde à energia potencial de posição; ii) a segunda,  $h_w$ , está associada ao estado de compressão a que a água está sujeita (...). Ainda em relação ao mesmo aspecto, mas por outras palavras, e conforme OLIVEIRA, 2003, p. 2, «Todo o escoamento subterrâneo, onde se inclui o da zona vadosa e o da zona saturada é condicionado pela altura ou carga piezométrica. Na sua forma mais simples (após simplificações que consideram fluido incompressível, velocidade lenta, etc.), a altura piezométrica ( $h$ ) é dada por (eq. 28):

---

<sup>30</sup> Altura de água acima do ponto de medição da altura piezométrica.

$$h = \psi + z$$

**Equação 28** – Cota piezométrica.

sendo  $\psi$  a altura de pressão (altura de água acima do ponto de medição da altura piezométrica) e  $z$  a altitude do ponto de medição. FERNANDES (2006, pp. 151-152) refere que «Tendo em conta que nos maciços terrosos a velocidade com que a água se desloca é muito baixa, a energia cinética por unidade de peso é extremamente reduzida, pelo que pode ser desprezada. Em consequência, a energia potencial é praticamente igual à energia mecânica total, isto é, à carga hidráulica (*hydraulic head*) (...). Representa a perda de carga hidráulica entre 1 e 2.» (eq. 29):

$$\Delta h = h_1 - h_2$$

**Equação 29** – Carga hidráulica.

Relacionado com a carga hidráulica, tem-se o conceito de carga piezométrica (*piezometric head*), que é a parte da carga hidráulica correspondente à soma das energias de posição e de pressão. Fisicamente, expressa-se pela altura da água num poço e corresponde à energia potencial, considerando que normalmente as velocidades de fluxo das águas subterrâneas são muito pequenas, pelo que, o termo da carga de velocidade é desprezível, conforme já salientado, ou seja, cargas piezométrica e hidráulica são coincidentes. É sinónimo de carga hidrostática.

Por outras palavras, de acordo com VALLEJO *et al.* (2002, p. 30), no contexto da carga hidráulica da água, uma característica típica do fluxo de água, no solo, é a sua reduzida velocidade de circulação. Um valor elevado de velocidade seria na ordem dos 0,6 m/minuto ( $10 \text{ mm.s}^{-1}$ ), o que daria lugar a uma altura de velocidade,  $v^2/2g$ , extremamente pequena, de somente  $5 \times 10^{-6}$ . É um valor pouco significativo comparativamente aos termos  $z$  e  $u/\gamma_w$ , e é inclusive bastante menor que a precisão necessária para medir a altura geométrica  $z$  de um determinado ponto (Lambe e Whitman, 1979), pelo que, na prática, a eq. 26 da carga hidráulica pode ser simplificada a um binómio equivalente ao cálculo da altura piezométrica (eq. 30), em condições de repouso (hidrostáticas):

$$H = z + \frac{u}{\gamma_w}$$

**Equação 30** – Teorema de Bernoulli simplificado.

A transferência de água processa-se no sentido do decréscimo da energia mecânica, entropicamente transformando-a em calorífica, isto é, através de alturas pizométricas elevadas em direcção a alturas piezométricas reduzidas, ou seja, potenciada por determinado gradiente hidráulico, isto é, através de perda de carga (altura pizométrica) entre dois pontos por unidade de comprimento, ao longo de uma linha de corrente (eq. 31):

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

**Equação 31** – Gradiente hidráulico ou piezométrico.

onde  $i$  é o gradiente hidráulico ou piezométrico que resulta da diferença de altura,  $\Delta h$ , por unidade de comprimento  $L$ .

A zona insaturada (ou zona vadosa ou de aeração) caracteriza-se por:

- 1- Ocorre sobre o nível piezométrico e franja capilar;
- 2- Os poros do solo estão parcialmente preenchidos com água, o teor de humidade  $\theta$  (assume valores negativos e relaciona-se com forças electroquímicas (adsorção e capilaridade) que retêm a água) é inferior à porosidade  $n$ ;
- 3- A pressão de fluido  $p$  é inferior à atmosférica, a altura de pressão  $\Psi$  é inferior a zero;
- 4- A altura hidráulica  $h$  deve ser medida com um tensiómetro;
- 5- A condutividade hidráulica  $K$  e o teor de humidade  $\theta$  são ambos função da altura de pressão  $\Psi$ .

Ou seja, resumidamente, para fluxo saturado,  $\Psi > 0$ ,  $\theta = n$  e  $K = K_0$  (condutividade hidráulica saturada); para fluxo não saturado,  $\Psi < 0$ ,  $\theta_{(\Psi)}$ , e  $K = K_{(\Psi)}$ . À medida que a água livre no solo vai diminuindo, o valor da energia da água baixa e quando a drenagem pára ( $\Psi_g = 0 \rightarrow$  solos não saturados), apenas temos água retida ( $\Psi_h = \Psi_m (<0) + \Psi_0 \Rightarrow$  negativo).

Por outro lado, considerando a lei de Darcy, estendida ao fluxo em solo insaturado, aquela denomina-se equação de Richards (1931) (eq. 32):

$$q = -K(\Psi) \frac{\Delta\Psi}{\Delta z} \quad \text{Equação 32} - \text{Carga hidráulica.}$$

onde  $q$  é o fluxo (L/T) e  $\Delta\Psi$  é o aumento do potencial da água entre os dois pontos distanciados  $\Delta Z$ . A condutividade,  $K$ , é agora função do potencial matricial. VARENNES (2003, p. 114) refere que «Na maior parte das situações, o movimento de água dá-se em solos insaturados, em que os poros maiores estão preenchidos com ar e apenas os de menores dimensões continuam com água. O movimento de água depende neste caso do gradiente de potencial matricial existente entre duas zonas do solo. A tortuosidade do percurso aumenta extraordinariamente, por comparação com um solo saturado, devido ao movimento da água não ser feito nos poros maiores. Por isso, a condutividade hidráulica dum solo saturado é milhares de vezes maior do que a condutividade do mesmo solo a potenciais matriciais da ordem de -10 kPa ou menos, característicos do fluxo em solos insaturados...».

De acordo com OLIVEIRA (2003, pp. 2-4), «Assumindo como aplicável a lei de Darcy, o movimento de água unidimensional através de uma coluna vertical de zona vadosa, expressa-se matematicamente pela relação (eq. 33):

$$v = \frac{Q}{A} = -K(\Psi) \frac{dh}{dz} = -K(\Psi) \frac{d\Psi}{dz} - K(\Psi) \quad \text{Equação 33} - \text{Velocidade aparente da água (meio saturado).}$$

onde  $v$  é o fluxo específico ou velocidade de Darcy,  $Q$  é o caudal que passa numa secção de área  $A$  perpendicular à direcção de fluxo,  $K(\Psi)$  é a condutividade hidráulica [L/T], e  $z$  representa a direcção vertical com sentido positivo descendente.

Todavia, os processos supra-mencionados deverão ser entendidos à luz da lei da equação da continuidade, que por sua vez, traduz a lei da conservação da massa que, a uma dimensão (vertical) se representa por (OLIVEIRA, 2003) (eq. 34):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial v}{\partial z} - P_s$$

**Equação 34** – Conservação da massa.

onde  $\theta$  é o teor de humidade [L<sup>3</sup>/L<sup>3</sup>],  $t$  é o tempo e  $P_s$  é a água extraída pelas plantas para o seu desenvolvimento [L<sup>3</sup>/L<sup>3</sup>/T].

Por último, a zona da franja capilar (também denominada zona de tensão saturada) caracteriza-se por (FREEZE e CHERRY, 1979, p. 44):

- 1- Ocorrer sobre o nível piezométrico;
- 2- Os poros do solo estão preenchidos com água;
- 3- A altura de pressão  $\Psi$  é inferior à atmosférica a  $\Psi_a$  (altura de pressão de entrada de bolhas de ar) < 0. É a existência de  $\Psi_a < 0$  a responsável pela existência de uma franja capilar. A  $\Psi_a$  é o valor de  $\Psi$  que existe no topo da zona de tensão saturada, que por possuir valores negativos superiores em solos argilosos do que em solos arenosos, desenvolvem-se naqueles de textura fina zonas de tensão saturada mais espessas do que nestes de textura grossa.

### 3.4.1.2 Estado energético da água no solo

O conceito de potencial de água ( $\Psi$ ) significa que as moléculas de água líquida movem-se no interior do líquido a velocidades bastante elevadas. Esta energia cinética quando considerada em conjunto (energia livre) representa a capacidade da água para se difundir ou se dispersar num grande volume. A energia livre por unidade de volume aumenta com a temperatura ou pressão e diminui quando a temperatura ou pressão são reduzidas. A energia livre também diminui quando a água se liga por intermédio de cargas eléctricas a superfícies ou solutos. Como a água, em sistemas complexos como o solo ou plantas, está sujeita a forças de atracção de superfícies e solutos o  $\Psi$  é negativo.

VARENNE (2003, pp. 48-51) refere que o teor de água no solo pode ser expresso sob a forma de teor gravimétrico de água ( $W$ ) correspondente à massa de água por unidade de massa de solo seco, frequentemente expresso em percentagem; sob a forma de teor volumétrico de água ( $\theta$ ), correspondente ao volume de água por unidade de volume de solo, geralmente expresso em percentagem (num solo saturado é igual à porosidade, ou mesmo superior em solos argilosos, por estes aumentarem de volume quando húmidos); sob a forma de grau

de saturação ( $s$ ), que representa a relação entre o volume de água e o volume de poros, sendo que varia entre 0 num solo seco a 1 num solo saturado (ou 0 a 100%); sob a forma de profundidade (altura) ou volume de água existente a determinada profundidade de solo a dividir pela área considerada, expresso, vulgarmente, em mm como a precipitação. Segundo a mesma autora, o potencial de água no solo exprime a capacidade da água para realizar trabalho (como movimento), deslocando-se das zonas de mais alto para as de mais baixo potencial. O potencial de água corresponde ao potencial químico da água no sistema, à mesma temperatura e a determinada altitude, sendo igual à soma do potencial de pressão ( $\Psi_p$ ), do potencial matricial ( $\Psi_m$ ), e do potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) (eq. 35):

$$\Psi = \Psi_p + \Psi_m + \Psi_s$$

**Equação 35** - Potencial de água.

O potencial de pressão deriva da pressão hidrostática exercida pela água, sendo positivo em solos saturados ou nos aquíferos, no caso do potencial matricial ser zero, por outro lado, em solo insaturados é igual a zero. O potencial matricial é negativo (ou zero num solo saturado) e mede / quantifica a predisposição da matriz do solo para se unir a mais moléculas de água. Deriva da tensão superficial da água e forças de adsorção; com significância em solos insaturados e na quantidade de água disponível para as plantas e circulação de água no solo. O potencial osmótico resulta da presença de partículas dissolvidas, sendo negativo (ou zero na água pura), uma vez que as substâncias vão diminuir o potencial químico da água, todavia, é um aspecto secundário para a circulação da água no solo, pois refere-se à difusão de substâncias dissolvidas (importantes do ponto de vista agronómico). O potencial gravitacional refere-se à acção da força da gravidade sobre a água, sendo importante para compreender o movimento da água após uma chuvada intensa, quando o solo fica saturado.

FERNANDES (2006, pp. 202-203) menciona que «Num líquido, uma molécula que se encontre à superfície sofre uma atracção mais intensa no sentido do interior, onde existe maior número de moléculas. Como consequência, a superfície do líquido comporta-se como se fosse uma membrana elástica tensa em todas as direcções pela chamada tensão superficial. Esta, por não depender da direcção, é uma grandeza escalar e tem as dimensões de uma força por unidade de comprimento. Para água em contacto com ar, esta força,  $T$ , vale aproximadamente  $7,3 \times 10^{-2}$  N/m. Uma das consequências da tensão superficial é a capilaridade. (...) a altura de ascensão capilar é tanto maior quanto menor é o raio do tubo capilar: a resultante da tensão superficial é proporcional a  $r$  enquanto o peso da coluna de líquido (que por aquela tem de ser equilibrada) é proporcional a  $r^2$ .». Sobre o mesmo assunto, U.S.D.A. (1978) refere que a água subterrânea sobe pelos interstícios capilares por tensão superficial até uma determinada altura acima do nível freático, dependendo da dimensão, forma e composição das paredes dos vazios. O limiar superior da dimensão dos vazios de capilaridade encontra-se na vizinhança de cerca de 3 mm. Numa situação de equilíbrio, quando a água atinge a franja capilar, a partir de cima, por gravidade, o escoamento irá gerar a descarga imediata de uma quantidade de água equivalente para a zona de saturação, levando à ascensão no nível freático. Nos quadros 32 e 33 apresentam-se valores típicos de ascensão capilar.

Não obstante não se aplique nesta dissertação, apresenta-se uma fórmula de calcular a elevação capilar média num meio poroso, de acordo com CUSTODIO e LLAMAS (1983, p. 557), tendo em conta um valor que defina o tamanho do grão, de forma expedita através da eq. 36:

$$h_c = \frac{c}{e \cdot D_{10}}$$

**Equação 36** – Elevação capilar média num meio.

Onde  $c$  é uma constante que varia entre 0,1 e 0,5 cm<sup>2</sup>,  $e$  é o índice de vazios<sup>31</sup> e  $D_{10}$ <sup>32</sup>.

**Quadro 32** - Valores típicos de ascensão capilar da humidade.

Textura do solo	Altura da ascensão capilar (cm)	Tipo de solo	$h_c$ (cm)
#	#	Cascalhos	Praticamente nula
Areia Grossa	1,3 - 5,1	Areias	10 a 100
Areia	12,7 - 35,6		
Areia Fina	35,6 - 71,1		
Silte	71,1 - 152,4	Siltos	100 a 1000
Argila	152,4 - 406,4 ou mais	Argilas	> 1000

Fonte dos dados: U.S.D.A. (1978, p. 1-3). Fonte dos dados: FERNANDES (2006, p. 205).  
Nota:  $h_c$ : altura da ascensão capilar.

**Quadro 33** - Valores típicos de ascensão capilar máxima em terrenos e solos (Ext. CUSTODIO e LLAMAS, 1983, p. 557).

Materiais	Diâmetro $d_{10}$ (mm)	Ascensão capilar $h_c$ (cm)	Observações		
Argila	0,0005	3060	2		
Argila	0,005 a 0,001	610 a 3050	1	200 a 400 cm	5
Solo argiloso		200 a 400	4		
Silte	0,05 a 0,005	61 a 610	1	70 a 150 cm	5
Solo arenoso		100 a 150	4		
Solo podzólico		35 a 40	4		
Areia fina		12 a 61	1	35 a 70 cm	5
Areia média		12 a 35	5		
Areia grossa	2,00 a 0,025	12 a 15	1	2 a 5 cm	5
Calcários e arenitos fracturados		120 a 450	3		

Legenda das observações: 1 – Tschobotarioff (1951) em Schoeller (1962), p. 60; 2 – Terzaghi (1925) em Schoeller (1962), p. 60; 3 – Dienert (1940 e 1941) em Schoeller (1962), p. 60; 4 – Polubarinova-Kochina (1952), p. 19; 5 – Siilin-Bekchurin (1958) em Harr (1962), p. 10.

### 3.4.2 Cartografia do hidrodinamismo dos sistemas aquíferos

Para ter em consideração as condições de circulação da água na zona vadosa e saturada (construção da cartografia do hidrodinamismo dos sistemas aquíferos) foi necessário o tratamento e análise da informação das captações de água para consumo humano da área de estudo, envolvendo a digitalização de dados alfanuméricos para ambiente SIG e construção de gráficos (teve-se como referência o relatório de OLIVEIRA *et al.*, 1997). De facto, a C.M.S.M. não possui um banco de dados digital e georreferenciado com o posicionamento

<sup>31</sup> Índice de vazios: volume de vazios dividido pelo volume de material sólido:  $e = m/(1-m)$ , onde  $m$  é a porosidade.

<sup>32</sup>  $D_{10}$ : Diâmetro do grão eficaz, ou seja, um diâmetro tal que só 10% do peso do material possui diâmetro menor. Isto é, corresponde ao tamanho do grão não superado pela percentagem (10%) das partículas. De acordo com FERNANDES (2006, p. 435), corresponde ao diâmetro efectivo, dimensão correspondente a 10% de material passado numa curva granulométrica.

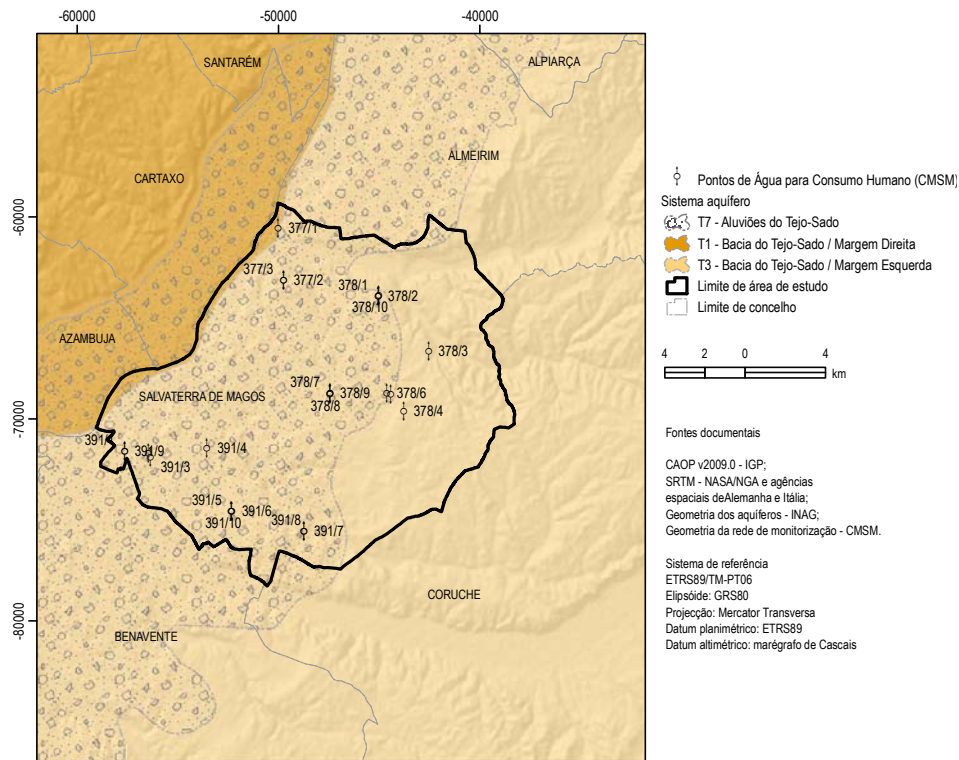
e rochas atravessadas pelos furos de captação de água para consumo humano, pelo que houve a necessidade de recolher, tratar e cartografar a informação. O resultado foi um sistema gestor de base de dados com ficheiros alfanuméricos. Os ficheiros criados encontram-se codificados para poderem cruzar através de uma chave-primária com a componente gráfica num SIG. Considerando que os níveis piezométricos encontram-se abaixo do aquífero superficial (o que significa que pode existir drenância, com maior ou menor magnitude), interessa observar a posição dos tubos ralos e descrição litológica dos 15 perfis litológicos retirados dos relatórios hidrogeológicos (anexo A.9, A.10 A.11). As características dos pontos de água encontram-se no quadro 34 e fig. 57.

**Quadro 34 – Pontos de água da C.M.S.M (Fonte dos dados: C.M.S.M., 2009).**

Cód.	No-me	DICO-FRE	Alt. (m)	Sistema de Referência (ETRS89-PT-TM06)		Sistema Aquífero	Prof. Captação (m)	Caudal recomendado (l/s)	Piezometria				
				X (m)	Y (m)				NHE		Prof. Topo Aquíf. (m)	Data de Medição	Hora de Medição
									Cota 0 (m)	Cota topog./ Prof. (m)			
377/1	JJ1	141503	8,5	-50034,4	-60542,1	T3 (1)	60	-999	-999	-999	-999	-999	999
377/2	JK1	141503	19	-49755,5	-63121,1	T3 (1)	73	15	5,2	13,8	-999	-999	999
377/3	CBR1	141503	19	-49773,5	-63104,5	T3	162	15	3,3	15,7	48	-999	999
378/1	FR1	141506	47,5	-45072,3	-63909,7	T3	150	15	5	42,5	31	28/12/1998	13:00
378/2	PS1	141506	47,5	-45061,1	-63905,1	T3	127	12,5	6,97	40,53	26	-999	999
378/3	FR1	141501	53	-42560,5	-66614,7	T3	170	25	5,26	47,74	74	08/10/2001	15:00
378/4	FR2	141501	78	-43794,3	-69614,7	T3	250	35	8,94	69,06	73	02/04/2004	10:00
378/5	CBR1	141501	51	-44458,1	-68787,9	T3	183	25,5	-999	-999	65	-999	999
378/6	FR1	141501	49,5	-44641,1	-68729,5	T3	170	25	7,1	42,4	68	22/08/1990	18:00
378/7	PS1B	141502	30	-47453,3	-68722,8	T3 (1)	170	41	-999	-999	-999	-999	999
378/8	CBR1	141502	30	-47478,0	-68747,6	T3	153	30	-2	32	52	1998 (?)	999
378/9	CBR1	141502	30	-47448,6	-68710,5	T3	201	50	-4,31	34,31	38	08/2008	999
378/10	CBR1	141506	47	-45039,9	-63868,1	T3	190	25	-6	53	38	08/2008	999
391/1	AJ1	141504	14,5	-57655,6	-71586,9	T3	179	25 a 30	-13,4	27,9	90	2002 (?)	999
391/2	FR1	141504	13,5	-56482,9	-71697,1	T3	160	40	0	13,5	97	13/05/1998	19:00
391/3	PS2	141504	13,5	-56365,6	-71902,0	T3	170	50	-4,66	18,16	98	1993	999
391/4	FR1	141505	23	-53560,8	-71416,2	T3	178	30	-7	30	83	22/08/2001	18:00
391/5	FR1	141505	35	-52337,4	-74579,4	T3	203	35	3	32	52	05/04/1999	16:30
391/6	PS4	141505	35	-52331,5	-74566,8	T3 (1)	181	30	4,2	30,8	-999	-999	999
391/7	JK5	141505	39	-48753,0	-75563,9	T3 (1)	130	5,2	9,5	29,5	-999	-999	999
391/8	FR1	141505	39	-48738,3	-75557,9	T3	144	15,3	5	34	64	17/11/1998	15:10
391/9	AJ2	141504	14,5	-57652,8	-71577,5	T3	126	10 a 12,5	-13,3	27,8	97	2002	999
391/10	CBR1	141505	35	-52364,8	-74577,9	T3	226	50	-0,4	35,4	51	08/2008	999

Legenda: 999 = sem dados; (1) = por comparação com características de pontos de água próximos.

As captações que deverão extrair maior quantidade de água (caudal recomendado) correspondem aos furos 378/9, 391/3 e 391/10 (50 l s<sup>-1</sup> ou 180 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>), seguidos dos furos 378/7, 391/2 (40 l s<sup>-1</sup> ou 144 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>), e 378/4 e 391/5 (35 l s<sup>-1</sup> ou 126 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>), o que teoricamente implica (caso ocorra extracção sincronizada) que possa existir, maior volume de água captado na área das freguesias de Salvaterra de Magos e Foros de Salvaterra.



**Figura 57** – Localização dos pontos de água de abastecimento público da C.M.S.M. (furos verticais).

Os valores de piezometria correspondem a dados de ensaios de caudal aquando da construção das captações de água. Os sistemas aquíferos captados foram identificados através da interpretação de relatórios técnicos de sondagens hidrogeológicas para pesquisa e eventual captação de águas subterrâneas, tendo como critérios a sequência litoestratigráfica (profundidade de estratos/camadas de balastro/fenoclasto como referência para a base de T7; profundidade de areias, grés/arenito para o suporte de T3) e as referências MENDONÇA (1990); BARBOSA (1995); SIMÕES (1998); MARTINS (1999, pp. 335-339), que considera «como limite inferior do terraço de Alpiarça, a última camada de arenitos com seixos e calhaus rolados, ou um limite muito próximo da base daqueles conglomerados. Estes deverão definir a “fronteira” entre a sequência aluvial do terraço e os depósitos miocénicos da bacia.»; INAG (1997, 2001) e ALMEIDA *et al.* (2000a,b). A geometria dos aquíferos foi obtida a partir do SNIRH/INAG. A utilização desta informação permitiu fazer uma análise qualitativa da zona saturada e não saturada.

Para a cartografia dos níveis piezométricos, houve o cuidado de seleccionar os níveis hidrostáticos de subunidades aquíferas correspondentes ao Sistema Aquífero de Margem Esquerda (T3) ou ao Sistema Aquífero Aluviões do Tejo (T7), ambos da Unidade Hidrogeológica da Bacia do Tejo-Sado. O quadro 35 apresenta os dezassete pontos de medição seleccionados. Os valores de piezometria correspondem à média aritmética das séries de valores, com excepção dos valores dos poços e captações da C.M.S.M..

**Quadro 35** – Pontos de medição piezométrica. (Fonte dos dados: URL: <http://snirh.pt>; consulta em: 16/11/2009; Levantamento de campo).

Código	Nome	Altitude (m)	Sistema de Referência (ETRS89-PT-TM06)		Sistema Aquífero	N.º de valores	Data de Início	Data Final	Piezometria		Observações
			X (m)	Y (m)					NHE		
									Cota topog./Prof. (m)	Cota 0 (m)	
364/-		2	-48700,2	-58194,6	T7 – Aluviões do Tejo	1	07/12/2009	07/12/2009	2	0	Fonte: Informação do Proprietário (Furo vertical)
365/-		17,3	-47824,1	-58846,7		1	07/12/2009	07/12/2009	1,1	16,2	Fonte: Levantamento de campo (Poço)
365/-		18,85	-47796,7	-58847,1		1	07/12/2009	07/12/2009	1,1	17,8	Fonte: Levantamento de campo (Poço)
377/86	AC1	6	-55498,0	-65647,9		55	14/06/2002	24/09/2009	5,3	0,7	Fonte: SNIRH/INAG (Furo vertical)
377/94		23	-51418,0	-65817,9		195	1/3/1979	18/09/2008	4,3	18,7	Fonte: SNIRH/INAG (Poço)
391/-		15	-56875,1	-73428,6		1	24/04/2009	24/04/2009	0,5	14,5	Fonte: Levantamento de campo (Poço)
391/243	AC1	10	-54257,8	-78707,8		76	1/12/1999	24/09/2009	3,6	6,4	Fonte: SNIRH/INAG (Furo vertical)
391/33		25	-53077,9	-73847,9		198	1/3/1979	18/09/2009	8,5	16,5	Fonte: SNIRH/INAG (Poço)
391/437	PZ8	11	-55983,9	-74942,9		22	14/05/2003	24/09/2009	13,5	-2,5	Fonte: SNIRH/INAG (Furo vertical)
365/71		90	-40119,3	-57527,7		T3 – Bacia do Tejo-Sado /Margem Esquerda	120	11/11/1984	5/5/1994	9,7	80,3
391/403	FR1	35	-52067,9	-74837,8	17		1/12/1999	12/6/2002	34,8	0,2	Fonte: SNIRH/INAG (Furo vertical)
392/117		68	-32768,0	-76407,5	1		15/01/2005	15/01/2005	22,3	45,8	Fonte: SNIRH/INAG (Poço)
392/177	PZ6	47	-44951,9	-77450,7	47		28/05/2003	18/09/2009	21,9	25,1	Fonte: SNIRH/INAG (Furo vertical)
392/29		42	-47208,9	-76657,7	125		13/03/1979	13/05/1994	19,3	22,7	Fonte: SNIRH/INAG (Furo vertical)
392/31		91	-39788,0	-72417,6	116		1/3/1979	18/09/2009	15,2	75,8	Fonte: SNIRH/INAG (Poço)
405/51		32	-51047,8	-81737,8	121		11/10/1979	13/05/1994	18,1	13,9	Fonte: SNIRH/INAG (Furo vertical)
405/52		30	-51057,8	-81977,8	93		1/10/1974	25/09/2008	3,1	26,9	Fonte: SNIRH/INAG (Poço)

A representação cartográfica dos mesmos pontos de medição (quadro 33) encontra-se na fig. 58.

Para a elaboração da cartografia piezométrica, seleccionou-se o atributo correspondente ao nível estático ou hidrostático (NHE) que representa um nível piezométrico, sem extracções de água activas. Recorreu-se a interpolação espacial através do algoritmo da Distância Inversa Ponderada (*Inverse Distance Weight - IDW*), por apresentar resultados satisfatórios e devido à reduzida dimensão da amostra (inferior a 30 para simular a superfície por *krigagem*). O *IDW* executa uma interpolação baseada na combinação de todos os valores, ponderada de forma inversamente proporcional à distância. Quando se utiliza ponderação, quanto maior é o valor de uma qualquer potência da distância, para construção da ponderação, mais próximo o resultado é uma interpolação com polígonos de Voronoi, em que a cada ponto é associado o valor do mais próximo valor conhecido (MATOS, 2001, pp. 122-123). É um método determinístico local (de interpolação de função local), que incide sobre porções do mapa, em que a influência local diminui com a distância e se dá maior peso aos valores mais próximos. Considerando a anisotropia do fenómeno, e poucos dados, teve-se como critério para a execução deste preditor uma potência de 3 para mínimo de 10 pontos de amostragem de forma a minimizar o

aparecimento de *duck-egg*, vide BURROUGH e MCDONNELL (1998). Todavia, salienta-se a necessidade de futuramente incorporar na base de dados uma amostragem mais vasta e homogênea.

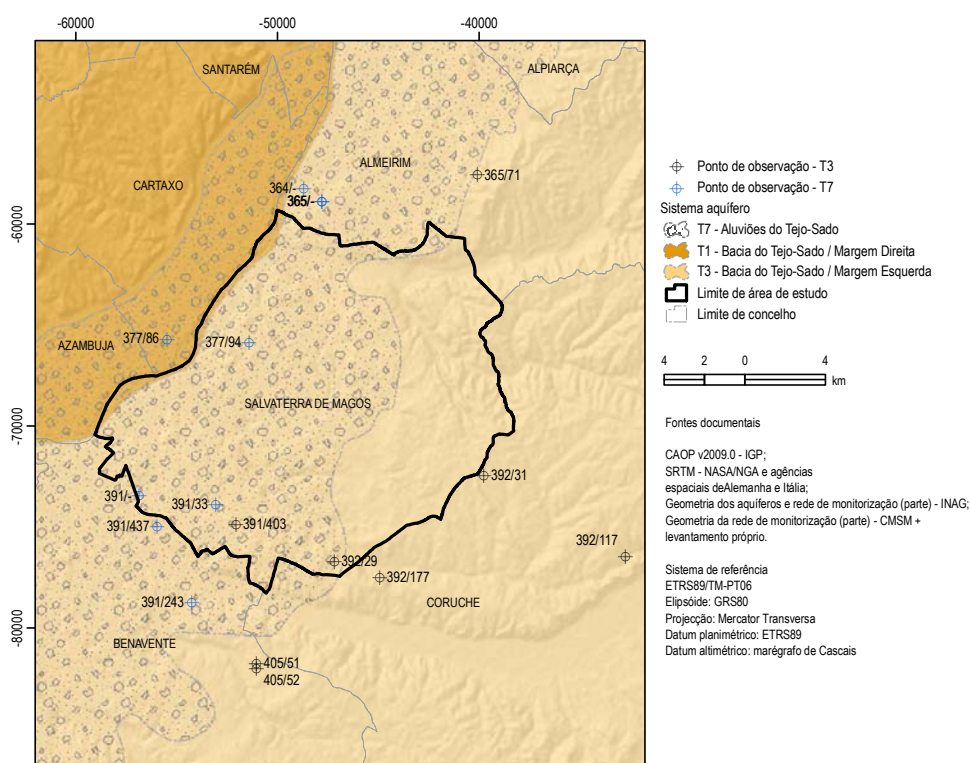


Figura 58 – Localização dos pontos de medição piezométrica.

Se a piezometria demonstra a energia potencial do aquífero, a profundidade elucida sobre a maior ou menor chance de determinado aquífero, ou porção do mesmo, ser recarregado ou contaminado, directamente a partir da superfície terrestre, pelo que, outra das variáveis utilizadas foi a profundidade do topo do aquífero, que condiciona a possança de rocha (zona insaturada/vadosa) que a água tem de atravessar para recarregar o aquífero.

Se o aquífero é livre (como é frequente com o sistema aquífero T7), a profundidade é a distância vertical ao nível freático; se o aquífero é confinado (como é mais frequente com o sistema aquífero T3, na área de estudo), a profundidade é a distância ao topo do aquífero. Estas medidas podem ser obtidas a partir de captações de água (poços ou furos) ou piezómetros para aquíferos livres, e para os aquíferos confinados, por interpretação do tecto do aquífero através de colunas litológicas e posição de tubos ralos. Como referência para a interpretação utilizaram-se as notícias explicativas de ZBYSZEWSKI (1953) e ZBYSZEWSKI *et al.* (1968), as descrições de colunas litológicas de MENDONÇA (1990), MARTINS (1999) e SIMÕES (1998). Esta última autora fez a separação do Plisto-Holocénico do Pliocénico e Miocénico, admitindo que nas camadas plisto-holocénicas são predominantes cascalheiras com intercalações de argilas cinzentas, cuja sedimentação dá-se com uma certa continuidade na natureza dos depósitos para o Pliocénico; as camadas pliocénicas são de areias finas a

grosseiras, com raras intercalações argilosas, esbranquiçadas ou avermelhadas; as camadas miocénicas com níveis carbonatados (calcarenitos, calcários e argilas com restos de conchas) que, na margem esquerda do rio Tejo, surgem sempre por baixo das areias pliocénicas. A metodologia para determinar o topo do sistema aquífero T3 consistiu na representação gráfica da possança acumulada das camadas de rocha atravessados pela perfuração e posterior interpretação à luz da bibliografia especializada supramencionada, granulometria (classes texturais (isto é, as grandes classes granulométricas dos sedimentos não consolidados e que são argila, silte, areia e balastro/fenoclasto ou rudito) e cor. Neste relatório de investigação foi necessário digitalizar as características de vinte e três captações de água, entre as quais 18 possuem registo das rochas atravessadas, para se obter esta variável (anexo A.9 a A.11, cujos gráficos foram construídos com o *LogPlot* 2003<sup>33</sup>). O resultado consta no quadro 36 onde se apresentam as profundidades do topo do aquífero confinado (T3).

Não obstante se tratarem de sistemas aquíferos com variabilidade espacial horizontal e vertical, no que concerne ao tipo de aquífero, poderá ser simplificado conforme exposto, em livre ou confinado. No caso de aquífero semi-confinado ter-se-ia de obter a distância ao nível freático ou topo do aquífero, de acordo com as especificidades locais, ou então, caso haja um aquífero suspenso, a distância seria medida em relação ao nível freático do aquífero livre, salvo especificidades locais. A classificação da profundidade é baseada em cinco classes (quadro 37).

**Quadro 36** – Profundidade do topo do aquífero confinado (T3) (Fonte dos dados: C.M.S.M., 2009).

Código	Prof. Topo (tecto) Aquífero (m)	Idade provável do Substrato
377/1	-999	-999
377/2	-999	-999
377/3	48	Miocénico
378/1	31	Pliocénico
378/2	26	Pliocénico
378/3	74	Miocénico
378/4	73	Miocénico
378/5	65	Miocénico
378/6	68	Miocénico
378/7	-999	-999
378/8	52	Pliocénico
378/9	38	Pliocénico
378/10	38	Pliocénico
391/1	90	Miocénico
391/2	97	Pliocénico
391/3	98	Pliocénico
391/4	83	Pliocénico
391/5	52	Pliocénico
391/6	-999	-999
391/7	-999	-999
391/8	64	Miocénico
391/9	97	Miocénico
391/10	51	Pliocénico

**Quadro 37** - Classes de profundidade do topo do aquífero (freático ou confinado). (Modificado de ALLER *et al.* (1987) citado em OLIVEIRA *et al.* (1997, p. 175)).

Profundidade do topo do aquífero (m)	Classe	Código
< 1,5	Muito reduzida	4
1,5 – 10	Reduzida	3
10 – 30	Moderada	2
> 30	Elevada	1

<sup>33</sup> Software da RockWare Incorporated, versão de 2003.

Com a integração deste indicador pretende-se integrar o critério (que também está previsto na Lei) funcionamento hidráulico do aquífero, especialmente no que se refere a eventuais conexões hidráulicas, mecanismo de recarga e descarga e ao sentido do fluxo subterrâneo. Quanto mais perto o topo do aquífero estiver da superfície terrestre e maior a porosidade, maior é a probabilidade de haver sobrelevação do nível piezométrico por ascensão capilar e logo conexão hidráulica com cursos de água ou outras entidades geográficas, assim como, maior será a sua vulnerabilidade.

## **4 Usos e Ocupação do Território**

### **4.1 Determinação da densidade do edificado**

No cálculo da densidade do edificado seleccionaram-se os polígonos das edificações (cartografia topográfica na escala de 1/10K) com valor igual ou superior a 35 m<sup>2</sup> (área bruta mínima de um fogo, de acordo com o art.º 67.º do Regulamento Geral das Edificações Urbanas publicado pelo DL n.º 38382/1951, de 07/08 – RGEU (redacção do DL n.º 650/1975, de 18/11)), pelo que, dos 66893 polígonos foram utilizados 24618, excluindo-se, à partida, edificações com escassa relevância urbanística, vide art.º 2.º do DL n.º 555/1999, de 16/12 do Regime Jurídico da Edificação e da Urbanização – RJUE (alterado e republicado pela Lei n.º 26/2010, de 30/03), e cumulativamente, com reduzido impacte ambiental (ainda que o art.º 6.º-A refira 10 m<sup>2</sup>, tomou-se como base a área bruta mínima de fogo do RGEU).

Posteriormente, extraíram-se os centróides e determinaram-se densidades para um raio de pesquisa de 25 m (referência dos 50 de profundidade para determinar aglomerados urbanos, de acordo com o art.º 62.º/n.º 1, do DL n.º 794/1976, de 05/11 (Lei dos Solos) e com o art.º 3.º/n.º 4, do DL n.º 287/2003, de 12/11, que aprova, entre outros, o Código do Imposto Municipal sobre Imóveis (CIMI), publicado no anexo I).

De seguida, procedeu-se à classificação dos valores com base na média aritmética e desvio padrão como limite de classe.

## **5 Proposta metodológica**

A figura 59 apresenta sob a forma de fluxograma os procedimentos necessários para determinar a susceptibilidade hidrogeográfica à ocorrência de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos em meios porosos, dando um contributo para assegurar a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre.

São apresentadas duas propostas metodológicas. O método 1, que também pode denominar-se multicritério, a que corresponde uma cartografia com apenas duas classes, do tipo presença/ausência. O método 2, que pode denominar-se estatístico, que deriva do primeiro, mas possui a base estatística do valor informativo, permite avaliar o resultado e permite a divisão em classes.

Ambos os métodos são do tipo heurístico de base empírica/experimental e multicritério, e baseiam-se nos parâmetros do quadro 38 (valores areais antes da sobreposição, em relação à totalidade da área de estudo). A unidade litostratigráfica *Qf* foi incluída na classe de condutividade hidráulica elevada por se situar no terraço de Benfica do Ribatejo (T4) e constituir uma rampa estreita entre a planície aluvial e o terraço de Marinhais (T3), mas que chega a possui 1 km de extensão e declive de 1% na área de Escaroupim/Mata Nacional do Escaroupim, cujo substrato é semelhante ao do T3, conforme visto, do ponto de vista geomorfológico.

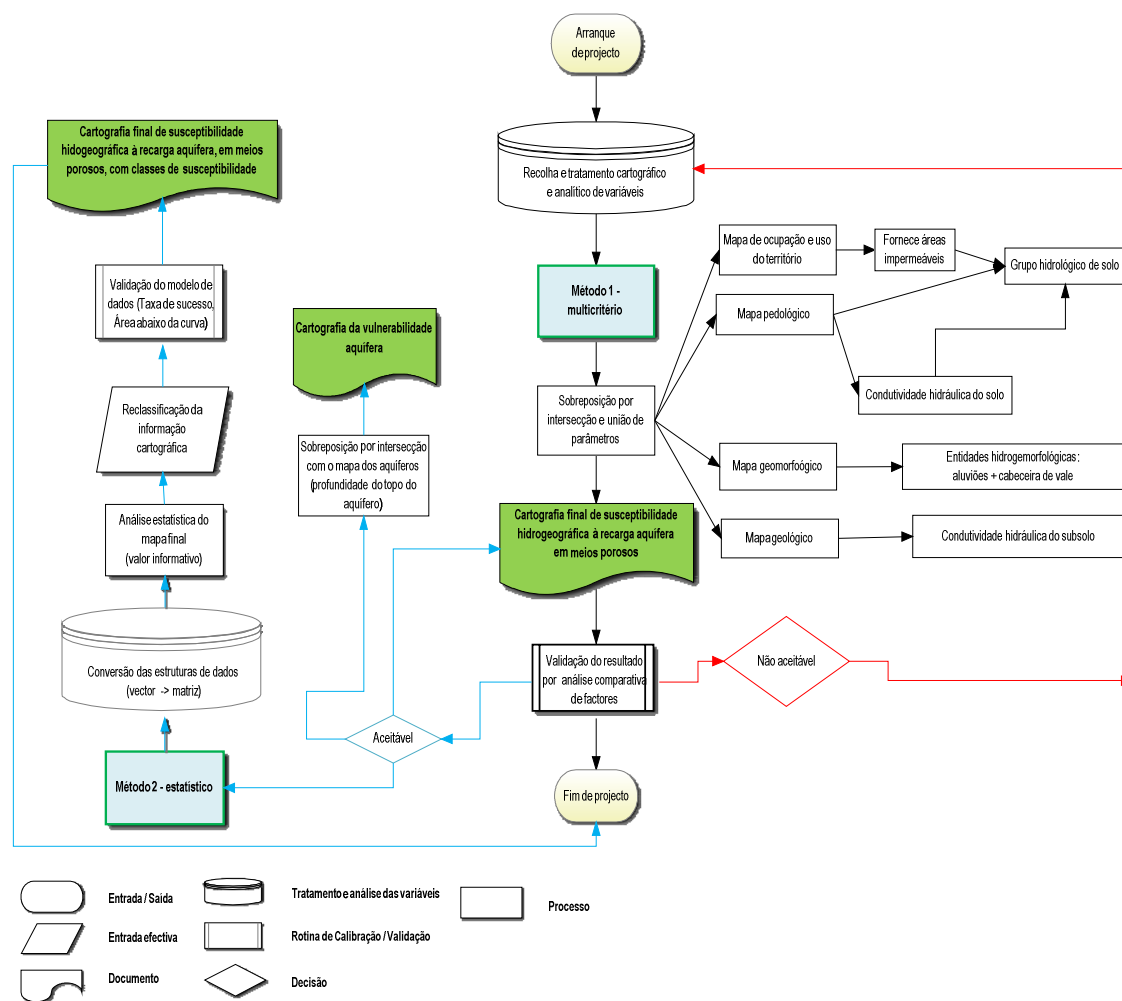


Figura 59 – Fluxograma da metodologia para a definição de cartografia da susceptibilidade hidrogeográfica de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos em meios porosos.

Quadro 38 – Parâmetros de entrada no modelo de dados.

Parâmetros	Entidades / Classes	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)
<b>Entidade Hidrogeomorfológica</b> (subtraída de áreas impermeabilizadas)	Aluviões + cabeceira de vale	45604034,0	18,7
<b>Condutividade hidráulica do subsolo</b>	Classe elevada	93647623,4	38,4
<b>Grupo hidroológico de solo</b>	A	86003495,0	35,3

Admite-se que a proposta metodológica aqui apresentada encontra-se, genericamente, de acordo com as abordagens metodológicas do estado da arte, porém, possui a especificidade de contemplar entidades hidrogeomorfológicas, derivadas de um mapa geomorfológico, num número restrito de variáveis ambientais, como sejam, para além das unidades hidrogeomorfológicas cabeceiras de vale e depósitos de aluviões (geomorfologia), a condutividades hidráulica das rochas (geologia), grupos hidrológicos de solo (pedologia), hidrodinamismo dos aquíferos, nomeadamente, piezometria e espessura da zona vadosa (hidrologia) para também atender à vulnerabilidade, e uso e ocupação do território para subtracção de áreas impermeabilizadas (operação de sobreposição com união geométrica em ambiente SIG em todos os parâmetros).

Além disso, a proposta de avaliação também promove a aplicação de uma abordagem, estatística. Com efeito, pode ser decomposta em duas metodologias, não obstante haja precedência para alcançar a metodologia estatística, pois tem de se resolver o método multicritério. A vantagem deste é nunca ser necessário alternar entre estrutura de dados; já o método estatístico possui a vantagem de ser mais estratégico na medida em que possibilita a divisão em classes mas de forma objectiva, incluindo uma avaliação quantitativa do modelo de dados.

## **1 Método multicritério**

As três variáveis de entrada, isto é, as entidades hidrogeomorfológicas aluviões e cabeceiras de vale, o GHS A e a classe de condutividade hidráulica do subsolo elevada (coberta pelo GHS A que define as áreas mais propensas/susceptíveis à infiltração, percolação e recarga) são sobrepostas através de uma operação em ambiente SIG de sobreposição por intersecção geométrica dos temas relacionados com o subsolo e grupo hidrológico de solo e posterior união do parâmetro relacionado com a geomorfologia (subtraída de áreas impermeabilizadas). A vulnerabilidade determina-se por sobreposição com união do tema da profundidade do nível hidrostático da água com o mapa do método multicritério.

Relativamente ao parâmetro litológico, importa saber se o mesmo se encontra coberto por solo com comportamento hidrológico que facilita ou dificulta a infiltração. Em caso afirmativo, e caso se esteja na presença de um aquífero que importa proteger, e se por exemplo as rochas sobrejacentes e subjacentes forem de fácies conglomerática ou arenítica (litofácies siliciclásticas) como sucede com a composição dos terraços fluviais T2, tipo Bilrete, estiverem cobertas por um GHS A, essa área deverá ser protegida.

## **2 Método estatístico**

Com vista a determinar classes de susceptibilidade é aplicado o método estatístico que tem como base de trabalho as áreas identificadas pelo método multicritério.

Transportado do quadro conceptual da susceptibilidade geomorfológica de movimentos de massa, o método enquadra-se num modelo de dados heurístico de base empírica/experimental e multicritério, que poderá denominar-se método estatístico e que se caracteriza por estabelecer uma diferenciação espacial da

possibilidade de ocorrência de recarga aquífera, baseada na análise comparativa das áreas geográficas que integram a área de estudo, através do tipo de método de avaliação relativa por indexação, que se caracteriza pela «...atribuição subjectiva de *scores* a um conjunto de factores de instabilidade passíveis de representação cartográfica. Os *scores* relativos a cada unidade de terreno são somados ou multiplicados, conduzindo a valores de susceptibilidade que, depois, podem ser divididos em classes.» (ZÊZERE, 2005, pp. 84-87). Os *scores* resultam do método estatístico bivariado método do valor informativo (eq. 37):

$$I_i = \text{LOG} \frac{S_i/N_i}{S/N} \quad \text{Equação 37 – Valor informativo da variável } i.$$

onde  $I_i$  é o valor Informativo da variável  $i$ ,  $S_i$  o número de unidades de terreno com movimentos de tipo  $y$ , no caso-vertente, o número de unidades de terreno com áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos (informação obtida a partir do mapa de susceptibilidade através do método multicritério), e com a presença da variável  $i$ ,  $N_i$  o número de unidades de terreno com a presença da variável  $i$ ;  $S$  o número total de unidades de terreno com movimentos de vertente, no caso-vertente, com áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos,  $N$  o número total de unidades de terreno na área de estudo. O valor informativo total de uma unidade de terreno  $j$  é assim determinado por (ZÊZERE, 2001, pp. 353-354) (eq. 38):

$$I_j = \sum_{i=1}^n X_{ji} \cdot I_i \quad \text{Equação 38 – Valor informativo da unidade de terreno.}$$

onde  $I_j$  é o valor informativo da unidade de terreno,  $n$  o número de variáveis,  $X_{ji} = 0$ , se a variável não está presente na unidade de terreno e  $1$  na situação contrária.

A susceptibilidade das unidades de terreno à ocorrência de um determinado tipo de movimento de vertente, à semelhança da susceptibilidade das unidades de terreno à ocorrência hidrogeográfica de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquífero, varia na relação directa do respectivo valor informativo total,  $I_j$ . O método permite a obtenção de *scores* de susceptibilidade. Cada factor do modelo é cruzado com o mapa final de susceptibilidade do método multicritério, de onde resultam *scores* para cada classe de cada variável. PIEDADE (2009, p. 45) refere que «Deste modo, a correlação entre variáveis de entrada no modelo não é tida em conta, o que, segundo ZÊZERE (2002), é talvez a falha mais significativa do método do Valor Informativo.»

Assim, o mapa de susceptibilidade é cruzado e validado com as áreas hidrogeográficas que foram identificadas para construir o modelo de dados baseado na identificação de temas cartográficos críticos (não negociáveis). «A utilização de modelos objectivos para a elaboração de cartografia de susceptibilidade tem a vantagem de permitir, posteriormente, uma análise quantitativa da eficácia dos resultados.» (GARCIA, 2002, p. 90). A forma de avaliação do modelo efectua-se avaliando o sucesso do modelo através da taxa de sucesso. GARCIA (2002, p. 90) também refere que «Na avaliação do sucesso analisa-se o ajuste do modelo aos dados, uma vez que os movimentos utilizados para calcular a susceptibilidade e validação dos mapas são os mesmos».

Na determinação de uma taxa de sucesso, o mapa de susceptibilidade é validado a partir do cruzamento com as mesmas áreas geográficas do mapa de susceptibilidade do método multicritério.

A taxa de sucesso permite a determinação do ajuste do modelo preditivo da susceptibilidade aos dados que lhe deram origem (credibilidade do modelo para explicar o fenómeno em causa) por intermédio do Rácio 1 (eq. 39) e 2 (eq. 40) (GARCIA *et al.* (2007, p. 271), e através do indicador área abaixo da curva (eq. 41):

$$\text{Rácio 1} = \frac{Us}{Ut} \times 100$$

**Equação 39** – Curva de sucesso: Rácio 1.

$$\text{Rácio 2} = \frac{Ums}{Um} \times 100$$

**Equação 40** – Curva de sucesso: Rácio 2.

sendo que, o rácio 1 relaciona o número de unidades de terreno seleccionadas ( $Us$ ) com o número total de unidades da área em estudo ( $Ut$ ), isto é, a percentagem da área estudada, geralmente representada no eixo das abcissas por ordem decrescente de susceptibilidade. O rácio 2 calcula a percentagem do fenómeno validado, relacionando o número de unidades seleccionadas com o fenómeno em questão ( $Ums$ ) e o número total de unidades afectadas pelo fenómeno na área estudada ( $Um$ ). Também podem servir para definir limites de classe que são demarcados com base na análise das rupturas de declive da curva de sucesso e dos valores que a originaram.

De acordo com GARCIA *et al.* (2007, pp. 277-278), a avaliação da qualidade preditiva global do método utilizado pode ser demonstrada recorrendo ao cálculo das «Áreas Abaixo da Curva (AAC)» (após construção da taxa de sucesso) vide Gorservski *et al.*, 2000; Bi & Bennett, 2003, através da eq. 41:

$$AAC = \sum_{i=1}^n \left[ (L_{s_i} - L_i) \times \frac{a_i + b_i}{2} \right]$$

**Equação 41** – Área abaixo da curva.

onde  $(L_{s_i} - L_i)$  é a amplitude da classe,  $a_i$  o valor da ordenada correspondente a  $L_i$ ,  $b_i$  o valor da ordenada correspondente a  $L_{s_i}$ . As AAC podem, teoricamente, variar entre 0 (mínima capacidade preditiva), e 1 (máxima capacidade preditiva). O valor de 0,5 representa o mínimo exigível a um modelo; isto é, por exemplo, com 70% da área estudada prever 70% do fenómeno. Porém, deve ter-se em conta que o valor total obtido através da eq. 41, não dispensa a respectiva interpretação dos valores de cada classe (análise sensitiva) (PIEIDADE, 2009, p. 49, de acordo com ZÊZERE *et al.*, 2005) e GARCIA *et al.*, p. 278).

# Capítulo IV – Avaliação da susceptibilidade hidrogeográfica à ocorrência de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos em meios porosos

A análise biofísica do território concretizou-se tendo por base parâmetros, indicadores e índices biofísicos (Plano Nacional da Política de Ambiente (RCM n.º 38/1995, de 21/04) e RAMOS PEREIRA *et. al.*, 1997, p. 6) onde: parâmetro, é considerado como uma grandeza quantificável (ou avaliada qualitativamente), é parte integrante do sistema ambiental; indicador, é considerado como o cruzamento de 2 ou mais parâmetros, permite contribuir para a caracterização do estado do ambiente; índice, é considerado como ponderação numérica dos indicadores ambientais, permite exprimir com um só valor numérico o estado do ambiente e a sua evolução no tempo.

## 1 Método multicritério

### 1.1 As variáveis de entrada

#### 1.1.1 Classes de condutividade hidráulica do subsolo

No que se refere às classes de condutividade hidráulica seleccionou-se a classe elevada por ser aquela que define as áreas geográficas que reúnem as melhores condições para o processo de recarga de aquíferos, especialmente do aquífero T7 (fig. 60).

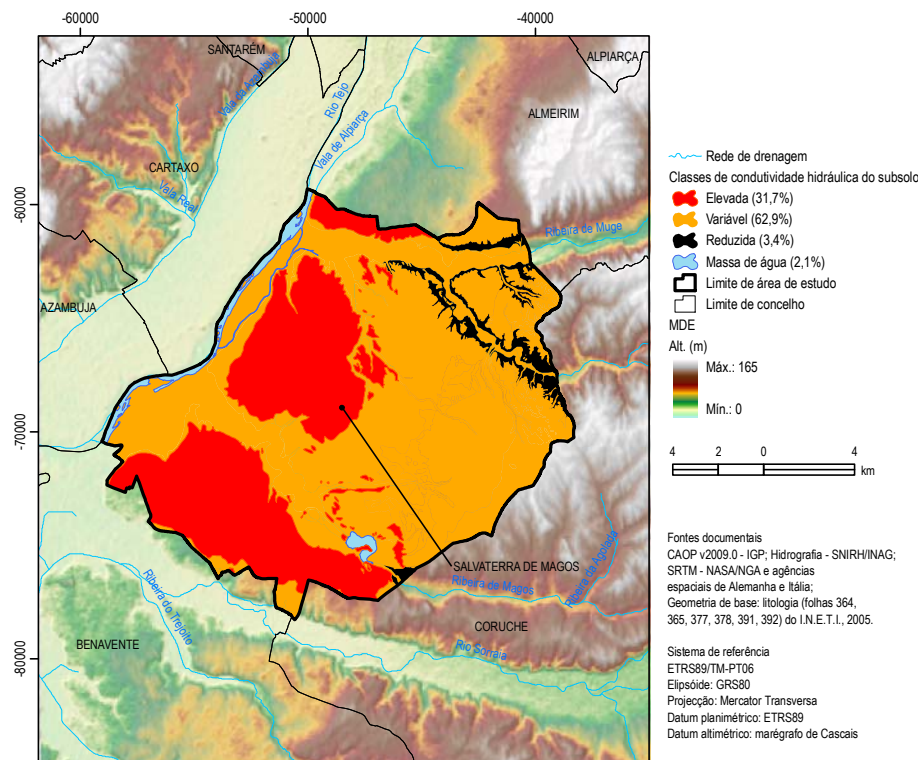


Figura 60 – Repartição geográfica da condutividade hidráulica do subsolo.

### 1.1.2 Entidades hidrogeomorfológicas (aluviões e cabeceiras de vale)

As entidades hidrogeomorfológicas aluviões e cabeceiras de vale, foram derivadas do mapa geomorfológico. Na figura 61 é apresentada a geometria destas áreas subtraídas das áreas impermeabilizadas.

Considerando a posição, forma e origem (onde se atende à composição, processos geradores e modificadores), estas entidades hidrogeomorfológicas, permitem, no que se refere às aluviões, salvaguardar uma área geográfica estratégica porque são locais onde existe ligação hidráulica por descarga, como não existe noutros locais, pelo que são únicas.

Por outro lado, a protecção das cabeceiras de vale permitem salvaguardar a manutenção da concentração de água e infiltração e percolação (potenciada pelos depósitos de cobertura, pois tratam-se também, de locais de concentração de sedimentos, na base) dos principais cursos de água, bem como, do escoamento fluvial para áreas jusante, onde ocorrerá infiltração e percolação, destacando-se também a sua importância na prevenção e redução de situações de cheias e inundações (fig. 61).

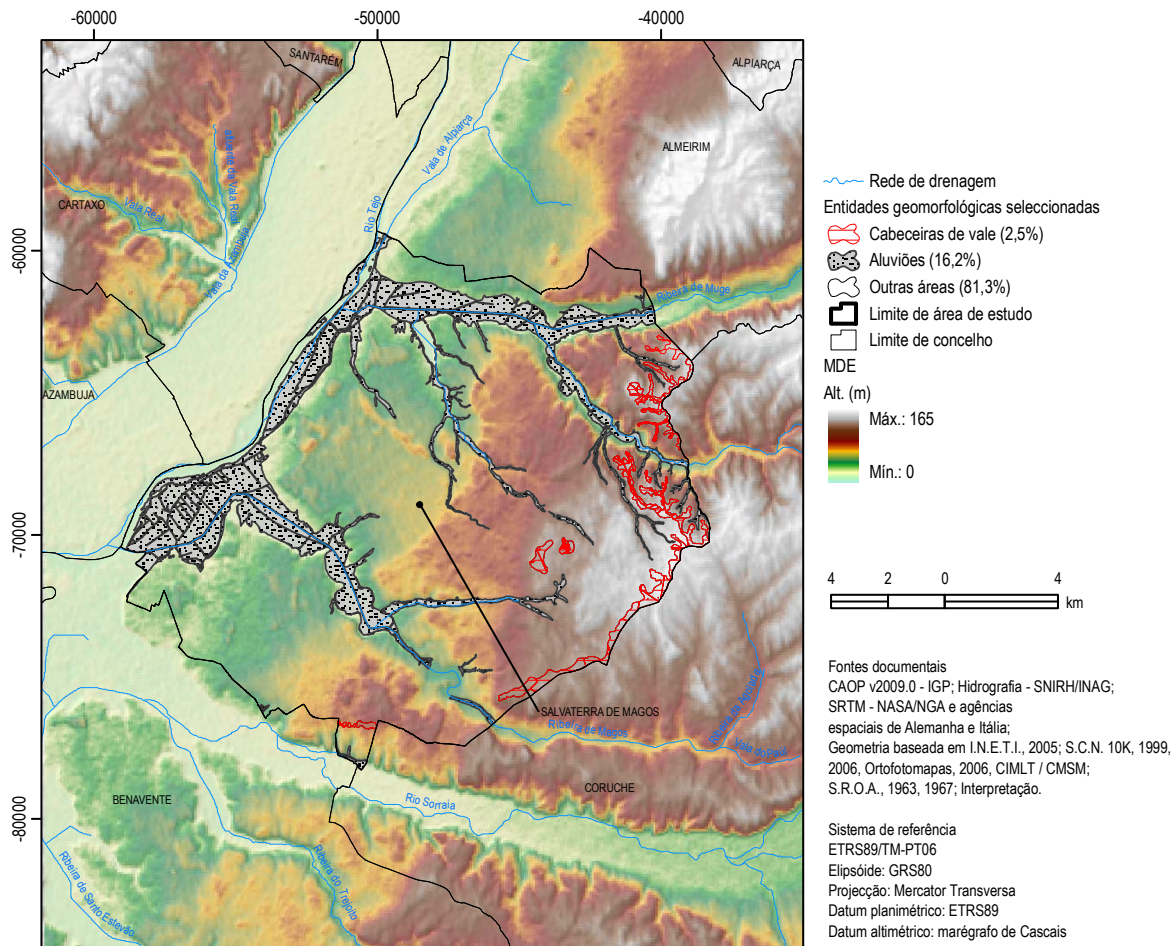


Figura 61 – Repartição geográfica das entidades hidrogeomorfológicas aluviões e cabeceiras de vale.

### 1.1.3 Classes de grupos hidrológicos de solo

Considerando o objectivo hidrogeográfico da tese, os tipos de solos foram agrupados em função do seu comportamento hidrológico, adoptando para o efeito o conceito de GHS conforme explicação no capítulo da metodologia.

O GHS A terá menor susceptibilidade para gerar escorrência superficial, mas maior susceptibilidade para gerar escoamento subsuperficial. No quadro 39 é apresentada a relação dos GHS por família de solo, cuja expressão gráfica conta na fig. 62.

**Quadro 39** – Agrupamento dos tipos de solos em função dos grupos hidrológicos de solos (GHS).

N.º	GHS			
	A	B	C	D
	<b>Tipos de solos (famílias)</b>			
1	Al	A	Ac	Aa + Caa
2	Al + Cal	Alc	Atl	Aph + Ap
3	Al + Par	Alc + Aslc	Et + Vt	Ca
4	Ap	Ppr	Par	Ca + A
5	Ap + Aph	Ppr + Par	Par + Ppr	Ca + Caa
6	Ap + Par	Pz	Ppt	Ca + Cal
7	Ap + Ppt	Pz + Rg	Ppt + Ap	Caa
8	Ap + Ppt + Vt	Pz + Vt	Ppt + Cal	Caac
9	Ap + Ps	Vt	Ppt + Et	Cac
10	Ap + Pz	Vt + Pag	Ppt + Ppt	Cal
11	Ap + Rg	Vt + Ppt	Ppt + Ps	Cal + Al
12	Ap + Vt		Ppt + Pz	Cal + Ap
13	Rg		Ppt + Rg	Cal + Ca
14	Rg + Ap		Ppt + Vt	Cal + Par
15	Rg + Par		Sb	Pag
16	Rg + Pz		Sbl	Pag + Ppt
17	Rg + Rgc			Pag + Rg
18	Rg + Vt			Pag + Sag
19	Rgc			Pag + Sg
20	Rgc + Aph			Pag + Vt
21	Rgc + Rg			Ps
22	Rgc + Sg			Sag
23	Rgc + Vt			Sag + Pag + Vt
24				Sag + Sg
25				Sg
26				Sg + Ap
27				Sg + Sag

O mapa dos GHS já tem incorporado as áreas impermeabilizadas (antropizadas) e massas de água, classificando-as como outras áreas, totalizando 8,9% da área de estudo (fig. 62).

Para a obtenção deste parâmetro procedeu-se à operação de sobreposição, por união geométrica dos temas ocupação e uso do território e tipos de solos, e classificação do ponto de vista hidrológico.

O GHS A é responsável pela maior extensão geográfica (35,3%), coincidente na maior parte, com solos incipientes (pedologia), sobrejacentes a areias e cascalheiras de génese indiferenciada (geologia) e aos terraços fluviais (geomorfologia). Será administrado apenas o GHS A por representar a condição de escoamento superficial mínimo e a condição de escoamento por infiltração e percolação potencial máxima.

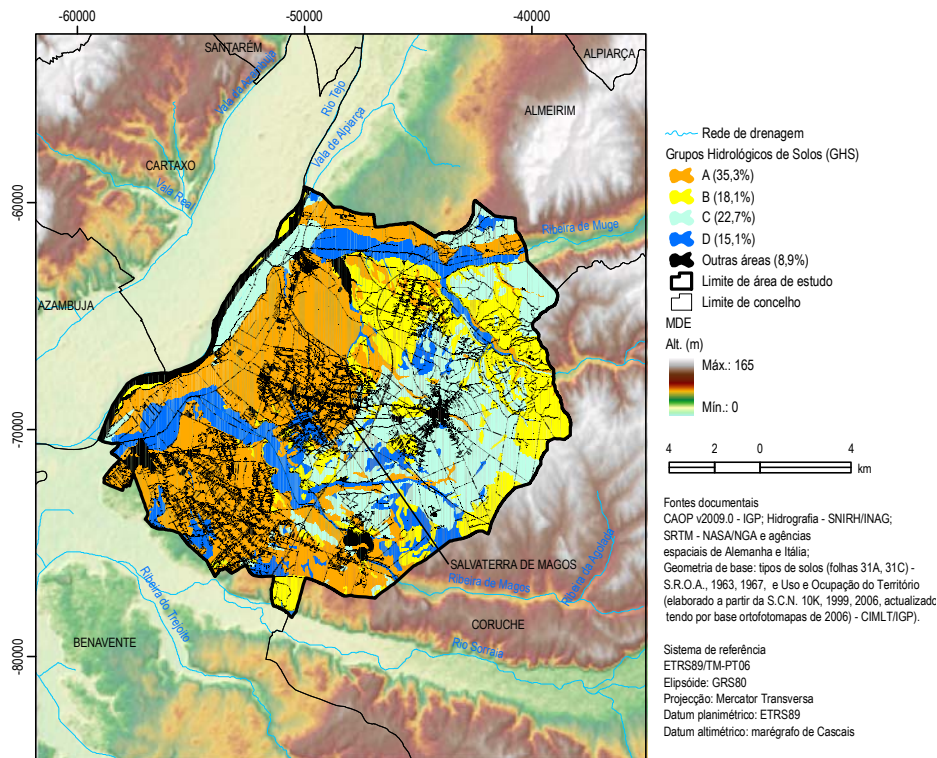


Figura 62 – Repartição geográfica dos grupos hidrológicos de solos.

## 1.2 A cartografia da susceptibilidade e da vulnerabilidade dos aquíferos

Uma cobertura pedológica pouco permeável constitui um factor de predisposição decisivo para a redução da infiltração, mesmo quando as rochas subjacentes são permeáveis ou de permeabilidade variável.

A geomorfologia regional e local é geneticamente fluvial, apresentando episódios de escoamentos fluviais organizados e não organizados, evidenciando estruturas de sedimentação de fácies de planície de inundação ou de canal, ou de leque aluvial. Como tal, é frequente a ocorrência de níveis litológicos interestratificados com características hidrológicas variáveis, dos tipos argiloso (aquíclodos), arenoso ou areno-conglomerático (aquíferos) ou silto-arenoso ou argilo-arenoso (aquítardo), aos quais se associam superfícies com gradiente topográfico reduzido. Nas áreas deprimidas associadas aos principais vales da rede hidrográfica o escoamento de base alimenta o escoamento superficial, o que denuncia áreas de descarga aquífera e potencia o grau de vulnerabilidade. Por isso, os fundos de vale devem constituir áreas de protecção prioritária. São consideradas as cabeceiras de vale demarcadas devido à relevância hidrogeomorfológica, conforme já explicado no capítulo I, ponto 1.2.4.1 e no capítulo III, ponto 3.2.1.

Assim, procede-se à delimitação da cartografia final de acordo com a geometria das entidades geomorfológicas derivadas do mapa geomorfológico, de acordo com a geometria da carta geológica onde o subsolo possui condutividade hidráulica elevada e, cumulativamente, cujos solos possuam comportamento hidrológico com elevada condutividade hidráulica do tipo do GHS A, cuja geometria deriva da carta de solos.

## 1.2.1 Avaliação da susceptibilidade à ocorrência de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos

Considerando que se está em meio de circulação poroso, verifica-se apenas se o parâmetro GHS é do tipo A nos locais onde a geometria do parâmetro geológico pertence à classe elevada (sobreposição com algoritmo *intersect* do *ArcInfo*) e adiciona-se a geometria geomorfológica (sobreposição com algoritmo *union* do *ArcInfo*). As áreas que possuam GHS A mas que se situam fora da área afectada à geometria do parâmetro geológico pertencente à classe elevada não são consideradas pois significa que as rochas subjacentes não são suficientemente permeáveis. O mapa da fig. 63 constitui a cartografia elaborada principal, obtida a partir do método multicritério.

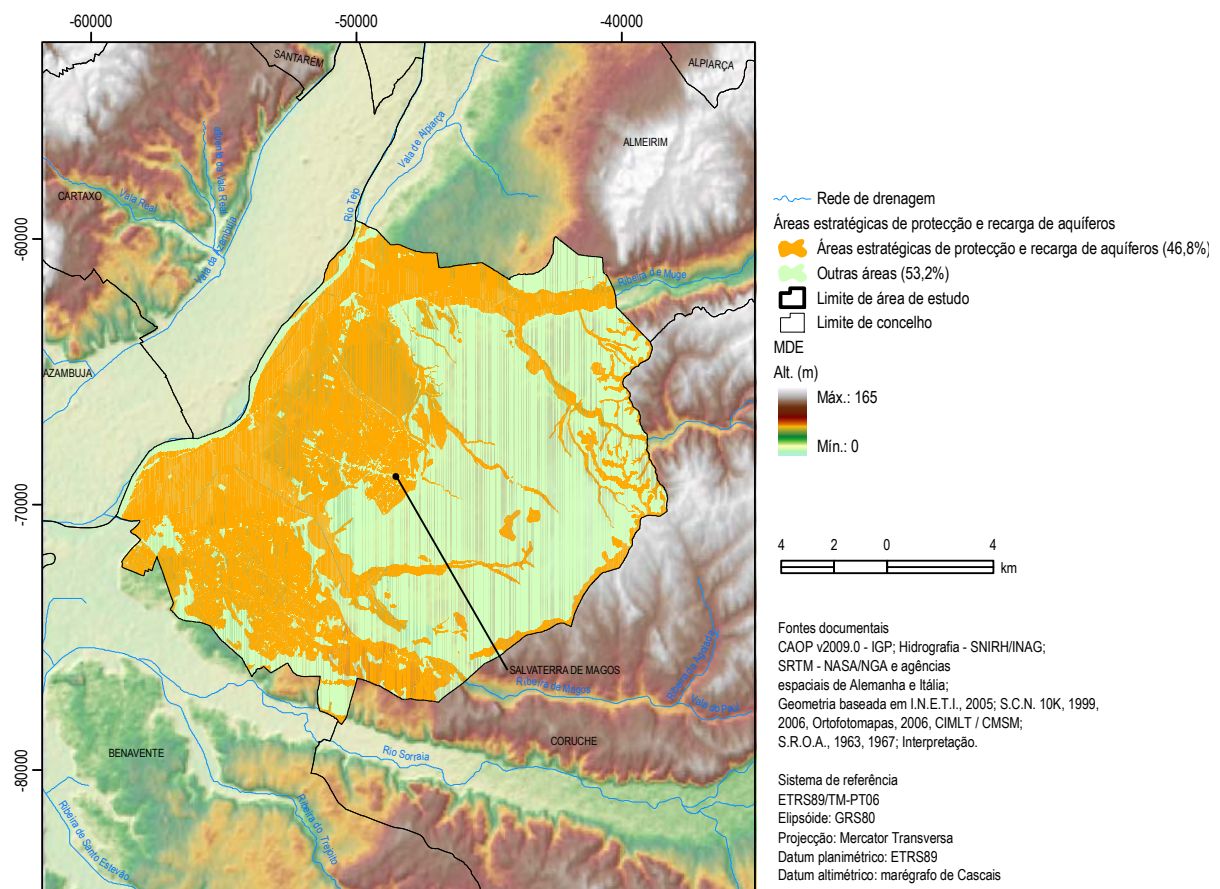


Figura 63 – Áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos (Método multicritério).

Constata-se que quase toda a área afectada à geometria do sistema aquífero T7 é abrangida por estas áreas prioritárias.

## 1.2.2 Avaliação da vulnerabilidade hidrogeográfica dos aquíferos

A cartografia da vulnerabilidade dos aquíferos da área de estudo deriva da intersecção do mapa de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos, obtido através do método multicritério, com a profundidade do topo dos aquíferos (sobreposição ou intersecção geométrica, com algoritmo *intersect* do *ArctInfo*), à semelhança do procedimento adoptado por BRITO *et al.* (2004, 2006) (fig. 64).

É uma forma relativamente rápida e eficaz de avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos, todavia, devido à rede de medições deste nível da água ser pouco densa, a qualidade final não será a melhor. Porém, a reduzida profundidade do nível hidrostático do sistema aquífero T7, pois está maioritariamente a menos de 10 m de profundidade, e por outro lado, a profundidade elevada do topo do sistema aquífero T3, exceptuando nos principais fundos de vale, permite ajuizar que a vulnerabilidade aquífera, tal como é definida no capítulo 1, ponto 1.1, será moderada nos terraços fluviais com cobertura arenosa e elevada nas planícies aluviais dos principais cursos de água, incluindo nas áreas de planície aluvial dos cursos de água sobrejacentes ao sistema aquífero T3, por extrapolação.

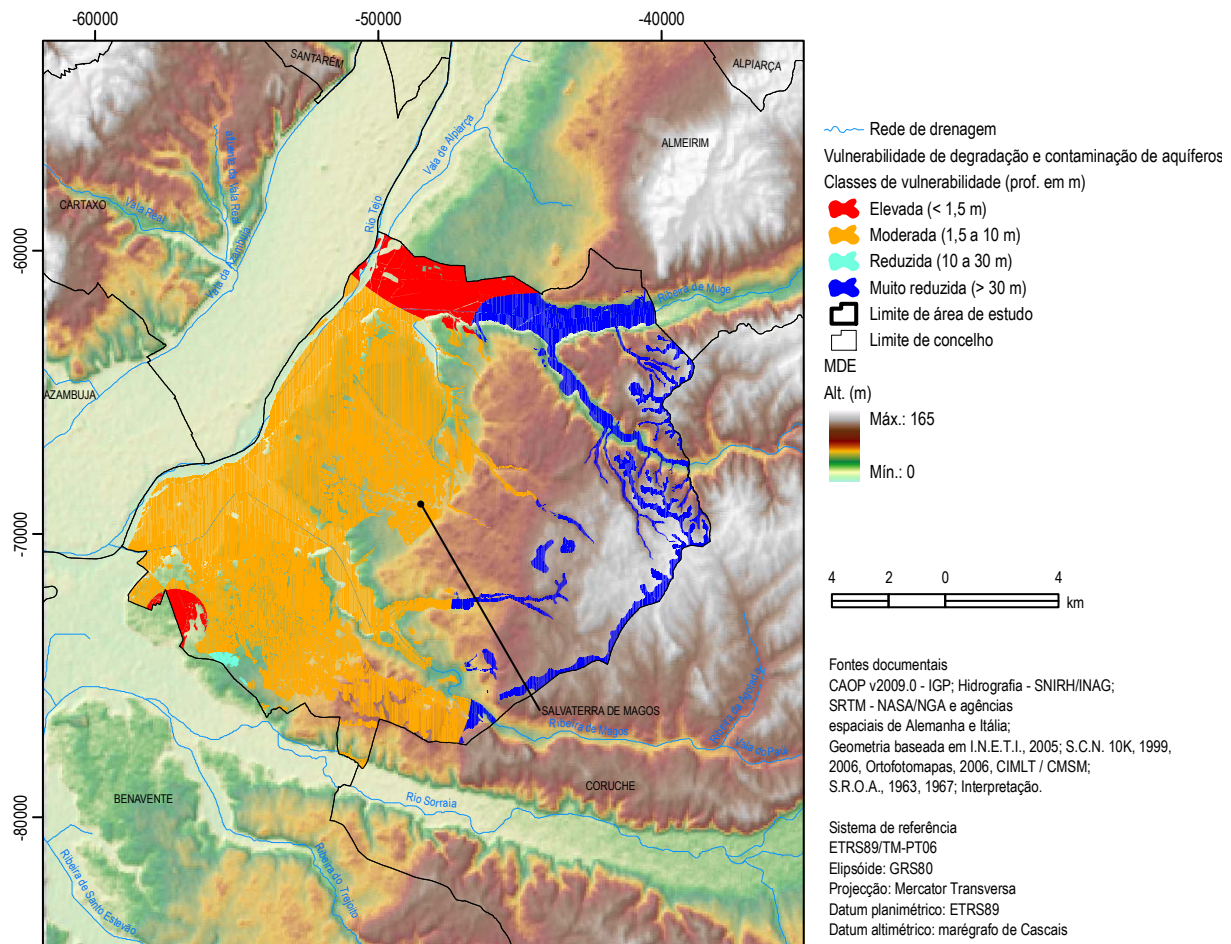


Figura 64 – Vulnerabilidade aquífera.

Nas restantes áreas, com exclusão de eventuais descargas directas de contaminantes, poderá classificar-se a área como sendo de vulnerabilidade reduzida a moderada, salvo situações em que possa haver recarga ou descarga lateral. Sendo assim, é natural que as planícies aluviais do rio Tejo e das rib.<sup>as</sup> de Muge, Lamarosa, Magos, Vale de Zebro, deverão estar abrangidas pela classe de vulnerabilidade elevada à degradação e contaminação de aquíferos. Trata-se de um mapa que deverá possuir mais pontos de medição para evitar a não representação de sectores naturalmente associados a uma susceptibilidade elevada, em especial, as planícies aluviais do rio Tejo, da ribeira de Muge e afluentes de margem esquerda, e da ribeira de Magos e afluentes de margem direita, onde neste últimos (Muge e Magos) poderá haver conectividade hidráulica, sob a unidade litostratigráfica Ag. Tm. e associado aos Ar. Ot., ou associado à descarga da unidade Ar. Um., entre aquífero confinado e cursos de água, por serem cursos de água efluentes.

De acordo com RIBEIRO e MENDES (2010), «A utilização de índices de vulnerabilidade intrínseca como o DRASTIC, (Aller *et al.*, 1987) ou o AVI, (Stempvoort *et al.*, 1993) e de vulnerabilidade específica como o IS (Ribeiro, 2005) constituem sempre uma primeira etapa em qualquer plano de ordenamento e gestão de um sistema aquífero. O interesse de avaliar o grau de vulnerabilidade das diversas formações aquíferas a contaminação decorre fundamentalmente da necessidade de fornecer um instrumento que seja útil nas tomadas de decisão ao nível do planeamento e ordenamento do território. Nesse sentido esta ferramenta poderá ser utilizada para a definição das áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos uma vez que as áreas mais vulneráveis serão sem dúvida as áreas mais permeáveis e que alimentam (e descarregam) o aquífero, e, também com maior impacto para a qualidade da água subterrânea.» (entre parênteses comentário meu).

## 2 Método estatístico

Este método permitirá, através de procedimentos estatísticos do método do valor informativo, determinar as áreas geográficas mais susceptíveis à recarga de aquíferos, através da classificação da área de estudo e avaliar a credibilidade do modelo de dados que culminou com o método multicritério.

### 2.1 Cálculo do valor informativo e das classes de susceptibilidade

Após a conversão da estrutura de dados de vectorial para matricial (5 m<sup>2</sup>), para considerar o número de unidades de terreno (pixel), por classe previamente definida para o subsolo, grupos hidrológicos de solos e hidrogeomorfologia (neste parâmetro tem-se a presença ou ausência, ou seja, na prática são duas classes), procede-se à reclassificação de cada parâmetro, para assegurar que existe uniformização do valor/código das classes denominadas outras áreas em cada parâmetro, para efeitos de sobreposição (quadro 40). Assume-se que o mapa do método multicritério é a variável dependente, para que ocorra o fenómeno de recarga, dos parâmetros KSs, GHS, e entidades hidrogeomorfológicas, que correspondem às variáveis independentes. Como o mapa do multicritério assume valor 1 (presente) ou 0 (ausente) possibilita que o valor final das outras variáveis

apresente sempre a mesma magnitude desde que possuam valores  $\geq 1$ . Assim, determina-se o produto entre cada parâmetro (com o algoritmo *Raster Calculator* do *ArCInfo*) e o mapa do método multicritério, cujos valores estão no quadro 41. O resultado sob a forma numérica consta no quadro 42, e permite a obtenção de *scores* de cada parâmetro por classe de susceptibilidade hidrogeográfica, incluindo nos locais não abrangidos pelas áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos. Estes valores são objecto de cálculo estatístico em folha de *Excel* para determinar o valor informativo por classe de cada parâmetro (quadro 43). O valor informativo da unidade de terreno resulta da soma de cada parâmetro através da ferramenta *Raster Calculator* do *ArCInfo*.

**Quadro 40** – Valores classificados dos parâmetros em estrutura matricial.

Parâmetro	Código	Classe	Fonte da Informação geométrica	N.º de pixel
Condutividade hidráulica do subsolo	3	Elevada	I.N.E.T.I., I. P., 2005	2733069
	2	Variável		5880941
	1	Reduzida		323257
	0	Outras áreas		820942
Grupo hidrológico de solo	4	A	S.R.O.A., 1963, 1977	3440118
	3	B		1769093
	2	C		2211986
	1	D		1470040
	0	Outras áreas		866606
Unidades hidrogeomorfológicas	1	Elevada	S.C.N. 10K, 1999, Ortofotomapas, 2006	1824087
	0	Outras áreas		7934225
Total (a dividir por 3*25)				243953033

**Quadro 41** – Valores do mapa derivado do método multicritério em estrutura matricial.

Variável	Código	N.º de pixel
Áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos	1	4567722
Outras áreas	0	5189636
Total (a dividir por 2*25)		243933950

**Quadro 42** – Valores classificados dos parâmetros em estrutura matricial, derivados do cruzamento de cada um com o mapa do método multicritério.

Parâmetro	Código	Classe	N.º de pixel
Condutividade hidráulica do subsolo	3	Elevada	2420410
	2	Variável	2050130
	1	Reduzida	15481
	0	Não cruza	5270285
Grupo hidrológico de solo	4	A	3035631
	3	B	220668
	2	C	354581
	1	D	894292
	0	Não cruza	5247710
Unidades hidrogeomorfológicas	1	Elevada	1805740
	0	Não cruza	7950645
Total (a dividir por 3*25)			243879775

Se o valor informativo (*li*, eq. 37) da variável (VIVAR) ou parâmetro possuir valor nulo, é substituído, pelo valor mais reduzido para determinar o valor informativo da unidade de terreno.

A análise sensitiva ao valor informativo das variáveis (VIVAR) permite concluir que às classes com maior magnitude do fenómeno de recarga aquífera, corresponde um VIVAR positivo. Geralmente, valores negativos correspondem a ausência de relação espacial entre as áreas onde a recarga é potencialmente

elevada (método multicritério). A fig. 65 representa as áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos via método estatístico, após cálculo do valor informativo da unidade de terreno (eq. 38), efectuada através do *Raster Calculator* do *ArctInfo*, optando-se pela resolução expedida de somar cada VIVAR, ao invés de multiplicar por 1 ou 0, o que poderá empolar, naturalmente, mas em simultâneo, o valor informativo da unidade de terreno,  $I_j$ , do mapa final, não prejudicando a magnitude total de cada valor informativo da variável  $I_i$ .

Quadro 43 - Valor informativo da variável  $i$ .

Parâmetro	Classe	Si	Ni	S	N	Si/Ni	S/N	VIVAR	VIVAR
Condutividade hidráulica do subsolo	Elevada	2420410	2733069	4567722	9757358	0,8856	0,4681	0,6375	<b>0,6375</b>
	Variável	2050130	5880941	4567722	9757358	0,3486	0,4681	-0,2948	-0,2948
	Reduzida	15481	323257	4567722	9757358	0,0479	0,4681	-2,2798	-2,2798
	Outras áreas (não cruza)	0	820942	4567722	9757358	#DIV/0!	0,4681	#DIV/0!	-2,2798
Grupo hidrológico de solo	A	3035631	3440118	4567722	9757358	0,8824	0,4681	0,6339	<b>0,6339</b>
	B	220668	1769093	4567722	9757358	0,1247	0,4681	-1,3226	-1,3226
	C	354581	2211986	4567722	9757358	0,1603	0,4681	-1,0717	-1,0717
	D	894292	1470040	4567722	9757358	0,6083	0,4681	0,2620	<b>0,2620</b>
	Outras áreas (não cruza)	0	866606	4567722	9757358	#DIV/0!	0,4681	#DIV/0!	-2,2798
Unidades hidrogeomorfológicas	Elevada	1805740	1824087	4567722	9757358	0,9899	0,4681	0,7489	<b>0,7489</b>
	Outras áreas (não cruza)	0	7934225	4567722	9757358	#DIV/0!	0,4681	#DIV/0!	-2,2798

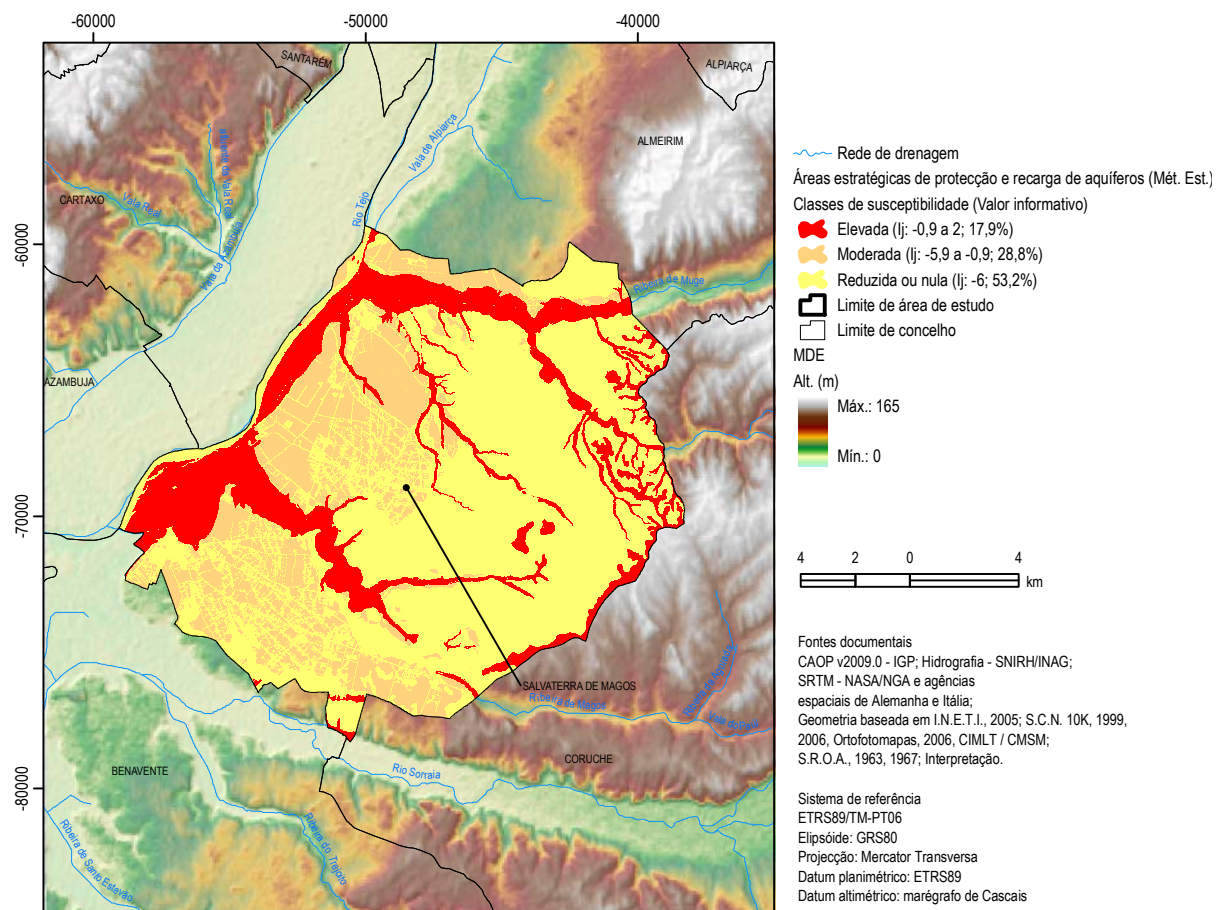


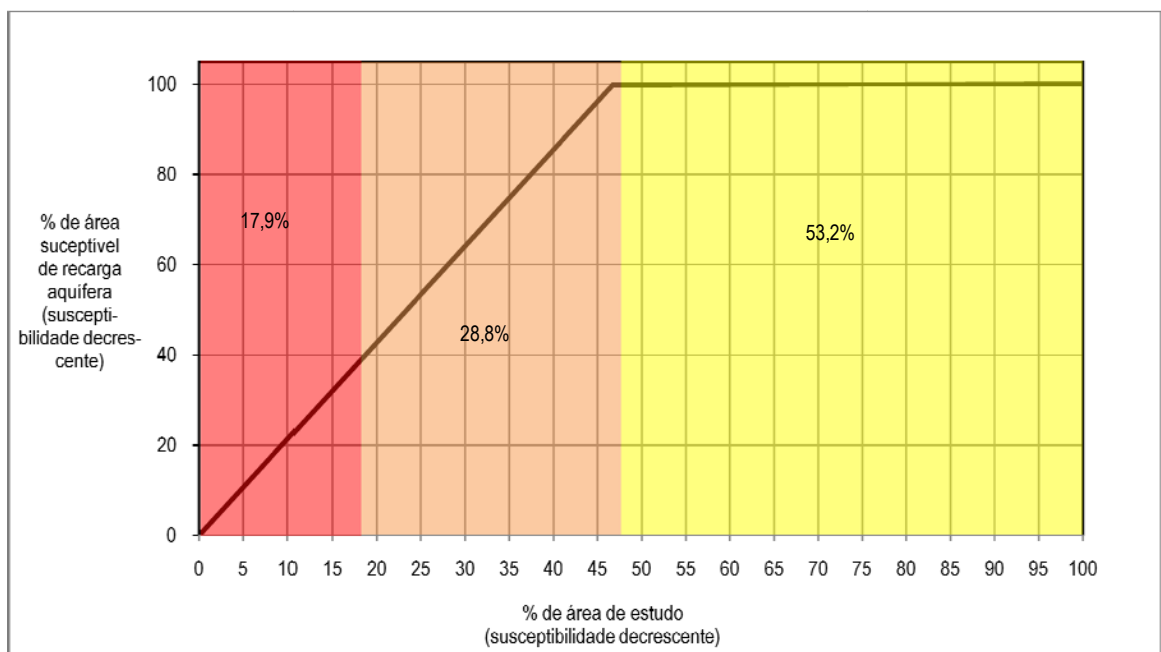
Figura 65 – Susceptibilidade hidrogeográfica à ocorrência de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos (Método estatístico).

Salienta-se que apesar de haver correspondência espacial no caso particular da classe de condutividade hidráulica do subsolo variável, o VIVAR respectivo é negativo pois a área de sobreposição é reduzida face ao total da respectiva classe, além disso, a correlação entre variáveis de entrada no modelo não é tida em conta, conforme mencionado.

As áreas com susceptibilidade hidrogeográfica mais elevada à ocorrência de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos correspondem aos fundos de vale, à semelhança das áreas mais vulneráveis. Em contrapartida, as áreas com susceptibilidade reduzida ou nula situam-se nas áreas correspondentes ao rebordo exterior do mapa do método multicritério que lhe deu origem, pois são áreas que não possuem relação directa, no modelo de dados, com a ocorrência do fenómeno hidrogeográfico (fig. 65).

## 2.2 Validação do modelo de dados do método estatístico do valor informativo

Para validar o modelo determinaram-se a AAC e a curva de sucesso. Para o efeito, procedeu-se à tabulação (através da ferramenta *Tabulate Area, Zonal*, da extensão *Spatial Analyst* do *ArcInfo*) do mapa do Método estatístico pelo mapa do Método multicritério. Se a variável dependente (mapa do Método multicritério) estiver ausente assume o valor 0, se pelo contrário estiver presente, assume o valor 1, ou seja, o 1.º objecto define a zona/classe, enquanto o 2.º é subordinado à zona/classe previamente definida, onde terá a área sumarizada dentro de cada zona/classe. De seguida ligaram-se a tabela derivada desta operação com a tabela da matriz do mapa do Método estatístico, exportou-se para *Excel*, organizaram-se valores, efectuaram-se cálculos e elaborou-se a curva de sucesso (fig. 66).



**Figura 66** – Curva de sucesso do método do valor informativo do modelo de dados do método estatístico para a definição da susceptibilidade hidrogeográfica à ocorrência de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos.

Nas áreas das classes de maior susceptibilidade verifica-se que aproximadamente 18% das unidades de maior susceptibilidade justificam mais de 1/3 da área de recarga. Também se observa que aproximadamente 47% da área de estudo explica aproximadamente 97% da área estratégica de protecção e de recarga de aquíferos devolvida pela execução do modelo de dados.

A divisão em classes da figura 65 foi confirmada pelas rupturas de declive da curva de sucesso (fig. 66) e valores que a originaram.

Por outro lado, a área abaixo da curva devolveu um valor de 0,77, bem acima do valor exigível, o que permite concluir que o modelo de dados do método estatístico que tem como suporte o método multicritério é suficientemente robusto ou credível.



## CAPÍTULO V – Discussão

A avaliação e cartografia de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos constituem um processo essencial no quadro de sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre e solidariedade intergeracional e deverá ser elaborada a uma escala supra-municipal, considerando o fenómeno de recarga natural.

Na aplicação do modelo de dados (fig. 59) foram utilizados métodos e técnicas com vista à produção de um mapa final de susceptibilidade sem classes derivado a partir do método multicritério (fig. 63), cuja geometria serviu de base à elaboração do mapa de vulnerabilidade (fig 64) e do mapa de susceptibilidade com divisão em classes derivado do método estatístico (fig. 65). As estruturas de dados são do tipo vectorial para o método multicritério e matricial para o método estatístico.

Com efeito, a cartografia de susceptibilidade das áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos determinada pelo método multicritério, que resulta da sobreposição de entidades hidrogeomorfológicas e dos GHS A onde existe subsolo com Ks elevada, poderá constituir o mapa de susceptibilidade final que poderá integrar a carta da Reserva Ecológica Nacional concelhia.

A cartografia da vulnerabilidade dos aquíferos, resultou da divisão em classes da profundidade do topo do aquífero (espessura da zona vadosa) sobreposta à área afecta à geometria do mapa de susceptibilidade derivado do método multicritério.

A cartografia da susceptibilidade das áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos determinada pelo método estatístico (valor informativo), possui divisão de classes, cuja geometria deriva dos parâmetros utilizados e do mapa obtido pelo método multicritério. Este dois últimos mapas (vulnerabilidade e estatístico) podem desempenhar uma função estratégica na regulamentação de usos e acções compatíveis com esta restrição de utilidade pública.

OLIVEIRA (2003 p. 9) refere que «A recarga está largamente dependente do solo e do uso do solo. O desenvolvimento anual das espécies vegetais condiciona a recarga (reflectindo-se nos coeficientes culturais, na variação da área de ocorrência das espécies vegetais e na profundidade da zona do solo sujeita a evapotranspiração)». Todavia, o uso e ocupação do território é uma variável que não deverá ser considerada no modelo de dados devido à sua mutabilidade, como já foi referido (C.C.D.R.L.V.T., 2010, pp. 32-34). De facto, apesar do coberto vegetal promover a infiltração, percolação e eventual recarga e descarga, considerando que potencia a alteração físico-química do rególito, onde a matéria orgânica desenvolve função de relevo, também é certo que potencia a evapotranspiração, especialmente as plantas freatófitas nas áreas de descarga (CUSTODIO e LLAMAS, 1983, p. 311; FREEZE e CHERRY, 1979, pp. 201, 231); acresce que está sujeita à intervenção humana de curto prazo, no âmbito das actividades agrícolas e silvícolas. Já a impermeabilização

devida à infra-estruturação e edificação é de carácter mais estável ou permanente à escala humana. Por outro lado, o meio aquífero ocorre ou não independentemente do uso e ocupação do território.

Por estes motivos esta variável não foi utilizada no modelo de dados. Assim, foram consideradas as características das formações geológicas aflorantes e subjacentes, geomorfologia e natureza hidrológica da zona vadosa (do solo) que combinadas apresentam as condições mais favoráveis para a ocorrência de recarga natural dos aquíferos. Desta forma, não deverão ocorrer áreas de infiltração máxima sobre áreas de recarga mínima, pois o substrato é coberto por solos de elevada condutividade hidráulica e as entidades geomorfológicas (hidrogeomorfológicas), em especial os principais fundos de vale, possuem a particularidade de exibirem conectividade hidráulica (CUSTODIO e LLAMAS, 1983, pp. 1121-1122), pois são efluentes, isto é, são áreas de descarga ou até recarga em situação hidrológica extrema de cheia, onde o nível de água do curso de água suplanta o nível piezométrico do aquífero contíguo, fenómeno conhecido por armazenamento de água nas margens (*bank storage*) (CUSTODIO e LLAMAS, 1983, p. 1124). Por isso, também são áreas de elevada vulnerabilidade à contaminação, pelo que se admite que também são áreas de elevada recarga, tanto mais, quanto maior a precipitação atmosférica, até determinada altura. Além disso, a maior parte das captações de água para abastecimento situam-se na área classificada pela cartografia das áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos (método multicritério). Desta forma reduz-se a possibilidade da cartografia final localizar áreas onde pode ocorrer infiltração mas não haver recarga, ou haver possibilidade de contaminação e não haver cartografia que identifique as áreas mais vulneráveis, no contexto do ordenamento e gestão de sistemas aquíferos.

Importa salientar que são as áreas afectas aos fundos de vale, em concreto, as planícies aluviais actuais, os locais onde os aquíferos são mais vulneráveis à contaminação. De facto, a profundidade ao topo do sistema aquífero T7 é geralmente inferior a 10 m, o que de acordo com um índice DRASTIC ou DRASTIC pesticidas corresponderia a um peso 5 e índice igual ou superior a 5, ou seja, moderado a elevado (LOBO FERREIRA *et al.*, 1997, p. 175). SIMÕES (1998, p. 229) refere que «As águas dos depósitos plisto-holocénicos são medianamente mineralizadas, com teores de sulfatos acima das médias encontradas para o Pliocénico e para o Miocénico. A actividade agrícola intensiva, praticada nos depósitos superficiais, e a localização preferencial de indústrias ao longo do estuário do Tejo podem explicar o aumento na concentração de sulfatos que aí se verifica. Em áreas de cultivo intensivo, regadas por águas subterrâneas, os excedentes da rega que atingem o aquífero são cada vez mais mineralizadas em virtude da repetida utilização da água, destacando-se nestes casos as altas concentrações de cloretos, bicarbonatos e nitratos. A agravar o fenómeno, a adição de fertilizantes e pesticidas ricos em compostos azotados e sulfatados.». RAMOS *et al.* (2001), também constatarem a presença de contaminantes devido à actividade agrícola e industrial na área da lezíria ribatejana.

Não obstante a profundidade elevada do topo do sistema aquífero T3, pensa-se que a vulnerabilidade dos aquíferos, tal como é definida no ponto 1.1 do capítulo I, também será elevada nas áreas de planície aluvial dos cursos de água sobrejacentes ao sistema aquífero T3, por extrapolação (fig. 64), pois são locais de

descarga, muito embora também possa ocorrer recarga lateral. Nas restantes áreas, com exclusão de eventuais descargas directas de contaminantes, poderá classificar-se o território como sendo de vulnerabilidade moderada nas áreas sobrejacentes à unidade hidrogeomorfológica terraços fluviais coberta por areias e fenoclastos e reduzida nas restantes situações, salvo situações em que possa haver recarga ou descarga lateral, especialmente onde a incisão da rede hidrográfica expôs o aquífero Ar. Ot., porque erodiu o aquífero Ag. Tm. (ver cotas destas unidades litostratigráficas no mapa geomorfológico), como poderá suceder nos vales das rib.<sup>as</sup> de Muge, Lamarosa e Magos

As áreas a proteger dispõem de condições únicas em termos de conjugação de variáveis. Correspondem a litologias de natureza sedimentar coerente e não coerente de génese fluvial, grupos hidrológicos de solos com elevada condutividade hidráulica (GHS A) e relevos cuja tipologia potencia a infiltração e recarga e se traduz em planícies aluviais ou terraços fluviais com cobertura arenosa ou ainda a bacias hidrográficas de 1.<sup>a</sup> ordem de STRALHER, em função da pertinência, face à localização, distinção e avaliação no contexto da bacia hidrográfica a que pertencem, conforme já explicado no capítulo I, ponto 1.2.4.1 e no capítulo III, ponto 3.2.1. Assim, é natural que, nas entidades hidrogeomorfológicas aluviões, a infiltração, recarga e descarga seja, localizada linearmente, ao longo dos principais vales (por analogia com os aquíferos cársicos com recarga verdadeiramente localizada nos sumidouros) e extensivamente ou de forma difusa nas áreas de interflúvio especialmente no que se refere ao sistema aquífero T7. De facto, a função da hidrogeomorfologia é fundamental. Por exemplo, no canal fluvial e por vezes nas áreas de planície de inundação, a conexão ou ligação hidráulica com o sistema aquífero subjacente ocorre através de poros que permitem a água do aquífero entrar (curso de água efluente) em contacto com os sedimentos e misturar-se com a água intersticial da zona saturada, definindo uma zona de transição. Esta zona onde ocorrem essas trocas ou intercâmbios pode ser denominada zona hiporreica, que pode ser definida como um ecótono dinâmico de flutuação espacial entre a água do canal e a água intersticial (PEZINNI e OVALLE, 2009; EA, 2009), cuja importância ecológica é extremamente importante.

Conforme explicado no ponto 1.2.8.2 do capítulo I, apesar de nos meses de défice hídrico não haver precipitação, o escoamento subterrâneo (água da recarga dos meses de superávit hídrico) descarrega nos principais cursos de água, o que evidencia o funcionamento hidráulico do sistema aquífero, nomeadamente a hidrodinâmica que torna aqueles efluentes (quando o nível hidrostático do sistema aquífero é superior ao do curso de água). Os locais de descarga também são denunciados pela vegetação (para além da hidrografia) (DUNNE e LEOPOLD, 1978, p. 230).

Atendendo a que os Arenitos de Ota se recarregam fora da área de estudo, torna-se evidente que são as zonas de recarga e descarga do sistema aquífero Aluviões do Tejo que importa salvaguardar, bem como as zonas de descarga do sistema aquífero de Margem Esquerda, com excepção de eventual alimentação por recarga lateral. Relativamente ao sistema aquífero T7 as áreas correspondem aos fundos de vale e terraços fluviais cobertos por areias e fenoclastos e, cumulativamente onde se posicionam solos que evidenciam

características hidropedológicas que potenciam a infiltração e percolação da precipitação que irá recarregar naturalmente a zona saturada; quanto ao sistema aquífero T3, as áreas a proteger correspondem aos fundos de vale.

As principais lacunas de informação são a reduzida informação relativa a pontos de água subterrânea para monitorização do nível piezométrico, relativamente ao sistema aquífero T7 e T3, e que é essencial numa rede de monitorização da quantidade e qualidade da água subterrânea para efeitos de cumprimento da Lei da Água e a falta de resolução adequada da carta de solos utilizada. Esta desinformação é especialmente evidente na expressão gráfica do mapa de vulnerabilidade aquífera. Por outro lado, salienta-se que o estudo das áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos é complexo não pela quantidade de variáveis que encerra, mas pelos dados disponíveis e qualidade dos dados analíticos das pesquisas bibliográficas e que alimentam os métodos. De facto, atendendo a que, aos efeitos da anisotropia e heterogeneidades dos materiais do subsolo e solo no movimento da água, e que afectam as equações que permitem determinar a condutividade hidráulica ou porosidade, pois são concebidas para meios homogéneos, acresce que a cartografia temática utilizada, também pode conter erros, pelo que, o mapa de susceptibilidade final poderá ser revisto em qualquer momento.

Retomando as questões de partida que constituem os objectivos específicos da tese e que consistem nas respostas às perguntas de partida, enunciadas em 1.1, capítulo I, quanto à questão *Onde?*, considera-se que este objectivo foi atingido na medida em que foram localizadas as áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos (fig. 63), que ocupam 46,8% da área de estudo, no contexto da unidade hidrogeológica mais importante do país, conforme descrito no capítulo 1, através de métodos e técnicas de base heurística, vide capítulo 3, e informações da pesquisa bibliográfica, o que pressupõe a selecção de um número reduzido de variáveis físicas (com a respectiva quantificação de determinados parâmetros das variáveis de predisposição com repercussões na magnitude do fenómeno) significativas e adequadas a meios porosos para situar as áreas geográficas onde ocorre o fenómeno, através de um modelo de dados simples (fig. 59).

A questão *Porquê?* está directamente relacionada com a primeira. A ocorrência geográfica do fenómeno de recarga depende das características intrínsecas, explicadas por leis físicas, como por exemplo, de Bernoulli ou Darcy. O seu estudo foi efectuado com base em variáveis e parâmetros, seleccionados conforme explicação nos capítulos 1, 3 e 4.

A avaliação do modelo de dados foi efectuada a partir dos valores do método estatístico valor informativo e através da taxa de sucesso e área abaixo da curva. A taxa de sucesso do modelo permite afirmar que, por exemplo, nas áreas das classes de maior susceptibilidade, quase 1/5 das unidades de maior susceptibilidade justificam mais de 1/3 da área de recarga (fig. 66). Também se observa que aproximadamente 47% da área de estudo explica quase 97% das áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos.

O indicador área abaixo da curva devolveu um valor de 0,77, bem acima do valor mínimo exigível a um modelo de dados (valor de 0,5), o que permite concluir que o modelo de dados que tem como suporte o método multicritério foi bem sucedido, dando resposta à questão *Como avaliar o modelo de dados?*. Observa-se que é

na entidade hidrogeomorfológica aluviões que o valor informativo apresenta magnitudes superiores, o que faz todo o sentido na medida em que é nesta entidade que ocorre com maior sucesso o cruzamento dos três parâmetros com o mapa do método multicritério.

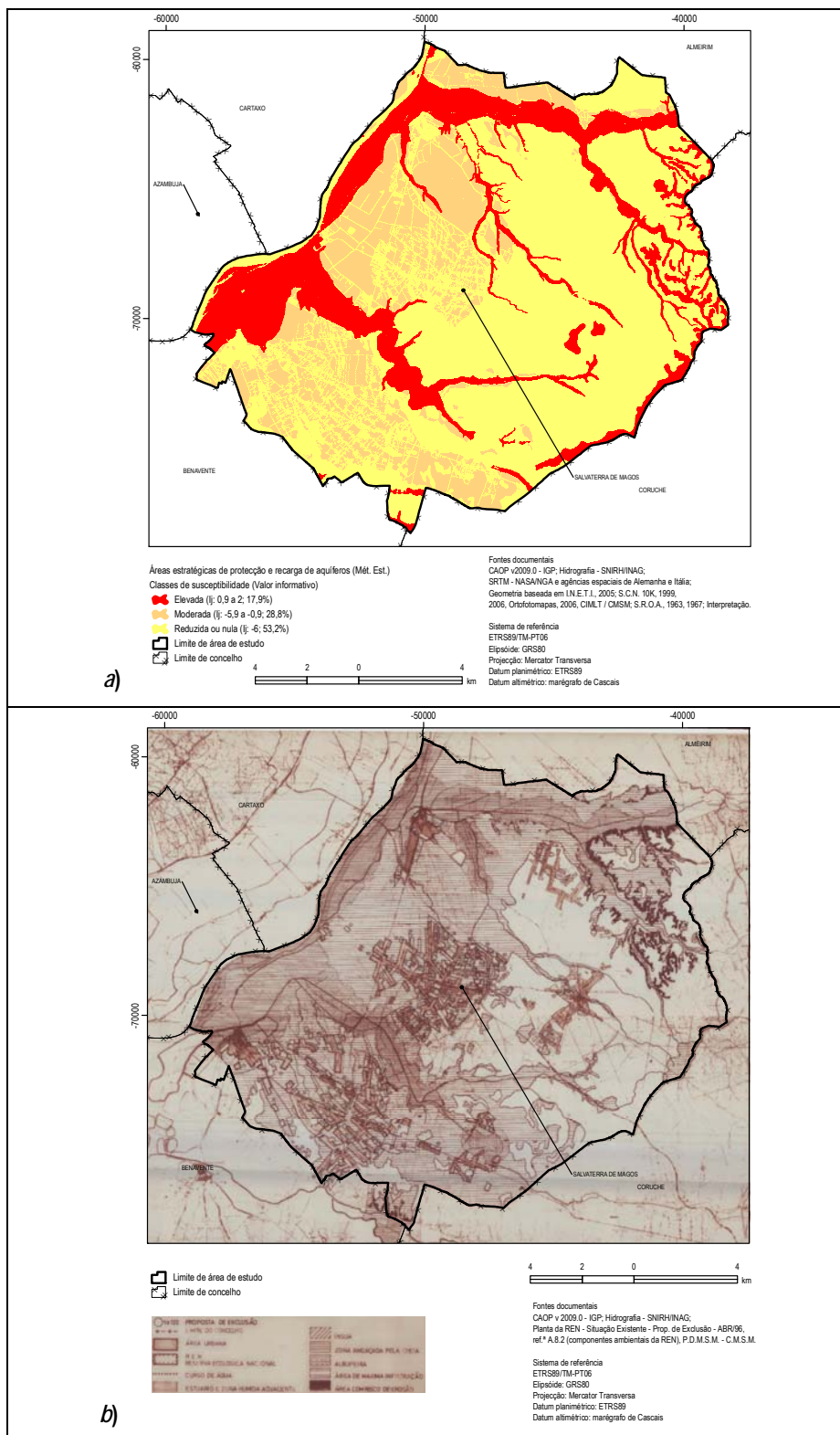
O facto de se lidar permanentemente com questões de índole hidrogeográfica, ao que não será alheia a génese fluvial da história geomorfológica da área de estudo, realça o potencial contributo da Hidrogeografia como especialidade científico-técnica essencial na localização, distinção e avaliação de áreas de recarga e descarga naturais.

Para melhor percepção, a fig. 67 evidencia a diferente geometria da cartografia elaborada, a partir do método estatístico, das áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos e as mesmas em vigor no mapa de áreas de REN do município de Salvaterra de Magos (definidas ao abrigo do antigo RJIGT). O mapa de susceptibilidade final é uma carta líquida pois foi subtraída das áreas impermeabilizadas.

Não obstante a componente ambiental áreas de máxima infiltração da REN publicada para a área de estudo tenha sido baseada em pressupostos científico-técnicos e legais diferentes que não vão ao encontro do estipulado pelo actual quadro legal, pela análise comparativa, observa-se que a geometria do mapa de susceptibilidade (derivado do método multicritério; fig. 63 e anexo A.13) difere ligeiramente. Tais diferenças ficam a dever-se por exemplo à delimitação de áreas de infiltração devido à existência de solos permeáveis mas cujo substrato não possibilita recarga aquífera rápida como proporcionam, por exemplo, os terraços fluviais com empilhamento de areias e fenoclastos do terraço tipo de Marinhais. Também podem ser áreas sobrejacentes ao sistema aquífero T3, cujas subunidades aquíferas recarregam, predominantemente, fora da área de estudo mas descarregam nos principais vales do concelho de Salvaterra de Magos.

As áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos constituem espaços únicos de que dependem diversas actividades económicas e o abastecimento de água potável para consumo humano, em muitos dos concelhos da Bacia Cenozóica do Baixo Tejo, incluindo o concelho de Salvaterra de Magos, por se revestir do ponto de vista económico consideravelmente mais vantajoso para os consumidores e para a gestão económico-financeira da actividade de extracção, pelo que devem ser preservadas por serem as grandes reservas de água doce deste e doutros municípios. Reveste-se, por isso, de especial relevância preservar os aquíferos freáticos e confinados locais de possíveis contaminações e impermeabilizações provocadas pela actividade humana, a fim de assegurar a qualidade da água para o consumo humano e a sua utilização sustentável no quadro do ciclo hidrológico.

A salvaguarda qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos presentes nos sistemas aquíferos nestas áreas, a longo prazo, deverá ser sustentada em termos de Ordenamento do Território, ao abrigo do RJIGT, porque experimentam uma elevada pressão antrópica, o que obriga a respostas eficazes.



**Figura 67** – Mapa de susceptibilidade do método estatístico, *a* (com divisão em classes), e mapa das áreas de REN em vigor, *b*, para a área de estudo.

Deverão ser tomadas medidas concretas a curto prazo, como por exemplo, o estabelecimento de medidas preventivas para de forma imediata proteger os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, clarificando as operações urbanísticas, acções e ou actividades a proibir presentes no art.º 107.º do RJIGT, isto é, incompatíveis com a sua preservação, como por exemplo, prevenindo a instalação ou ampliação de indústrias ou outras actividades e usos e acções poluentes e ou consumidoras de espaço de forma a despoletar a diminuição da área de recarga e taxa de recarga dos sistemas aquíferos.

As medidas preventivas a aplicar às áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos podem consistir, à semelhança do que fez o Município de Pombal, na proibição de operações urbanísticas, acções e ou actividades incompatíveis (anexo A.14).

Tal acção não seria inédita, pois já se encontra em aplicação pelo município do Pombal, com estabelecimento de medidas preventivas à área geográfica correspondente ao Sistema Aquífero da Mata do Urso, designação dada ao Sistema Aquífero Leirosa-Monte Real, conforme já referido no ponto 1.2.3, capítulo II.

Por fim, salienta-se a relevância e pertinência da salvaguarda das áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos, face, também, ao contexto das alterações climáticas, cujos efeitos no ciclo hidrológico reflectem-se na redução da disponibilidade da água subterrânea, e consequentemente na disponibilidade da água superficial nas regiões mesotérmicas, como o caso-vertente, em especial para os sistemas aquíferos freáticos, em resultado da redução da recarga e do aumento da evapotranspiração, com a consequente degradação de ecossistemas fluviais de regime efluente e albufeiras dependentes da água subterrânea.



## REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS

### Componente escrita

AGRIPRO-AMBIENTE, Consultores, S. A. (1994) - *CLC – Companhia Logística de Combustíveis, S. A., Oleoduto Multiprodutos, Refinaria de Sines, Parque de Armazenamento de Aveiras de Cima, Estudo de Impacte Ambiental, Fase de Estudo Prévio. Volume II - Relatório Síntese I.*

ARCHAMBAULT, M.; LHÉNAFF, R., VANNEY, J.-R. (1965) - *Documents et méthode pour le commentaire de cartes. (Géographie et Géologie).* Premier Fascicule, Principes Généraux, Masson et Cie, Éditeurs, Paris.

ALMEIDA, C.; MENDONÇA, J. J. L.; JESUS, M. R.; GOMES, A. J. (2000a) - *Sistemas aquíferos de Portugal continental. Ficha do Sistema Aquífero: Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda (T3).* Instituto da Água, I. P. (INAG) e Centro de Geologia da Universidade de Lisboa (CG/UL), Lisboa, pp. 614-640 (Fonte localizadora uniforme - URL: <http://snirh.pt/index.php?idMain=4&idItem=5&idSubtem=link4b>; consulta em 25/08/2010).

ALMEIDA, C.; MENDONÇA, J. J. L.; JESUS, M. R.; GOMES, A. J. (2000b) - *Sistemas aquíferos de Portugal continental. Ficha do Sistema Aquífero: Bacia do Tejo-Sado/Aluviões do Tejo (T7).* Instituto da Água, I. P. (INAG) e Centro de Geologia da Universidade de Lisboa (C.G./UL), Lisboa, pp. 649-661 (URL: <http://snirh.pt/index.php?idMain=4&idItem=5&idSubtem=link4b>; consulta em 25/08/2010).

ALMEIDA, C.; MENDONÇA, J. J. L.; JESUS, M. R.; GOMES, A. J. (2000c) - *Sistemas aquíferos de Portugal continental. Ficha do Sistema Aquífero: Leirosa-Monte Real (O10).* Instituto da Água, I. P. (INAG) e Centro de Geologia da Universidade de Lisboa (C.G./UL), Lisboa, pp. 251-265 (URL: <http://snirh.pt/index.php?idMain=4&idItem=5&idSubtem=link4b>; consulta em 25/08/2010).

ALMEIDA, C. (Editor); MENDONÇA, J. J. L.; DUARTE, R. S.; QUINA, A. P.; NEVES, J. R. (2000) - *Glossário de termos hidrogeológicos.* Instituto da Água e Centro de Geologia/U.L., Lisboa (URL: <http://snirh.pt/index.php?idMain=5&idItem=6&divisao=&scriptsitenome=%2Findex.php%3FidMain%3D5%26idItem%3D6&go=1&QUE1=TI&TULO&TERMO1=gloss%20E1rio&OP2=OR&QUE2=AUTOR&TERMO2=&OP3=OR&TERMO3=&QUE3=ASSUNTO&palavras=999999999999&FORMassunto1=&FORMassunto2=&Button=PESQUISAR>; consulta em 23/09/2010).

A.P.A. (2007, 2008) - *Relatório do Estado do Ambiente.* Agência Portuguesa do Ambiente (A.P.A.), Amadora. (URL: <http://www.apambiente.pt/divulgacao/Publicacoes/REA/Paginas/REA.aspx>; consulta em 24/06/2010).

BABAR, Md. (2005) - *Hydrogeomorphology: Fundamentals, Applications and Techniques.* New India Publishing Agency, 1st edition, New Delhi, 274 pp.

BARBOSA, Bernardo Antero Pereira da Silva (1997) – *A Bacia Terciária do Baixo Tejo (Ribatejo). Preservação dos recursos geológicos, protecção do Ambiente e Ordenamento do Território.* Instituto Geológico e Mineiro (IGM), Lisboa.

BARBOSA, Bernardo Antero Pereira da Silva (1995) - *Alostratigrafia e Litostratigrafia das unidades continentais da Bacia terciária do Baixo Tejo. Relações com eustatismo e a tectónica.* Dissertação de Doutoramento na Universidade de Lisboa.

BRITO, M. G.; COSTA, C. N.; ALMEIDA, J. A.; VENDAS, D.; VERDIAL, P. H. (2004) - *Characterization of Maximum Infiltration areas using GIS tools.* In *Geoenvironmental Engineering. Integrated management of groundwater and contaminated land*, Yong, R. N. & Thomas, H. R. (Eds), Proc., 4<sup>th</sup> BGA Geoenvironmental Engineering Conference, Stratford-Upon-Avon, Jun. 2004, Thomas Telford Publishing, ISBN: 0-7277-3277-3, pp. 393-401.

- BRITO, G.; LOPES, M. COSTA, C. N.; ALMEIDA, J. A.; VENDAS, D. F. (2006) – *Cartografia de Riscos de contaminação de solos e águas subterrâneas: alguns exemplos*. In Cartografia Geológica Aplicada a Áreas Urbanas – o Caso da Área Metropolitana de Lisboa. (Conferência Regional), Edição de Carlos Nunes da Costa, pp. 167-176.
- BURROUGH, Peter A. e MCDONNELL, Rachel A. (1998) - *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, Great Britain.
- CAETANO, M., NUNES, V.; NUNES, A. (2009) - *CORINE Land Cover 2006 for Continental Portugal*. Relatório técnico, Instituto Geográfico Português (IGP), Lisboa. (URL: [http://www.igeo.pt/gdr/index.php?princ=PROJECTOS/CLC2006&sessao=m\\_projectos#cartografia](http://www.igeo.pt/gdr/index.php?princ=PROJECTOS/CLC2006&sessao=m_projectos#cartografia); consulta em 12/07/2010).
- CANGUEIRO, José (1991) - *Planos Directores Municipais - A Reserva Ecológica Nacional*. Ed. CCRN, Porto. (URL: [http://212.55.137.35/CDI/00001\\_0196\\_001\\_G.pdf](http://212.55.137.35/CDI/00001_0196_001_G.pdf); consulta em: 12/12/2009).
- CARDOSO, José V. J. de Carvalho (1965) - *Os Solos de Portugal - sua classificação, caracterização e génese. 1 - A Sul do Tejo*. Secretaria de Estado da Agricultura, Direcção-Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa.
- CASACA, João; MATOS, João L.; BAILO, Miguel (2005) – *Topografia Geral*. 4ª Edição, LIDEL – Edições Técnicas, Lda., Lisboa.
- C.M.S.M. (2009) - *Relatório de Ponderação de Avaliação Ambiental Estratégica*. Alteração do Plano Director Municipal de Salvaterra de Magos, Câmara Municipal de Salvaterra de Magos / Divisão de Planeamento e Urbanismo / Sector de Planeamento. (URL: [http://www.cm-salvaterrademagos.pt/NR/rdonlyres/908CF4B0-9163-42FA-9B6B-90625D6C7DE5/0/RELATORIO\\_PAEE.pdf](http://www.cm-salvaterrademagos.pt/NR/rdonlyres/908CF4B0-9163-42FA-9B6B-90625D6C7DE5/0/RELATORIO_PAEE.pdf); consulta em 24/06/2010).
- C.M.S.M. (1993) - *Plano Director Municipal. Relatório Descritivo e Propositivo do P.D.M., Vol. II*. Câmara Municipal de Salvaterra de Magos (C.M.S.M.) e Projectoplano: Consultores Económicos, S.A..
- COSTA, Carlos Nunes da (Ed.) e ROCHA, Marco S. (2006) – *A nova cartografia geológica para a Área Metropolitana de Lisboa*. In Cartografia Geológica Aplicada a Áreas Urbanas – o Caso da Área Metropolitana de Lisboa. Conferência Regional realizada em Alcochete de 3 a 6 de Maio de 2006, pp. 4-16.
- COQUE, Roger (1977) - *Géomorphologie*. Armand Colin, Paris.
- COSTA, J. C.; AGUIAR, C.; CAPELO, J.; LOUSÃ, M.; NETO, C. (1999) - *Biogeografia de Portugal Continental*. Quercetea, Volume 0, Bragança.
- C.C.D.R.L.V.T. (2010) - *Reserva Ecológica Nacional. Documento de Apoio à sua delimitação - Fichas técnicas*. Comissão de Coordenação da Região de Lisboa e Vale do Tejo (C.C.D.R.L.V.T.) / Direcção de Serviços de Ordenamento do Território / Divisão de Ordenamento do Território, Versão de 04/05/2010, Lisboa (Versão de trabalho não publicado).
- C.C.D.R.N. (2009) - *Delimitação da reserva ecológica nacional*. Comissão de Coordenação de Desenvolvimento Regional do Norte (C.C.D.R.N.). (URL: <http://www.ccr-norte.pt/ordenamento/guiaren.zip>; consulta em: 23/08/2010).
- C.N.R.O.A. (1973) - *Carta dos Solos de Portugal. Classificação e Caracterização dos Solos de Portugal. II Volume: Dados Analíticos das Unidades Pedológicas*. Ministério da Economia, Secretaria de Estado da Agricultura, Centro Nacional de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (C.N.R.O.A.), 6ª Ed.
- COSTA, Joaquim Botelho da (2004) - «Caracterização e constituição do solo». 7.ª Edição, Serviço de Educação e Bolsas, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

PAIS, João e ROCHA, DIAS, Rúben (2006) - *Cartografia Geológica do Cenozóico da Área Metropolitana*. In *Cartografia Geológica Aplicada a Áreas Urbanas – o Caso da Área Metropolitana de Lisboa*. Conferência Regional realizada em Alcochete de 3 a 6 de Maio de 2006, Carlos Nunes da Costa (Ed.), pp. 62-72. (também disponível no URL: <http://repositorio.lneg.pt/handle/10400.9/630>; consulta em 18/07/2010).

CHRISTOFOLETTI, António (1980) - *Geomorfologia*. 2ª Edição, Editora Edgard Blücher, Lda., 8ª Reimpressão 2003, São Paulo, Brasil.

CUSTODIO, Emilio; LLAMAS, Manuel Ramón (1983) - *Hidrología Subterránea*. 2.ª Edición, 2 Tomos, Barcelona, Ediciones Omega, S.A.

DAVID, J. S. (1976) - *Drenagem de estradas, caminhos de ferro e aeródromos. Estudo hidrológico. Determinação de caudais de ponta de cheia em pequenas bacias hidrográficas*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (L.N.E.C.), Lisboa.

DERRUAU, M. (1956) - *Précis de Géomorphologie*. Masson, 7.ª édition (1988), Paris.

DIAS, Maria Helena (1991) – *Leitura e Comparação de Mapas Temáticos em Geografia*. Memórias do Centro de Estudos Geográficos (CEG), n.º 13, UL/INIC, Lisboa.

D.G.R.A.H. (1981) - *Índice Hidrográfico e Classificação Decimal dos Cursos de Água de Portugal. Região Hidrográfica n.º 3. Tejo*. Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos (D.G.R.A.H.), Lisboa (URL: <http://snirh.pt/index.php?idMain=5&idItem=6&divisao=&scriptsitename=%2Findex.php%3FidMain%3D5%26idItem%3D6&go=1&QUE1=TI TULO&TERMO1=%CDndice+Hidrogr%E1fico+e+Classifica%E7%E3o+Decimal+dos+Cursos+de+%C1gua+de+Portugal&OP2=OR&QUE 2=AUTOR&TERMO2=&OP3=OR&TERMO3=&QUE3=ASSUNTO&palavras=9999999999&FORMassunto1=&FORMassunto2=&Button= PESQUISAR>; consulta em 02/09/2010).

EASTMAN, J. Ronald (2001) - *IDRISI Guide to GIS and Image Processing*. Clark University, Volume 2, U. S. A..

EPA (2006) - *Field Operations Manual for Assessing the Hydrologic Permanence and Ecological Condition of Headwater Streams*. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Research and Development, Washington, DC, U.S.A. (URL: <http://www.epa.gov/eerd/manual/headwater.htm>; consulta em 02/09/2010).

EA (2009) - *The Hyporheic Handbook. A handbook on the groundwater–surface water interface and hyporheic zone for environment managers*. Environment Agency (EA) Integrated catchment science programme, Science report: SC050070, Environment Agency, U.K. (URL: <http://www.hyporheic.net/>; consulta em 90/10/2010).

FERREIRA, Helena S.; LEITÃO, Botequilha André; RIBEIRO, Luís (2004) - *Metodologia para o Planeamento e Gestão sustentáveis dos recursos hídricos com ênfase nos recursos hídricos subterrâneos*. in 7.º Congresso da Água “Água - Qualidade de Toda a Vida”, 8 a 12 de Março de 2004, no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Lisboa (URL: <http://www.aprh.pt/congressoaqua2004/TEXTOS/COMUNICACOES.HTML>; consulta em 09/09/2010).

FERREIRA, Denise de Brum (1981) - *Carte Geomorphologique du Portugal*. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, n.º 8, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa (CEG/UL), Lisboa.

FERNANDES, Manuel de Matos (2006) - *Mecânica dos Solos. Conceitos e Princípios Fundamentais*. Volume I, F.E.U.P. Edições, Porto.

FOSTER, Stephen ; HIRATA, Ricardo ; GOMES, Daniel ; D'ELIA, Monica ; PARIS, Marta (2002) - *Protecção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais*. Banco Mundial, Washington, D.C. (URL: <http://www-wds.worldbank.org/external/default/main?pagePK=64193027&piPK=64187937&theSitePK=523679&menuPK=64187510&searchMenuPK>

=64187283&theSitePK=523679&entityID=000310607\_20070427092137&searchMenuPK=64187283&theSitePK=523679; consulta em 01/10/2010).

FREEZE, R. Allan e CHERRY, John A. (1979) - *Groundwater*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

GARCIA, R. A. C. (2002) – *Avaliação do Risco de Movimentos de Vertente na Depressão da Abadia (Torres Vedras)*. Tese de mestrado em Geografia Física e Ambiente, Universidade de Lisboa, 140 p. + anexo cartográfico, Lisboa (URL: [http://riskam.org/uk/index.php?option=com\\_content&view=article&id=17&Itemid=10](http://riskam.org/uk/index.php?option=com_content&view=article&id=17&Itemid=10); consulta em 09/09/2010).

GARCIA, R. A. C.; ZÊZERE, J. L. (2003) - *Avaliação de Riscos Geomorfológicos: Conceitos, Terminologia e Métodos de Análise. III Seminário Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território, Livro de Actas*, Vila Real, p. 299-308. (URL: [http://www.riskam.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=19&Itemid=29](http://www.riskam.org/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=29); consulta em 28/05/2010).

GARCIA, R. A. C.; ZÊZERE, J. L.; OLIVEIRA, S. C. (2007) – *A importância do processo de classificação de dados na cartografia: um exemplo na cartografia de susceptibilidade a movimentos de vertente. Dinâmicas geomorfológicas. Metodologia. Aplicação. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, Volume V, APGEOM, Lisboa, p. 265-279. (URL: [http://www.riskam.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=19&Itemid=29](http://www.riskam.org/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=29); consulta em 28/05/2010).

GASPAR, Joaquim Alves (2004) - *Dicionário de Ciências Cartográficas*. Coleção Geomática, LIDEL - Edições Técnicas, Lda., Lisboa.

GOMES, M. Pereira e SILVA, A. Antunes (1962) - *Um novo diagrama triangular para a classificação básica da textura do solo*. Garcia de Orta, Vol. 10, n.º 1, pp. 171-179, Lisboa.

GOOVAERTS, Pierre (1997) - *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Applied geostatistics series, Oxford University Press, Inc., New York, USA.

GOUDIE, A. S. (Ed.) (2004) - *Encyclopedia of Geomorphology*. Volume 1, 2. Routledge, Great Britain.

GUERRA, António José Teixeira e CUNHA, Sandra Baptista da (1994) - *Geomorfologia: uma actualização de bases e conceitos*. Editora Bertrand Brasil S.A., Brasil.

HAGGETT, Peter; CHORLEY, Richard J. (1969) - *Network Analysis in Geography*. Edward Arnold (Publishers) Ltd., London.

I.F.D.R./PT e D.G.F.C./ESP (2009) - *Programa Operacional de Cooperação Transfronteiriça Portugal-Espanha 2007-2013*. INSTITUTO FINANCEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO REGIONAL. PORTUGAL e D.G. DE FONDOS COMUNITARIOS. ESPAÑA (I.F.D.R./PT e D.G.F.C./ESP), Documento aprovado pela Comissão Europeia. (URL: [http://www.gren.pt/item3.php?lang=0&id\\_channel=34&id\\_page=204](http://www.gren.pt/item3.php?lang=0&id_channel=34&id_page=204); consulta em 25/06/2010).

I.G.P. (2008) - «Cartografia e Ortofotocartografia à escala 1:10 000. Normas técnicas de produção e reprodução». Instituto Geográfico Português (I.G.P.), Lisboa. (URL: <http://www.igeo.pt/Frameset-servicos.htm>; consulta em: 21/12/2009).

I.G.M. (2001) - *Água Subterrânea: Conhecer para Preservar o Futuro*. Instituto Geológico e Mineiro (I.G.M.) Versão Online no site do INETI no URL: [http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes\\_online/diversos/agua\\_subterranea/indice.htm](http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/indice.htm); consulta em 27/09/2010).

INAG (2010) - *Relatório do Estado do Abastecimento de Água e da Drenagem e Tratamento de Águas Residuais. Sistemas Públicos Urbanos. INSAAR 2009. (Dados 2008; Campanha 2009)*. Inventário Nacional de Sistemas de

Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INSAAR), Instituto da Água, I. P. (INAG), Lisboa. (URL: <http://insaar.inag.pt/index.php?id=21&year=2009>; consulta em 24/06/2010).

INAG (2009) - *Relatório do Estado do Abastecimento de Água e da Drenagem e Tratamento de Águas Residuais. Sistemas Públicos Urbanos. INSAAR 2008. (Dados 2007; Campanha 2008)*. Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INSAAR), Instituto da Água, I. P. (INAG), Lisboa. (URL: <http://insaar.inag.pt/index.php?id=21&year=2008>; consulta em 24/06/2010).

INAG (2001) - *Programa Nacional para o uso eficiente da água*. Instituto da Água. (URL: <http://www.inag.pt/inag2004/port/divulga/publicas.html#oferta>; consulta em 24/06/2010).

INAG e C.G. (1997) - *Definição, Caracterização e Cartografia dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. Instituto da Água (INAG) e Centro de Geologia (C.G.) da Universidade de Lisboa, Lisboa.

INAG (2001) - *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo, Relatório Final*. Instituto da Água (INAG), Lisboa. (URL: [http://www.inag.pt/inag2004/port/a\\_intervencao/planeamento/pbh/pbh03.html](http://www.inag.pt/inag2004/port/a_intervencao/planeamento/pbh/pbh03.html); consulta em 13/12/2009).

INAG (2000) - *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo, 1ª Fase, Análise e Diagnóstico da Situação de Referência, Volume III - Análise, Parte C - Subsistema Ambiental*, Rev. 2, 31 de Outubro de 2000, Instituto da Água (INAG), Lisboa. (URL: [http://www.inag.pt/inag2004/port/a\\_intervencao/planeamento/pbh/pbh03.html](http://www.inag.pt/inag2004/port/a_intervencao/planeamento/pbh/pbh03.html); consulta em 13/12/2009).

INAG (1999) - *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo, 1ª Fase, Análise e Diagnóstico da Situação de Referência, Volume III - Análise, Parte A - Sub-Sistema Hidrológico*, Rev. 1, 15 de Outubro de 1999, Instituto da Água (INAG), Lisboa (URL: [http://www.inag.pt/inag2004/port/a\\_intervencao/planeamento/pbh/pbh03.html](http://www.inag.pt/inag2004/port/a_intervencao/planeamento/pbh/pbh03.html); consulta em 13/12/2009).

INAG e DGADR (2008) - *Poluição Provocada por Nitratos de origem agrícola. Directiva 91/676/CEE, de 12 de Dezembro de 1991 – Relatório (2004-2007)*. Instituto da Água, I. P. e Direcção-Geral da Agricultura e Desenvolvimento Rural (INAG e DGADR), Lisboa.

I.N.E. (2009) - *Anuário Estatístico da Região Alentejo 2008*. Instituto Nacional de Estatística, I. P. (I.N.E.), Lisboa. (URL: [http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_publicacoes&PUBLICACOESpub\\_boui=79281617&PUBLICACOESmodo=2](http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=79281617&PUBLICACOESmodo=2); consulta em 22/06/2010).

I.N.M.G. (1991) - *O Clima de Portugal. Normais Climatológicas da Região de "Ribatejo e Oeste" correspondentes a 1951-1980*. Fascículo XLX, Volume 2 - 2.ª Região, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG), Lisboa.

JULIÃO, R. P. (Coord.); NERY, Fernanda; RIBEIRO, José Luís; BRANCO, Margarida Castelo; ZÊZERE, José Luís. (2009) - *Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (sig) de base municipal*. Ed. Autoridade Nacional da Protecção Civil (ANPC), Lisboa. (URL: [http://www.proxiv.pt/Documents/guia\\_metodologico\\_SIG.pdf](http://www.proxiv.pt/Documents/guia_metodologico_SIG.pdf), consulta em 08/06/2010).

KLIMASZEWSKI, M. (1962) – *Conference of the Subcommission on Geomorphological Mapping, Poland, 3-12 May, 1962*. In *Zeitschrift für Geomorphologie*, Neue Folge, Band 6 (3/4), Berlin – Nikolassee, pp. 357-359.

KLIMASZEWSKI, M. (1988) – *On constructing detailed geomorphological maps*. In *Zeitschrift für Geomorphologie*, Neue Folge, Band 32 (4), Berlin – Stuttgart, pp. 457-470.

LACERDA, Manuel (2008) - *Desafios e Oportunidades para a Gestão Integrada da Água na RH do Tejo*. Gestão Integrada de Recursos Hídricos nas Regiões Hidrográficas de Portugal Continental. Faro, 4 de Dezembro de 2008. URL: <http://sites.google.com/site/jppmonteiro/aih-arh%28s%29-ualq-4-dez-2008>; consulta em 22/06/2010).

LEITÃO, Teresa E.; LOBO FERREIRA, J. P.; OLIVEIRA, Manuel M.; MOINANTE, M. João (2003) - *Poluição de águas subterrâneas: principais problemas, processos de prevenção e de reabilitação*. 6.º SILUSBA – Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, pp. 147-163 (URL: [http://www.aprh.pt/texto/6silusba\\_cd.html](http://www.aprh.pt/texto/6silusba_cd.html); consulta em 01/10/2010).

LENCASTRE, Armando e FRANCO, F. M. (2010) - *Lições de Hidrologia*. Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 3.ª edição revista, 2.ª reimpressão, Lisboa.

LENCASTRE, Armando (1996) - *Hidráulica Geral*. Edição do Autor, Lisboa.

LEOPOLD, Luna B.; WOLMAN, M. Gordon; MILLER, John P. (1964) - *Fluvial Processes in Geomorphology*. W. H. Freeman and Company, San Francisco and London.

LOBO FERREIRA, João Paulo; DIAMANTINO, Catarina; LEITÃO, Teresa E.; OLIVEIRA, Manuel; MOINANTE, Maria João (2004) – *Valorização e Protecção da Zona Costeira Portuguesa: Aspectos temáticos relativos à componente águas subterrâneas*. in 7.º Congresso da Água “Água - Qualidade de Toda a Vida”, 8 a 12 de Março de 2004, no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Lisboa (URL: <http://www.aprh.pt/congressoagua2004/TEXTOS/COMUNICACOES.HTML>; consulta em 01/10/2010).

LOBO FERREIRA, João Paulo; OLIVEIRA, Manuel M.; LEITÃO, Teresa Eira; NOVO, Maria Emília; MOINANTE, Maria João; MOREIRA, Paula; HENRIQUES, Maria José (1999) - *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo - 1.ª Fase - Análise e Diagnóstico da Situação Actual. Anexo Temático 4 - Recursos Hídricos Subterrâneos, Tomo B - Caracterização do Balanço Hídrico Subterrâneo*. Estudo realizado para a Hidrotécnica Portuguesa - Consultores para Estudos e Projectos Lda., Relatório PBH - Tejo Proc. 607/1/13022 – LNEC.DH.GIAS, Lisboa.

LOBO FERREIRA, J. P. Cárcamo (1998) - *Vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas: fundamentos e conceitos para uma melhor gestão e protecção dos aquíferos de Portugal*. in 4.º Congresso da Água "A Água como Recurso Estruturante do Desenvolvimento", FIL - 23 a 27 de Março de 1998, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos; Lisboa (URL: [http://www.aprh.pt/congressoagua98/files/c\\_titul.htm](http://www.aprh.pt/congressoagua98/files/c_titul.htm); consulta em 01/10/2010).

LOBO FERREIRA, J. P. Cárcamo; OLIVEIRA, Manuel Mendes de; MOINANTE, Maria João; HENRIQUES, Maria José (1997) - *Cartografia automática da vulnerabilidade de aquíferos com base na aplicação do método DRASTIC. Relatório Final*. Estudo realizado para o Instituto da Água, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Departamento de Hidráulica, Grupo de Investigação de Águas Subterrâneas, Relatório 60/97, Proc. Nº 607/19/10665, Lisboa.

LNEG (2010) - *Glossário de Termos Hidrogeológicos*. Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Instituto Público (L.N.E.G., I. P.), Lisboa. URL: [http://e-geo.ineti.pt/bds/lexico\\_hidro/lista\\_termos.aspx](http://e-geo.ineti.pt/bds/lexico_hidro/lista_termos.aspx); consulta em 18/09/2010).

LONGLEY, Paul A.; GOODCHILD, Michael F.; MAGUIRE, David J.; RHIND, David W. (2001) – *Geographic Information Systems and Science*. John Wiley and Sons Ltd., Chichester.

MCHARG, Ian L. (1992) - *Design with nature*. John Wiley & Sons, Inc., USA.

MATOS, João L. (2001) – *Fundamentos de Informação Geográfica*. 2ª Edição, LIDEL – Edições Técnicas, Lda., Lisboa.

MATIAS, João Manuel Gonçalves (2010) - *Subsistema Aquífero da Mata do Urso: Vulnerabilidade Natural e Risco de Contaminação*. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra para a obtenção do grau de Mestre em Geociências, na Área de Especialização em Ambiente e Ordenamento. Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, Coimbra (URL: <http://www.pluridoc.com/Site/FrontOffice/default.aspx?lang=pt>; consulta em 27/09/2010).

MARSH, William M. (1983) - *Landscape Planning: Environmental Applications*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., University of Michigan, Flint.

MARTINS, António Antunes (1999) – *Caracterização Morfotectónica e Morfossedimentar da Bacia do Baixo Tejo. (Pliocénico e Quaternário)*. Dissertação apresentada à Universidade de Évora para obtenção do grau de doutor no ramo de Geografia, na especialidade de Geografia Física, Departamento de Geociências da Universidade de Évora, Évora.

MARTINS, Célia (2005) - *Estratégias de desenvolvimento no contexto de afirmação numa Europa alargada: as cimeiras luso-espanholas*. Actas X Colóquio Ibérico de Geografia A Geografia Ibérica no Contexto Europeu, Évora, Universidade de Évora, 22 a 24 de Setembro de 2005. (URL: <http://www.apgeo.pt/index.php?section=128&module=navigationmodule>; consulta em 26/06/2010).

M.M.A. (2004) - «Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología». Série Monografias, Ministerio de Medio Ambiente (M.M.A.), Secretaría General de Medio Ambiente (SGMA), 5.ª reimpressão, Madrid.

M.A.O.T.D.R. (2006) - *PEAASAR II. Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais 2007 – 2010*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Rural (M.A.O.T.D.R.). (URL: <http://www.maotdr.gov.pt/CmsPage.aspx?PageIndex=220&ID=53>; consulta em 26/06/2010).

MENDES, Casimiro J.; BETTENCOURT, M. L. (1980) - *O Clima de Portugal. Balanço Hídrico e Clima do Arquipélago da Madeira*. Fascículo XXIV, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG), Lisboa.

MENDONÇA, J. Lopo (2009) - *Algumas considerações sobre os sistemas aquíferos da Bacia do Baixo Tejo. Sessão de Debate sobre Águas Subterrâneas na Bacia do Tejo e Ribeiras do Oeste*. Lisboa - Hotel Tivoli Oriente - 13 de Novembro de 2009 (URL: <http://www.arhtejo.pt/web/guest/apresentacoes-2009>; consulta em 01/10/2010).

MENDONÇA, J. J. (1990) – *Sistema Aquífero Aluvionar do Vale do Tejo (V. N. da Barquinha a Alverca): Características e Funcionamento Hidráulico*. Coimbra, Tese de Doutoramento, Centro de Geociências da Universidade de Coimbra.

MORISAWA, Marie (1985) - *Rivers*. Geomorphology Texts, 7, Longman Group Limited, England.

OLIVEIRA, M. M. (2003) - *Estudo (Teórico) da Infiltração Profunda em Solos Arenosos Francos*. in Seminário Sobre Águas Subterrâneas, 27 e 28 de Fevereiro, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos /CEAS, Lisboa (URL: [http://www.dha.inec.pt/nas/pdf/Seminario\\_AS\\_MMO\\_20030210.pdf](http://www.dha.inec.pt/nas/pdf/Seminario_AS_MMO_20030210.pdf); consulta em 13/12/2009).

OLIVEIRA, Manuel Mendes e LOBO FERREIRA, João Paulo C. (2002) - *Proposta de uma metodologia para a definição de áreas de infiltração máxima*. Comunicação apresentada no 6.º Congresso da Água, A Água é d'Ouro – Ameaças, Segurança e Soluções, Centro de Congressos da Alfândega do Porto, de 18 a 22 de Março, 16 pp, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Lisboa (URL: <http://www.aprh.pt/congressoaqua2002/geral/comunic/comunic.htm>; consulta em: 13/12/2009).

OLIVEIRA, Manuel Mendes e LOBO FERREIRA, João Paulo C. (1998) – *Cartografia automática da vulnerabilidade de aquíferos com base na aplicação do método DRASTIC*. in 4º Congresso da Água "A Água como Recurso Estruturante do Desenvolvimento", FIL - 23 a 27 de Março de 1998, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos; Lisboa (URL: [http://www.aprh.pt/congressoaqua98/files/c\\_titul.htm](http://www.aprh.pt/congressoaqua98/files/c_titul.htm); consulta em 01/10/2010).

PARALTA, Eduardo; OLIVEIRA, Manuel M.; BATISTA, Sofia; FRANCÉS, Alain; RIBEIRO, Luís F.; CEREJEIRA, Maria José (2001) - *Aplicação de SIG na avaliação da vulnerabilidade aquífera e cartografia da contaminação*

agrícola por pesticidas e nitratos na região do Ribatejo. In: Seminário sobre a Hidroinformática em Portugal, Lisboa, LNEC, 15-16 Nov. 2001 (URL: <http://repositorio.lneg.pt/handle/10400.9/516>; consulta em 03/10/2010).

PEZINNI, A. Junior; OVALLE, A. R. C. (2009) – *Caracterização do sedimento e dos parâmetros físico-químicos em uma área de deposição de sedimentos no rio Paraíba do Sul (RJ): sua similaridade com a dinâmica das zonas hiporreicas*. *Geochimica Brasiliensis*, 23(2) 255-276. (URL: [www.sbgq.org.br/arquivos/art10360.pdf](http://www.sbgq.org.br/arquivos/art10360.pdf); consulta em 25/09/2010).

PIEPADE, Aldina Maria Martins (2009) - *Modelação espacial em sistemas de informação geográfica da susceptibilidade a deslizamentos na área de Lousa-Loures*. Dissertação de Mestrado em Gestão do Território, área de especialização em Detecção Remota e Sistemas de informação Geográfica, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. (URL: [http://www.riskam.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8&Itemid=9](http://www.riskam.org/index.php?option=com_content&view=article&id=8&Itemid=9); consulta em 28/08/2010).

PORTO EDITORA (2004) – *Dicionário da Língua Portuguesa*. Dicionários Editora. Porto Editora, Porto.

QUINTELA, António de Carvalho (2009) - *Hidráulica*. Fundação Calouste Gulbenkian, 11.ª edição, Lisboa.

RAMOS, Catarina (2005a) – *Os Recursos Hídricos*. In MEDEIROS, Carlos Alberto (Direcção) e FERREIRA, António de Brum (Coordenação) (2005) - *Geografia de Portugal. O Ambiente Físico*. Vol. 1, Ed. Círculo de Leitores e Autores, Lisboa, pp. 388-415.

RAMOS, C.; REIS, E.; RAMOS PEREIRA, A.; AZEVEDO, M. T.; NUNES, E.; Freitas, M. C.; ANDRADE, C. (2001) - *Contaminação em metais pesados na lezíria ribatejana. Os resultados de duas sondagens na Quinta da Boavista e em Fonte Bela*. IV Congresso da Geografia Portuguesa, Associação Portuguesa de Geógrafos (APG), Volume de resumos, Lisboa, pag. 56-57 (URL: [http://www.apgeo.pt/files/docs/CD\\_IV\\_Congresso\\_APG/Actas\\_CD/amb\\_met.htm](http://www.apgeo.pt/files/docs/CD_IV_Congresso_APG/Actas_CD/amb_met.htm); consulta em 09/10/2010).

RAMOS, Catarina (2005b) - *Programa de Hidrogeografia*. Universidade de Lisboa, Centro de Estudos Geográficos, Linha de Investigação em Dinâmica Litoral e Fluvial (DILIF) – 3, Lisboa. (URL: <http://www.ceg.ul.pt/investigadores.asp?id=26&tab=4#>; consulta em 28/08/2010).

RAMOS, Catarina (2009) - *Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território*. Programa de Unidade Curricular do 2.º Ciclo, Núcleo de Investigação em Sistemas Litorais e Fluviais: Dinâmicas, Mudanças Ambientais e Ordenamento do Território SLIF - 6, C.E.G./U.L., Lisboa.

RAMOS PEREIRA, Ana; RAMOS, Catarina; LARANJEIRO, Manuela (2000) – *A Reserva Ecológica Nacional (REN): sua importância para o ambiente e o ordenamento do território*. In *Revista Portuguesa de Geografia Finisterra*, Vol. XXXV, n.º 70, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Lisboa, pp. 7-40.

RAMOS PEREIRA, A. (Coord. e Invest.); RAMOS, C.; GOMES, M.; LARANJEIRA, M. M.; NEVES, M. (1997) - *Parâmetros, Indicadores e Índices Biofísicos e a Selecção dos Concelhos-tipo*. Vol. 2 do Projecto JNICT/DGOT, PEAM/P/DGT/330/94 (10/94). In *Metodologias de Avaliação da Reserva Ecológica Nacional nos Planos Directores Municipais (MAREN)*, Lisboa, 66 p.

RAMOS PEREIRA, A.; RAMOS, C. e Colaboradores (2000) - *Contrastes Espaciais Concelhos de Algumas Componentes Ambientais em Portugal Continental*. Linha de Investigação em Dinâmica Litoral e Fluvial, DILIF-1, Centro de Estudos Geográficos, U.L., Lisboa, 40p. (URL: [http://www.riskam.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=44&Itemid=54](http://www.riskam.org/index.php?option=com_content&view=article&id=44&Itemid=54); consulta em 03/08/2010).

RAMOS PEREIRA, A. e GOMES, Manuel (1996) - *Educação Ambiental e Geografia*. In *Inforgo*, 11, *Culturas, Identidade e Território*, Dez., pp. 135-150, Lisboa. (URL: [http://www.apgeo.pt/files/section44/1234189857\\_INFORGEO\\_11\\_p135a150.pdf](http://www.apgeo.pt/files/section44/1234189857_INFORGEO_11_p135a150.pdf); consulta em 21/08/2010).

RAWLS, W. J. e BRAKENSIEK, D. L. (1989) - *Estimation of soil water retention and hydraulic properties*. In Morel-Seytoux, H.J. (ed.) Unsaturated flow in hydrologic modeling. Fort Collins, USA.

REIS, Eusébio Joaquim Marques dos (2006) - *As Bacias Hidrográficas das Ribeiras da Serra de Grândola. Dinâmica Hidrológica e Factores Condicionantes*. Doutoramento em Geografia (Geografia Física), Departamento de Geografia, F.L.U.L., Lisboa.

REIS, Eusébio Joaquim Marques dos (1996) - *Aplicação dos Sistema de Informação Geográfica na Análise Morfológica de Bacias Hidrográficas*. Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos, I.S.T./U.T.L., Lisboa.

RIBEIRO, Luís; SALGUEIRO, Rita; AMARO, Sónia; NASCIMENTO João; OLIVEIRA, Elisabete (2002) - *Classificação dos sistemas aquíferos de Portugal Continental segundo a sua produtividade*. Comunicação apresentada 6.º Congresso da Água, A Água é d'Ouro – Ameaças, Segurança e Soluções, Centro de Congressos da Alfândega do Porto, de 18 a 22 de Março, 13 pp. (URL: <http://www.aprh.pt/congressoagua2002/geral/comunic/comunic.htm>; consulta em: 13/12/2009).

RIBEIRO, Luís e MENDES, Maria Paula (2010) - *Definições e critérios de delimitação para as várias tipologias de área integradas em Recursos hídricos subterrâneos*. Centro de Geossistemas, IST/UTL. (URL: <http://cnren.dgotdu.pt/cnren/Documents/Forms/AllItems.aspx?RootFolder=%2fcnren%2fDocuments%2fDocumentos%20P%3%bablicos%2fRelat%3%b3riosDom%3%adnioTem%3%a1tico&FolderCTID=&View=%7bE4BFAB95%2dE511%2d4A15%2d8B89%2d9ACADBE072F9%7d>; consulta em 25/09/2010).

ROBINSON, Arthur H.; SALE, Randall D.; MORRISON, Joel L.; MUEHRCKE, Phillip C. (1987) – *Elementos de Cartografia*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona.

SIMÕES, Maria Manuela Malhado (1998) - *Contribuição para o conhecimento hidrogeológico do Cenozóico na Bacia do Baixo Tejo*. Dissertação para obtenção do grau de doutor em Geologia, na especialidade de Hidrogeologia. Universidade Nova de Lisboa. (URL: <http://run.unl.pt/handle/10362/1152>; consulta em: 13/12/2009).

SOARES, Amílcar (2006) - *Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente*. Coleção Ensino da Ciência e da Tecnologia (2ª Edição), IST Press, Lisboa.

S.R.O.A. (1974) - *A Classificação dos Solos de Portugal - nova versão*. Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário (S.R.O.A.), Boletim de Solos 17: 14 - 46.

S.R.O.A. (1972) - *Carta de capacidade de uso dos solos de Portugal. Bases e normas adoptadas na sua elaboração (Região a sul do Tejo)*. Boletim de Solos n.º 12, Ministério da Economia, Secretaria de Estado da Agricultura, Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário (S.R.O.A.), Lisboa.

S.R.O.A. (1970) - *Carta dos Solos de Portugal. I Volume: Classificação e Caracterização Morfológica dos Solos*. Ministério da Economia, Secretaria de Estado da Agricultura, Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário (S.R.O.A.), 6ª Ed., Lisboa.

S.S.D.S. (1993) - *Soil survey manual*. Soil Survey Division Staff (S.S.D.S.), Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18, Washington, DC. (URL: <http://soils.U.S.D.A.gov/technical/manual/>; consulta em 26/11/2009).

S.S.S. (2009) - *National Soil Survey Handbook*. Soil Survey Staff (S.S.S.), National Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, title 430-VI. (URL: <http://soils.U.S.D.A.gov/technical/handbook/>; consulta em 26/11/2009).

STERN, N. (2006) - *Stern Review on the economics of climate change*. (URL: [http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.hm-treasury.gov.uk/independent\\_reviews/stern\\_review\\_economics\\_climate\\_change/stern\\_review\\_report.cfm](http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm); consulta em 24/06/2010).

STCNREN (2010) - *Harmonização de definições e critérios de delimitação para as várias tipologias de área integradas em REN. Documento enquadrado pelo Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de Agosto*. Secretariado Técnico da Comissão Nacional da Reserva Ecológica Nacional (STCNREN), [DT.01/2009.v2.0] (URL: <http://cnren.dgotdu.pt/cnren/Documents/Forms/AllItems.aspx?RootFolder=%2fcnren%2fDocuments%2fDocumentos%20P%3%bablicos%2fHarmoniza%3%a7%3%a3o&FolderCTID=&View=%7bE4BFAB95%2dE511%2d4A15%2d8B89%2d9ACADBE072F9%7d>; consulta em 25/09/2010).

SUMMERFIELD, Michael A. (1991) - *Global Geomorphology: an introduction to the study of landforms*. Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd, Singapore.

TEIXEIRA, José Augusto A. (2006) - *A água. Gestão e distribuição. Problemáticas*. pp. 48-52, in Valor Acrescentado - Prestações de Serviços Lda., o Investidor português em Angola, AGOSTO/SETEMBRO 2006, n.º 5, URL: [http://www.valoracrescentado-online.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=121](http://www.valoracrescentado-online.com/index.php?option=com_content&view=article&id=121); consulta em 01/10/2010 ).

TRIBE, Andrea (1992a) - *Problems in Automated Recognition of Valley Features from Digital Elevation Models and a New Method Toward Their Resolution*. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 17, n.º 5, The Journal of the British Geomorphological Research Group, John Wiley and Sons Limited, pp. 437-454, England.

TRIBE, Andrea (1992b) - *Automated recognition of valley lines and drainage networks from grid digital elevation models: a review and a new method*. *Journal of Hydrology*, n.º 139, Elsevier Science Publishers B.V., pp. 263-293, Amsterdam.

TRIBE, Andrea (1991) - *Automated Recognition of Valley Heads from Digital Elevation Models*. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 16, n.º 1, The Journal of the British Geomorphological Research Group, John Wiley and Sons Limited, pp. 33-49, England.

TRICART, Jean (1965) - *Principes et Méthodes de la Géomorphologie*. Masson et Cie, Paris.

VALLEJO, Luis I. González de; FERRER, Mercedes; ORTUÑO, Luis; OTEO, Carlos (2002) - *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación, Prentice Hall, Madrid.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur (1975) - *Hidrologia Aplicada*. Editora McGraw-Hill, Brasil, Lda.

U.S.D.A. (2009) - *National Engineering Handbook. Part 630, Hydrology, Chapter 7, Hydrologic Soil Groups*. United States Department of Agriculture (U.S.D.A.), Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C., USA. (URL: <http://soils.U.S.D.A.gov/technical/handbook/>; consulta em: 26/11/2009).

U.S.D.A. (1986) - *Urban Hydrology for Small Watersheds*. Technical Release 55, United States Department of Agriculture (U.S.D.A.), Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C., USA. (URL: [http://www.wsi.nrcs.U.S.D.A.gov/products/w2q/H&H/Tools\\_Models/other/TR55.html](http://www.wsi.nrcs.U.S.D.A.gov/products/w2q/H&H/Tools_Models/other/TR55.html); consulta em: 26/11/2009).

U.S.D.A. (2004) - *Saturated Hydraulic Conductivity: Water Movement Concepts and Class History*. Soil Survey Technical Note N.º 6, United States Department of Agriculture (U.S.D.A.), National Resources Conservation Service (NRCS), USA (URL: <http://soils.U.S.D.A.gov/technical/technotes/>; consulta em 17/04/2010).

U.S.D.A. (1978) - *National Engineering Handbook. Ground Water, Section 18*. United States Department of Agriculture (U.S.D.A.), Soil Conservation Service, USA. (URL: <http://policy.nrcs.U.S.D.A.gov/RollupViewer.aspx?hid=17092>; consulta em 26/11/2009).

VARENNE, Amarilis de (2003) - *Produtividade dos Solos e Ambiente*. Escolar Editora, Lisboa.

VEIGA da CUNHA *et al.* (2006) – *Recursos Hídricos. In Alterações Climáticas em Portugal. Cenário, Impactos e Medidas de Adaptação. Projecto SIAM II*, SANTOS, F. D. e MIRANDA, P. (editores), Gradiva, Lisboa.

VERDE, J. e ZÊZERE, J. L. (2007) - *Avaliação da perigosidade de incêndio florestal. Actas do VI Congresso da Geografia Portuguesa, Pensar e Intervir no Território. Uma Geografia para o Desenvolvimento*, Lisboa, CD-ROM, 17p. (URL: [http://www.riskam.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=19&Itemid=29](http://www.riskam.org/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=29); consulta em 28/05/2010).

ZBYSZEWSKI, Georges (1953) - *Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000. Notícia explicativa da folha 31-A (Santarém)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

ZBYSZEWSKI, Georges e FERREIRA, O. Da Veiga (1968) - *Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000. Notícia explicativa da folha 31-C (Coruche)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

ZÊZERE, J. L. (2005) - *Dinâmica de vertentes e riscos geomorfológicos. Programa. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Área de investigação em Geografia Física e Ambiente, relatório n.º 41*, Lisboa. (URL: [http://www.riskam.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=10&Itemid=12](http://www.riskam.org/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=12); consulta em 28/05/2010).

### **Componente cartográfica**

FERREIRA, Denise de Brum (1980) - *Mapa Geomorfológico de Portugal*. Escala 1: 500 000, Linha de Acção de Geografia Física, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa (C.E.G./U.L.), Lisboa.

I.N.E.T.I. (2005) – *Carta Geológica de Portugal*. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I. P. (I.N.E.T.I.), folhas 31A e 31C na escala 1/50K, folhas 364, 365 (31-A), 377, 378, 391, 392 (31-C), na escala 1/25K, Lisboa.

S.R.O.A. (1963) - *Carta dos Solos de Portugal na escala de 1:50 000, Folha 31-C*. Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário (S.R.O.A.), Ministério da Economia/Secretaria de Estado da Agricultura (ME/SEA), Lisboa.

S.R.O.A. (1977) - *Carta dos Solos de Portugal na escala de 1:50 000, Folha 31-A*. Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário (S.R.O.A.), Ministério da Agricultura e Pescas (M.A.P.), Lisboa.

ZBYSZEWSKI, Georges; MATOS, M.; DEUS, P. Carreira de; OLIVEIRA, J.; RODRIGUES, L. (1952) - *Carta Geológica de Portugal na escala de 1:50 000, Folha 31-A (Santarém)*. Serviços Geológicos (S.G.), Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos (D.G.M.S.G.), Lisboa.

ZBYSZEWSKI, Georges e FERREIRA, O. da Veiga; RODRIGUES, A.; RODRIGUES, L. (1967) - *Carta Geológica de Portugal na escala de 1:50 000, Folha 31-C (Coruche)*. Serviços Geológicos (SG), Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos (D.G.M.S.G.), Lisboa.

COSTA, J.C.; AGUIAR, C.; CAPELO, J.; LOUSÃ, M.; NETO, C. (1998) - *Carta Biogeográfica de Portugal*. Instituto Superior de Agronomia (ISA) / UTL, Lisboa.



UNIVERSIDADE DE LISBOA

INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO



**AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE HIDROGEOGRÁFICA  
À RECARGA AQUÍFERA EM MEIOS POROSOS.  
ESTUDO DE HIDROGEOGRAFIA.  
ANEXOS.**

**Valter Manuel Sanches Albino**

MESTRADO EM GEOGRAFIA FÍSICA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

2010



UNIVERSIDADE DE LISBOA



INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO



**AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE HIDROGEOGRÁFICA  
À RECARGA AQUÍFERA EM MEIOS POROSOS.  
ESTUDO DE HIDROGEOGRAFIA.  
ANEXOS.**

**Valter Manuel Sanches Albino**

MESTRADO EM GEOGRAFIA FÍSICA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

**Dissertação orientada pela  
Professora Doutora Ana Ramos Pereira**

2010



## A.1 - Glossário de termos e expressões.

**Águas superficiais:** as águas interiores, com excepção das águas subterrâneas, águas de transição, águas costeiras, incluindo-se nesta categoria, no que se refere ao estado químico, as águas territoriais (Lei n.º 28/2005, de 29/12).

**Águas subterrâneas:** todas as águas que se encontram abaixo da superfície do solo, na zona saturada, e em contacto directo com o solo ou com o subsolo (Lei n.º 58/2005, de 29/12).

**Água subsuperficial:** toda a água que ocorre abaixo da superfície do solo, incluindo a [água do solo](#), a [água capilar](#) e a [água subterrânea](#). Em inglês: *subsurface water* (LNEG, 2010).

**Água de percolação:** [Água vadosa](#), cuja circulação é predominantemente horizontal. Em Inglês: *percolating water* (LNEG, 2010).

**Aluviões:** Formação geológica composta por um conjunto de sedimentos recentes de materiais não consolidados (areias, cascalhos, argilas, lodos), depositados pelos cursos de água em condições de redução de carga fluvial. Estes depósitos constituem, muitas vezes, unidades aquíferas que podem ser importantes para a manutenção dos ecossistemas fluviais (ecossistemas aquáticos e ripários), uma vez que, tendo conexão hidráulica com os cursos de água, podem contribuir para o seu caudal, nos meses em que não há precipitação (RIBEIRO e MENDES, 2010, p. 38).

**Aquífero:** domínio espacial de uma formação geológica, limitado em superfície e em profundidade, que pode armazenar água em condições de ser explorada economicamente (DL n.º 382/1999, de 22/09). De acordo com a Lei n.º 58/2005, de 29/12, aquífero corresponde a uma ou mais camadas subterrâneas de rocha ou outros estratos geológicos suficientemente porosos e permeáveis para permitirem um escoamento significativo de águas subterrâneas ou a captação de quantidades significativas de águas subterrâneas.

**Aquífero não confinado** *sin.* **aquífero freático; aquífero livre:** Aquífero existente em terrenos permeáveis e que dispõe de uma superfície piezométrica livre e uma zona não saturada (segundo o Glossário Internacional de Hidrologia da UNESCO; URL: <http://hydrologie.org/glu/aglo.htm>; consulta em 01/10/2010; veja-se também VALLEJO *et al.* (2002, pp. 264-265).

**Aquífero artesiano:** Aquífero cuja superfície piezométrica se encontra acima da superfície do solo (utiliza-se por vezes, com pouca exactidão, como sinónimo de aquífero confinado) (segundo o Glossário Internacional de Hidrologia da UNESCO; URL: <http://hydrologie.org/glu/aglo.htm>; consulta em 01/10/2010).

**Aquífero confinado:** Aquífero limitado superior e inferiormente por formações impermeáveis ou quase impermeáveis (segundo o Glossário Internacional de Hidrologia da UNESCO; URL: <http://hydrologie.org/glu/aglo.htm>; consulta em 01/10/2010; veja-se também VALLEJO *et al.* (2002, p. 266).

**Áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos:** As áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos são as áreas geográficas que, devido à natureza do solo, às formações geológicas aflorantes e subjacentes e à morfologia do terreno, apresentam condições favoráveis à ocorrência de infiltração e recarga natural dos aquíferos e se revestem de particular interesse na salvaguarda da quantidade e qualidade da água a fim de prevenir ou evitar a sua escassez ou deterioração (DL n.º 166/2008, de 22/08).

**Armazenamento permanente:** quantidade de água que se manteria no volume hídrico representado pela porosidade eficaz do aquífero se fosse possível anular o escoamento de base natural, não realizar extracções de água e impedir a recarga do aquífero. Ou por outras palavras, é o volume de água existente na porosidade eficaz do aquífero, abaixo do nível piezométrico correspondente ao escoamento de base nulo. Este volume de água é dado pelo produto da porosidade eficaz pelo volume do aquífero abaixo do nível piezométrico correspondente ao escoamento de base nulo. Para o seu cálculo pode ser utilizada a equação  $AP = \sum(n_e \times B \times A)$ , onde  $n_e$  é a porosidade eficaz, B é a espessura do aquífero na zona de armazenamento permanente e A é a área do aquífero. O produto de A x B representa o volume do aquífero e o somatório refere-se a todos os volumes com propriedades idênticas de porosidade eficaz em que se pode dividir o aquífero (LOBO FERREIRA *et al.*, 1999, p. 67).

**Balanço hídrico:** de acordo com LNEG (2010) é o balanço da água que tem como objectivo principal estabelecer uma equação de equilíbrio entre as entradas e as saídas de água de uma dada região, ou seja, relacionar a realimentação de uma bacia com as perdas que essa mesma região sofreu durante determinado período de tempo, o que permite avaliar a variação do volume de água armazenado nos aquíferos. Num determinado intervalo de tempo, a equação do balanço hídrico num aquífero, lago, ou superfície de água livre é (eq. A.1):

$$P - ETP - R - I = \Delta S$$

**Equação A.1** – Balanço hídrico.

em que,  $P$  é a precipitação por unidade de tempo (entradas),  $ETP$  a evapotranspiração potencial,  $R$ , o deflúvio por unidade de tempo (saídas),  $I$  a infiltração,  $\Delta S$  as variações no armazenamento. Veja-se também RAMOS (2005b, pp. 30-31) e ponto 1.2.8.2 da dissertação; CUSTODIO e LLAMAS, 1983, pp. 2240-2244; LENCASTRE e FRANCO (2010, p. 327-338).

**Balanço hidrogeológico:** LENCASTRE e FRANCO (2010, p. 201) e DUNNE e LEOPOLD (1978, p. 219) referem que a equação pode ser escrita da seguinte forma: Volume entrado – volume saído = volume armazenado, em que: volume entrado = infiltração + vazamento das linhas de água, lagos, etc. + recarga artificial; o volume saído = evapotranspiração + vazamento para as linhas de água, lagos, etc. + bombagem; e o volume armazenado = variação da cota do lençol freático x cedência específica (aquíferos freáticos), ou variação da carga piezométrica x coeficiente de armazenamento (aquíferos confinados). Uma das aplicações do balanço hídrico é a determinação da recarga. De acordo com RIBEIRO e MENDES (2010, pp. 7-8), no balanço hídrico do solo, a recarga é estimada a partir da seguinte equação (eq. A.2):

$$R = P - Es - ETR \pm \Delta S$$

**Equação A.2** – Balanço hidrogeológico.

Em que:  $R$  é a recarga,  $P$  é a precipitação,  $Es$  é o escoamento superficial,  $ETR$  é a evapotranspiração real,  $\Delta S$  é a variação do conteúdo de humidade no solo. A recarga de aquíferos pode ser expressa em unidades mm ou em percentagem da precipitação. O conteúdo de humidade do solo tem como limite superior a capacidade de campo e inferior o valor 0. Entende-se aqui como capacidade de campo de um solo como o grau de humidade de um solo depois de perder toda a água gravítica. RIBEIRO e MENDES (2010, p. 20) referem que os métodos que utilizam a equação de balanço hídrico no solo são baseados no facto que a água que entra no aquífero é igual à quantidade que sai, mais ou menos a variação de volume de água que está armazenada. Na prática só algumas das componentes podem ser medidas directamente, como por exemplo a precipitação, enquanto outras como a evapotranspiração real ( $ETR$ ) e a  $ETP$  são estimadas. De acordo com RAMOS (2005b, pp. 30-31) a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração real ( $ETR$ ) corresponde à quantidade de água que alimenta a infiltração profunda ( $I$ , que vai recarregar as reservas de água subterrâneas) e o escoamento superficial ( $Es$ ); assim:  $P = ETR + I + Es$ . São estas 2 últimas componentes do balanço hidrogeológico que definem o escoamento (subterrâneo e superficial) e permitem avaliar as potencialidades hídricas naturais de uma dada região ou recursos hídricos renováveis (veja-se também CUSTODIO e LLAMAS, 1983, pp. 2244-2248).

**Cabeceiras das linhas de água:** áreas côncavas situadas na zona montante das bacias hidrográficas, tendo por função o apanhamento das águas pluviais, onde se pretende promover a máxima infiltração das águas pluviais e reduzir o escoamento superficial e, conseqüentemente, a erosão (DL n.º 90/1990, de 19/03).

**Capacidade de campo:** A capacidade de campo é a quantidade máxima de água que um solo pode reter quando, depois de saturado, deixa a drenagem operar livremente. Isto é, corresponde à quantidade de água que fica retida, após finalizar a drenagem interna, e coincide com o máximo de água capilar e denomina-se capacidade de campo. Não possui significado físico, pois o valor depende do volume de drenagem interna, todavia, possui interesse para fins agronómicos. A sua determinação em laboratório permite avaliar de forma aproximada a capacidade de retenção do solo para a água nas condições naturais. Geralmente corresponde ao teor de água retido a  $pF$  entre 2,0 e 2,5, variando conforme a textura dos solos, devendo corresponder os menores valores a solos de textura grosseira e os maiores valores aos de textura média e fina. Pode ser expresso em volume, percentagem de volume e altura de água. Veja-se também CUSTODIO e LLAMAS (1983, p. 311). De acordo com LNEG (2010) é um parâmetro que mede a capacidade de um solo para reter a água. Pode ser definido como o teor de humidade que permanece num determinado solo após um longo período de drenagem gravitacional, sem suprimento de água na superfície do terreno. O mesmo que retenção específica. Calcula-se segundo a expressão:  $n_s = V_s/V_T$ , onde  $n_s$  é a retenção específica,  $V_s$  o volume de água retida depois de evacuada a água gravítica,  $V_T$  o volume total.

**Capilaridade:** de acordo com LNEG (2010) é um fenómeno que envolve a subida do nível de água do solo, através de fendas minúsculas, em oposição à força da gravidade. LENCASTRE e FRANCO (2010, p. 178) referem que a capilaridade

é dirigida verticalmente (para cima e para baixo), e lateralmente (veja-se também CUSTODIO e LLAMAS, 1983, pp. 554-558; QUINTELA, 2009, p. 7; LENCASTRE, 1996, p. 257).

**Carga hidráulica:** Altura de uma coluna de água medida num piezómetro ligado a um ponto de um aquífero. O mesmo que nível piezométrico, carga piezométrica ou potencial hidráulico (LNEG, 2010).

**Cedência específica:** razão entre o volume de água cedido por drenagem gravítica e o volume total da amostra (LNEG, 2010).

**Coefficiente de armazenamento:** parâmetro hidrogeológico adimensional que corresponde ao volume de água libertado por uma coluna de aquífero de altura igual à sua espessura e secção unitária, ao diminuir a carga hidráulica (nível piezométrico) de uma unidade. Nos aquíferos livres o valor do coeficiente de armazenamento coincide praticamente com o valor da porosidade eficaz e o seu valor costuma oscilar entre 0,01 e 0,04. Nos aquíferos confinados o valor deste coeficiente é muito inferior ao da porosidade eficaz, apresentando, geralmente, valores compreendidos entre  $10^{-3}$  e  $10^{-6}$  (LNEG, 2010). De acordo com ALMEIDA *et al.* (2000, p. 15) corresponde à razão entre o volume de água cedido por uma coluna de aquífero de secção unitária, sob a acção de uma descida do nível piezométrico e o valor dessa descida.

**Classificação de aquíferos:** os aquíferos podem ser classificados de acordo com a localização geográfica, pressão da água, de acordo com a geologia do material saturado e ainda de acordo com a pressão da água e capacidade de transmissão de água (LNEG, 2010) (fig. A.1).

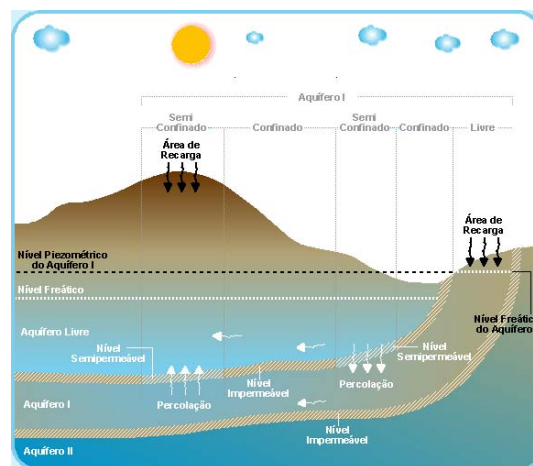


Fig. A.1 – Classificação de aquíferos (Ext. de LNEG, 2010, URL: [http://e-geo.ineti.pt/bds/lexico\\_hidro/glossario.aspx?letra=C](http://e-geo.ineti.pt/bds/lexico_hidro/glossario.aspx?letra=C))

Para além da classificação do tipo de aquífero como sendo aquífero livre/freático, suspenso (típico de aquíferos livres), confinado/artesiano/cativo ou semi-confinado (quando há drenância), as formações geológicas também podem ser classificadas quanto à capacidade de conter/ ao conteúdo e de ceder/transmitir água em: aquíferos, aquíferos, aquíferos, aquíferos e aquíferos. Os  aquíferos : formações geológicas que permitem a circulação e armazenamento de água nos seus espaços vazios, possibilitando o seu aproveitamento pelo Homem em quantidades economicamente apreciáveis. Os melhores aquíferos são as formações porosas, de elevada permeabilidade situadas em áreas deprimidas (fundos de vale, depressões), para onde a água converge, e que funcionam como “esponjas”, e os calcários carsificados, onde condutas e grutas naturais funcionam como reservatórios subterrâneos de água. Podem existir vários aquíferos sobrepostos, pelo que a investigação e gestão dos recursos hídricos subterrâneos deve ser feita a partir de unidades designadas sistemas aquíferos. Um sistema aquífero é um domínio espacial, limitado em superfície e em profundidade, no qual existe um ou vários aquíferos, relacionados ou não entre si. Os  aquíferos : formações geológicas que contêm água, mas cuja transmissão é extraordinariamente lenta, não servindo por isso para a extracção da água em quantidades economicamente rentáveis, mas podendo desempenhar um papel importante na recarga dos aquíferos adjacentes. Um exemplo é constituído pelas formações de argilas siltosas ou arenosas. Os  aquíferos : formações geológicas que contêm água, podendo ir até à saturação, mas não a transmitem, por possuírem uma capacidade de retenção muito forte, impossibilitando assim a sua extracção. Exemplo deste tipo são as formações com elevado teor em argila. Os  aquíferos : formações geológicas que não contêm água, nem a pode transmitir, como por exemplo, um maciço granítico ou uma formação metamórfica não alterados, nem fendilhados (RAMOS, 2005, p. 87; LENCASTRE e FRANCO, 2010, pp. 195-196; veja-se também CUSTODIO e LLAMAS, 1983, pp. 259-260, 264-265; FREEZE e CHERRY, 1979, pp. 47-48; VALLEJO et al. (2002, p. 264).

**Coefficiente de emurchecimento permanente:** corresponde a um limite fisiológico de extracção de água para a maior parte da flora cultivada, em ausência de salinidade. Conteúdo de água do solo na zona das raízes abaixo do qual as raízes são incapazes de extrair água. Depende das plantas e ao longo do ciclo da planta. O seu valor é superior em solos argilosos do que em solos arenosos. Para a determinação laboratorial, aceita-se que o CE corresponde a um teor de água retido a uma tensão de 15000 cm de altura de água, ou seja,  $pF$  4,2. Pode ser expresso em volume, percentagem de volume e altura de água. CUSTODIO e LLAMAS (1983, p. 311).

**Compacção:** força exercida nos sedimentos, pelo peso dos sedimentos suprajacentes e que provoca expulsão de fluidos e coesão dos materiais, sendo um dos processos que ocorre na litificação das rochas (LNEG, 2010).

**Condutividade hidráulica:** ALMEIDA *et al.* (2000, pp. 17-18) refere que a condutividade hidráulica, é um parâmetro que expressa a permeabilidade de um meio (entendendo-se esta num sentido qualitativo). Estabelece a relação entre o escoamento específico (= velocidade de Darcy) e o gradiente hidráulico na lei de Darcy. A condutividade hidráulica é função das propriedades do meio e do fluido, dependendo, portanto, da temperatura. Por vezes é usado o termo permeabilidade como sinónimo de condutividade hidráulica, mas esse uso deve ser abandonado. Dimensões:  $[LT^{-1}]$ . De acordo com U.S.D.A. (2004, p. 7), a condutividade hidráulica saturada é uma medida quantitativa da facultade de um solo saturado transmitir água quando submetido a um gradiente hidráulico. Isto é, será a facilidade com que os poros de um solo saturado permitem o movimento da água. É afectada pelas propriedades do solo e do fluido, ou seja, depende da geometria dos poros do solo e da viscosidade e densidade do fluido (Quadro A.1).

Quadro A.1 - Comparação entre condutividade hidráulica saturada e permeabilidade intrínseca  
(Ext. de U.S.D.A. (2004), p. 7, de acordo com Skopp, 1994).

Condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ )	Permeabilidade intrínseca ( $k$ )
Dependente da temperatura	Independente da temperatura
Dependente da viscosidade do fluido	Constante, sem importar a viscosidade do fluido, a não ser que o líquido modifique a estrutura do solo
Modifica-se com alteração na estrutura	Modifica-se com alteração na estrutura
As dimensões dependem do fluxo e gradiente; o tempo é um componente	As dimensões são comprimento <sup>2</sup> ( $cm^2$ ), que é uma unidade de área; o tempo não é um componente

Calcula-se utilizando-se a lei de Darcy:  $K = J/i$ , onde  $J$  é o fluxo e  $i$  o gradiente hidráulico. As unidades e dimensões dependem daquelas utilizadas para medir o gradiente hidráulico (massa, volume ou peso) e fluxo (massa ou volume). Quando o fluxo e o potencial de água são expressos como uma massa, as unidades de  $K_s$  são  $kg\cdot s/m^3$ . Se ambos são expressos numa base de volume,  $K_s$  possui unidades  $m^3/s/kg$ . Se o fluxo é expresso em como uma massa e o potencial de água é expresso como altura hidráulica, as unidades de  $K_s$  são  $kg/m^2\cdot s$ . Se o fluxo é expresso como um volume, e o potencial de água expresso como altura hidráulica,  $K_s$  possui dimensões comprimento/tempo e as unidades são  $m/s$ . Resumindo,  $K_s$  é o efeito combinado da viscosidade da água, densidade da água, e resistência ao fluxo ao longo de um perímetro, que são constantes independentemente da pressão da água ou fluxo.

De acordo com LNEG, 2010, corresponde à propriedade de um meio, permitir a passagem de água ou outro fluido, em maior ou menor vazão por unidade de área ( $Q = K.A.i$ , onde  $Q$  é o caudal,  $K$  a condutividade hidráulica/permeabilidade,  $A$  a secção atravessada, e  $i$  o gradiente hidráulico). Esta propriedade depende das características do meio (porosidade, tamanho, distribuição, forma e arranjo das partículas) e das propriedades do fluido (viscosidade e peso específica). A condutividade hidráulica corresponde ao coeficiente de proporcionalidade  $K$  que aparece na [Lei de Darcy](#), podendo ser determinada através de fórmulas, métodos de laboratório ou ensaios de campo. Os seus valores são geralmente expressos em  $m/s$  ou  $cm/s$ . É muito comum relacionar a condutividade hidráulica com a porosidade, o que nem sempre é correcto. Um terreno muito poroso pode ter uma elevada condutividade hidráulica se os seus poros forem grandes e bem interconectados, como é o caso das areias, ou ter uma condutividade hidráulica quase nula se os seus poros são muito pequenos e/ou semi-fechados, tal como se verifica em determinados materiais vulcânicos porosos originados pela libertação de gases. Os materiais consolidados apresentam geralmente, uma condutividade hidráulica mais baixa do que a correspondente em materiais soltos, devido à presença do cimento que diminui a dimensão dos poros, chegando mesmo a impedir a comunicação entre estes. O mesmo que permeabilidade. De acordo com LENCASTRE e FRANCO (2010, p. 167) a condutividade hidráulica saturada pode-se calcular através da expressão (eq. A.3):

$$K = \frac{2g}{v} K_0$$

**Equação A.3 – Condutividade hidráulica.**

onde  $K$  é a condutividade hidráulica,  $v$  a viscosidade do líquido,  $g$  a aceleração da gravidade, e  $K_0$  a geometria do meio poroso.

Calcula-se utilizando-se a lei de Darcy:  $K = J/i$ , onde  $J$  é o fluxo e  $i$  o gradiente hidráulico. As unidades e dimensões dependem daquelas utilizadas para medir o gradiente hidráulico (massa, volume ou peso) e fluxo (massa ou volume). Quando o fluxo e o potencial de água são expressos como uma massa, as unidades de  $K_s$  são  $\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^3$ . Se ambos são expressos numa base de volume,  $K_s$  possui unidades  $\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{kg}$ . Se o fluxo é expresso em como uma massa e o potencial de água é expresso como altura hidráulica, as unidades de  $K_s$  são  $\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ . Se o fluxo é expresso como um volume, e o potencial de água expresso como altura hidráulica,  $K_s$  possui dimensões comprimento/tempo e as unidades são  $\text{m}/\text{s}$ . Resumindo,  $K_s$  é o efeito combinado da viscosidade da água, densidade da água, e resistência ao fluxo ao longo de um perímetro, que são constantes independentemente da pressão da água ou fluxo. VARENNES (2003, p. 111) também refere que «A condutividade hidráulica é uma característica do solo, dependendo do tamanho e forma dos poros existentes. O fluxo de água num solo saturado varia directamente com a quarta potência do raio do poro; por isso, os macroporos, e dentro destes os bioporos, são fundamentais para assegurar o movimento de água num solo saturado. Os solos arenosos e os solos bem agregados têm condutividades hidráulicas maiores do que os solos de textura fina com agregação deficiente. Um solo arenoso tem uma condutividade hidráulica da ordem de  $0,1\text{-}1\text{ m s}^{-1}$  e um solo argiloso de  $10^{-3}\text{-}10^{-6}\text{ mm s}^{-1}$ ...» (veja-se também CUSTODIO e LLAMAS, 1983, pp. 262-263; FREEZE e CHERRY, 1979, pp. 15-18).

**Fluxo:** De acordo com U.S.D.A. (2004, pp. 1-2) o fluxo de água ( $J$ ) corresponde à taxa de água escoada, dividida pela área da secção transversal de um tubo (eq. A.4):

$$J = Q/At$$

**Equação A.4 – Fluxo.**

onde  $J$  é a quantidade de água ( $Q$ ) que se move através de uma área de secção transversal ( $A$ ) por unidade de tempo ( $t$ ). Normalmente é expresso na base de um volume (por exemplo,  $\text{m}^3/\text{m}^2\text{ s}$ ), o que se pode simplificar para uma unidade de velocidade ( $\text{m}/\text{s}$ ). Contudo o fluxo não corresponde à distância que a água percorre por unidade de tempo como a simplificação sugere. As unidades originais representam um volume (quantidade) escoada (isto é, colhida e medida) através de uma área de secção transversal por unidade de tempo.

**Cone de rebaixamento:** depressão na superfície piezométrica, com forma aproximada de um cone invertido, centrada num poço em actividade. Também chamado cone de rebaixamentos (ALEMEIDA *et al.*, 2000, p.18).

**Contaminação:** é o resultado da descarga de elementos, compostos ou outras substâncias em concentração superior à normal no local de descarga (Fraústo da Silva, 1994, p.87, citado em RAMOS, 2005, pp. 89-90). FREEZE e CHERRY (1979, p. 385) referem que o termo é associado a solutos introduzidos no sistema hidrológico como resultado da actividade humana, independentemente se as concentrações atingem ou não níveis que causam degradação significativa da qualidade da água. CUSTODIO e LLAMAS (1983, p. 1897) sugerem que o carácter geral do significado de uma água contaminada, sem especificação das suas características, torna-se concreto quando se refere à sua qualidade bacteriológica, denominando-se contaminada e quando a sua alteração é tal que não pode ser utilizada para ingestão por afectar a saúde humana. Pode-se interpretar a contaminação como sendo uma água que se torna impotável ou inapropriada para utilização.

**Descarga de um aquífero:** CUSTODIO e LLAMAS (1983, p. 274) referem que a descarga natural é o volume de água que durante um determinado período de tempo sai do reservatório subterrâneo através dos mananciais terrestres, subfluviais ou submarinos, e também por evapotranspiração, se a zona saturada está próxima da superfície e ocupa áreas vastas. A descarga natural é equivalente ao escoamento subterrâneo quando os mananciais submarinos ou subfluviais e a descarga por evapotranspiração são inexistentes ou muito pequenos.

**Disponibilidade hídrica subterrânea (anual):** quantidade de água que existe no armazenamento permanente dos sistemas aquíferos e que pode ser restituída pela água de recarga num ano de recarga média. A necessidade de introduzir este conceito deve-se ao facto da recarga ser um processo intra-anual, dependente dos episódios de precipitação. Dado que em muitos casos as linhas de água importantes constituem o limite superior da zona de armazenamento permanente, a recarga a partir dos rios normalmente é inexistente, ocorrendo apenas quando é induzida a partir das extracções de água em captações localizadas muito próximo das linhas de água. Sendo assim, a recarga por infiltração da água da chuva é o único processo de recarga dos aquíferos livres. Como primeira condição para uma exploração correcta do recurso hídrico subterrâneo, esta deve ter como limite máximo o volume de recarga anual, de forma a não esgotar o recurso. Contudo, o volume de água subterrânea existente numa formação hidrogeológica pode ser inferior ao volume de recarga, pelo facto do armazenamento permanente ser inferior a esse valor. Neste situações, o conceito de disponibilidade hídrica subterrânea é mais importante que o conceito de recarga, pois dá uma indicação da quantidade de água que pode ser explorada durante o período de um ano, em condições de sustentabilidade (LOBO FERREIRA *et al.*, 1999, pp. 18-19).

**Drenância:** num sistema aquífero multi-camada existem mecanismos de intercâmbio de água entre os aquíferos superficiais e profundos nos dois sentidos, estes mecanismos designam-se por fenómenos de drenância. Nas captações mais profundas, em que são exploradas os aquíferos confinados, os cones de rebaixamento provocados pela toma de água, podem induzir, pela alteração dos potenciais hidráulicos, uma entrada de volume de água do aquífero superficial para o aquífero profundo com eventuais consequências como, a perda da qualidade da água, principalmente quando essas captações se localizam junto de estuários ou do mar. O mesmo fenómeno acontece entre massas de água superficiais (cursos de água, lagos, albufeiras, etc.) e os aquíferos (RIBEIRO e MENDES, 2010, pp. 38-39).

**Elemento tóxico:** é aquele que quando ingerido ou absorvido provoca perturbações metabólicas de qualquer natureza, sintomas de envenenamento e, eventualmente, a morte (Fraústo da Silva, 1994, p.87, citado em RAMOS, 2005, p. 90).

**Elementos em risco** ou **elementos vulneráveis (E) (*elements at risk*):** população, equipamentos, propriedades, actividades económicas, etc., em risco num determinado território (ZÊZERE, 2005, p. 81).

**Espessura efectiva:** A espessura efectiva é um dos factores mais importantes pois que, para além de limitar o uso do solo só por si, condiciona a importância dos riscos à erosão, tanto mais de temer quanto menor é a espessura efectiva do solo. A espessura efectiva pode coincidir com a espessura de solo acima do horizonte C ou pode ser maior ou menor (SROA, 1972, p. 23).

**Espessura saturada na captação:** fracção da captação que se encontra preenchida por água (DL n.º 382/1999, de 22/09).

**Estratégico:** adj. 1 relativo à estratégia; 2 ardiloso; hábil (Do gr. *strategikós*, «relativo a general») (PORTO EDITORA, 2004, p. 697).

**Estratégia:** s. f. 1 Militar ciência que, tendo em vista a guerra, visa a criação, o desenvolvimento e a utilização adequada dos meios de coacção política, económica, psicológica e militar à disposição do poder político para se atingirem os objectivos por este fixados; 2 conjunto dos meios e planos para atingir um fim; estratagem (Do gr. *strategia*, «comando do exército», pelo lat. *strategia*-, «prefeitura militar») (PORTO EDITORA, 2004, p. 697).

**Evapotranspiração potencial:** define-se como o limite superior da evapotranspiração para condições de humidade do solo óptimas (RIBEIRO e MENDES, 2010, p. 39; veja-se também FREEZE e CHERRY, 1979, p. 207; MENDES e BETTENCOURT, 1980, pp. 6-7).

**Evapotranspiração real:** define-se como a evapotranspiração efectivamente verificada num dado período (RIBEIRO e MENDES, 2010, p. 39; MENDES e BETTENCOURT, 1980, p. 7).

**Glacis de acumulação:** corresponde a rampa sedimentar de fraco declive, de fácies distal, relativamente ao *glacis* de erosão, onde a gravidade e escorrência superficial são pouco significativos (COQUE, 1977, pp. 199-200). O termo *glacis* também se pode empregar com conotação puramente descritiva e não genética (natureza da rocha) para aplicação aos dois tipos de *glacis* (DERRUAU, 1956, p. 265).

**Glacis de erosão:** é uma forma de relevo de erosão por acção fluvial, que corresponde a um tipo de pedimento, que se caracteriza por ser uma superfície de fraco declive, de transporte e/ou erosão, que trunca rocha e liga vertentes ou escarpas erodidas a áreas de deposição de sedimentos em níveis mais baixos. Existem dois tipos fundamentais de *glacis*, o que trunca rocha branda adjacente a rochas mais resistentes de superfícies altas, e outro (denominado verdadeiro), em que não existe mudança na litologia entre as superfícies altas e o pedimento (GOUDIE, 2004, p. 469).

**Hidrogeografia:** O seu objecto de estudo é a Hidrosfera, um dos 5 subsistemas que constituem o Sistema Ambiental Terrestre. O objectivo principal da Hidrogeografia é o estudo da ocorrência, repartição geográfica e circulação da água doce no Planeta, bem como das principais consequências da sua utilização pelo Homem. Esse estudo é efectuado a várias escalas de análise: a do Planeta (global), a das bacias hidrográficas (regional) e a dos fundos de vale (local). A abordagem dos fenómenos hidrológicos a diferentes escalas espaciais tem como duplo objectivo mostrar a sua diferente natureza e a modificação do grau de importância dos factores que os influenciam. Os fenómenos hidrológicos manifestam-se, ainda, a diferentes escalas temporais: milénar, centenária, anual, mensal, diária e horária. Os métodos quantitativos, a par dos qualitativos, são assim essenciais nesta disciplina (RAMOS, 2005b, p. 14).

**Hidrogeomorfologia:** o termo hidrogeomorfologia pode ser dividido em três termos: *hidro* significa água (incluindo superficial e subterrânea), *geo* significa terra e *morfologia* significa a expressão superficial de formas de relevo. Isto

significa que a hidrogeomorfologia lida com aspectos da água, rocha e formas de relevo. A água e terra são os aspectos mais importantes para a sociedade. De acordo com o mesmo autor citando SCHEIDEGGER (1973), o termo hidrogeomorfologia significa o estudo de formas de relevo geradas pela acção da água (p. 3). Segundo esta definição quase toda a geomorfologia é hidrogeomorfologia, pois a água é um dos principais agentes de formação de formas de relevo. Do ponto de vista da água subterrânea, a integração de dados litológicos, estruturais e hidrogeológicos com dados hidrogeomorfológicos é bastante útil na localização de áreas potenciais com água subterrânea. A ciência relacionada com os aspectos geográficos, geológicos e hidrológicos de massas de água, e alterações nestes aspectos, em resposta a pequenas variações, e a eventos naturais e antropogénicos, tais como chuvadas ou regularização de canais fluviais é a hidrogeomorfologia. (BABAR, 2005, p. 3). De acordo com TEIXEIRA (2006, p. 51) «A hidrogeomorfologia poderá, designadamente, indicar as formas de relevo que condicionam a circulação hídrica subterrânea (e.g., escarpas de falha, vales de fractura, aplanamentos, formas fluviais de erosão e de acumulação, formas de vertente e interflúvio,...), e como tal, indicar possíveis constrangimentos nas condições de recarga dos aquíferos e indicar feições geológicas de interesse, por exemplo, para a prospecção hidrogeológica. A influência da hidrogeomorfologia no sucesso das captações de águas subterrâneas é, de facto, um factor importante, pois constitui um excelente factor de produtividade e provável indicador de prospecção, caso se confirme a correlação positiva entre a morfologia e os caudais de exploração (Carvalho, 2006).».

**Infiltração:** processo pelo qual a água derivada da precipitação, fusão da neve ou irrigação, penetra no solo, através da superfície topográfica (ALMEIDA *et al.*, 2000, p. 31). LENCASTRE e FRANCO (2010, p. 177) refere que a infiltração é o movimento de água para dentro do solo, marcado pela acção da gravidade e pelo potencial capilar. De acordo com LNEG (2010) é o processo através do qual, a água proveniente da precipitação e do degelo (por vezes também dos rios ou recarga artificial), penetra no solo ou rocha através de poros, fissuras, fracturas ou diaclases, ocupando-os total ou parcialmente. Parte da água que se infiltra atinge a zona saturada passando a fazer parte da água subterrânea. Outra parte fica retida na zona não saturada ou zona de humidade do solo, podendo regressar à atmosfera através da evapotranspiração (evaporação ou transpiração das plantas) (fig. A.2) (veja-se também CUSTODIO e LLAMAS, 1983, pp. 273, 342).

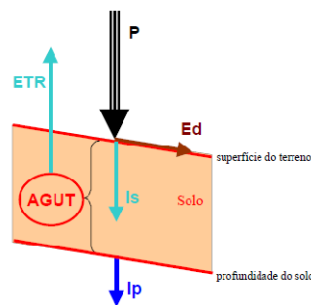


Fig. A.2 - O solo e a topografia como condicionadores da facilidade de infiltração (Ext. de OLIVEIRA e LOBO FERREIRA 2002, p. 3). Leg.: AGUT: água utilizável, Is: infiltração superficial; Ip: infiltração profunda; ETR: evapotranspiração real; P: precipitação; Ed: escoamento directo ou superficial.

**Infiltração eficaz:** Volume de água de infiltração que alcança a zona saturada (LNEG, 2010).

**Infiltração profunda:** Água que se infiltra em profundidade, abaixo da zona radicular, que pode alcançar o nível freático. O mesmo que percolação profunda (LNEG, 2010).

**Índice de vazios (e):** relação entre o volume dos poros (ou vazios),  $V_p$ , e o volume  $V_g$ , ocupado pelos grãos:  $e = V_p/V_g$  (LENCASTRE e FRANCO, 2010, p. 156). De acordo com LNEG (2010) corresponde à relação entre o volume de interstícios numa dada amostra e o volume das partículas sólidas.

**Índice DRASTIC (Índice de vulnerabilidade aquífera à poluição):** É um dos índices de vulnerabilidade mais utilizado actualmente. A determinação deste índice baseia-se numa metodologia desenvolvida por *Aller et al.* (1987) para a Agência de Protecção Ambiental dos Estados Unidos (U.S. EPA). A avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos é feita com base nos seguintes parâmetros ou indicadores hidrogeológicos:

- D (depth) - profundidade do nível da água;
- R (recharge) - recarga que o aquífero recebe;
- A (aquifer) - litologia e estrutura do meio aquífero;
- S (soil) - tipo de solo;

T (topography) - inclinação do terreno;  
I (impact) - natureza da zona não saturada;  
C (conductivity) - condutividade hidráulica.

A cada parâmetro é atribuído um valor de 1 a 10, em função das condições locais, que se obtêm a partir de tabelas publicadas. De seguida, multiplica-se o valor atribuído a cada parâmetro por um peso relativo ou factor de ponderação, cujo valor também está tabelado, e que reflecte a importância relativa de cada parâmetro. Os parâmetros menos importantes têm peso 1 e os mais importante peso 5. Finalmente, o índice DRASTIC é obtido a partir da soma dos produtos parciais. Quanto maior for o índice obtido, maior será a vulnerabilidade (eq. A.5):

$$\text{Índice DRASTIC} = D_p \cdot D_c + R_p \cdot R_c + A_p \cdot A_c + S_p \cdot S_c + T_p \cdot T_c + I_p \cdot I_c + C_p \cdot C_c$$

**Equação A.5** –  
Condutividade  
hidráulica.

onde  $p$  é o peso relativo ou factor de ponderação de cada parâmetro (1 a 5) e  $c$  a carga atribuída a cada parâmetro (1 a 10) (LNEG, 2010).

**Índice DRASTIC para pesticidas:** Índice de vulnerabilidade aquífera à poluição específica para pesticidas. A metodologia para a determinação deste índice é idêntica à aplicada no caso do índice DRASTIC, diferindo apenas nos valores atribuídos aos pesos relativos ou factores de ponderação dos parâmetros DRASTIC (LNEG, 2010).

**Manancial, emergência:** local onde emerge água subterrânea. Nascente de água. O termo é também utilizado para designar aquífero muito produtivo (ALMEIDA *et al.* 2000, p. 34) (veja-se também CUSTODIO e LLAMAS, 1983, p. 1101).

**Mapa piezométrico:** mapa obtido a partir de medições, em campo, dos níveis piezométricos e interpretação sobre mapas topográficos. As curvas obtidas, representam as equipotenciais da superfície piezométrica. As medidas devem ser feitas em condições de equilíbrio dessa superfície, durante um período determinado e mais curto possível, de forma que não haja variação sensível nos níveis locais ou regionais; em casos onde isso não é possível, devem ser feitas correcções dos dados em relação a uma cota de referência de uma obra (poço) em observação contínua. Para interpretação de mapas desta natureza, primeiro definem-se os eixos de fluxo e suas direcções traçando-se perpendiculares de cada curva isopieza. Os principais eixos correspondem aos trajectos mais curtos e simples das águas subterrâneas. A equidistância das curvas dependem do valor do gradiente hidráulico, da precisão das medidas de base (níveis piezométricos), da escala do mapa, da qualidade do nivelamento topográfico e da densidade de pontos observados. De uma maneira geral, essas equidistâncias são de 1m para escalas de 1:10.000 a 1:20.000, de 5m para escalas de 1:50.000 a 1:100.000 e de 10m a 20m para escalas menores. (LNEG, 2010).

**Nível piezométrico:** é o nível a que a água de um aquífero se encontra à pressão atmosférica. Coincide com a superfície freática de um aquífero livre. No entanto, em aquíferos cativos os níveis piezométricos estão mais elevados que o tecto, podendo, inclusive, haver zonas onde se situam numa cota superior ao da superfície topográfica do terreno (ALMEIDA *et al.*, 2000, p. 37). RIBEIRO e MENDES (2010, p. 40) referem que é o nível a que a água de um aquífero se encontra a pressão atmosférica (aquífero livre) ou acima do tecto (aquífero confinado).

**Percolação:** Escoamento de um líquido num meio poroso não saturado (zona não saturada), como é o caso da água, através dos poros ou fissuras de um solo ou rocha, por acção da gravidade. Em inglês: *percolation* (LNEG, 2010). De acordo com LENCASTRE e FRANCO (2010, p. 185) corresponde à propagação da humidade no solo a partir da água infiltrada e abrange as seguintes zonas distintas: zona de saturação, à superfície; zona de transição; zona de transmissão; zona de humedecimento.

**Percolação profunda:** parcela da água que se escoia na zona saturada, ou seja, nas formações aquíferas, fazendo parte da água subterrânea. O mesmo que infiltração profunda. Em inglês: *deep percolation*; *deep seepage* (LNEG, 2010).

**Pedimento:** corresponde a uma superfície de fraco declive (2.º-10.º), de transporte e/ou erosão que trunca rocha e liga vertentes ou escarpas erodidas a áreas de deposição sedimentar em níveis mais baixos. Face à origem e afinidades climáticas tem-se dois tipos de pedimentos que são morfograficamente semelhantes mas geneticamente diferentes, pois um é encimado por uma capa de rocha resistente sobrejacente a rochas moles/brandas (*glacis* de erosão verdadeiro) e outro é composto por rocha uniformemente dura (litologia rochosa consolidada), como por exemplo, uma rocha intrusiva de grão grosseiro como o granito. O abrupto que limita o pedimento a montante não é de origem estrutural mas um rebordo de erosão na massa (DERRUAU, 1956, pp. 265, 768; SUMMERFIELD, 1991, pp. 346-348; ver também BABAR, 2005, p. 166).

**Permeabilidade:** RAMOS (2005b, p. 87) refere que a permeabilidade é a capacidade das formações geológicas se deixarem atravessar pela água. Depende da dimensão dos espaços vazios, ou seja do número e largura dos poros, buracos ou fendas existentes no subsolo e não do seu volume total. A unidade de medida é o  $\text{cm}^2$  ou o darcy ( $1 \text{ darcy} = 10^{-8} \text{ cm}^2$ ). ALMEIDA *et al.* (2000, p. 40) refere que a permeabilidade, num sentido qualitativo expressa a maior ou menor facilidade com que um meio se deixa atravessar por um dado fluido. Emprega-se num sentido quantitativo como termo equivalente à condutividade hidráulica mas este uso não é recomendado.

**Permeabilidade intrínseca:** ALMEIDA *et al.* (2000, p. 40) refere que é um parâmetro que caracteriza a permeabilidade de um meio, independentemente do fluido que o atravessa e de suas propriedades. Relaciona-se com a condutividade hidráulica através da expressão:  $K = \gamma/u.K_0$ , onde  $K$  é a condutividade hidráulica,  $K_0$  a permeabilidade intrínseca,  $\gamma$  o peso específico do fluido e  $u$  a viscosidade do fluido. De acordo com U.S.D.A. (2004, p. 7) a permeabilidade intrínseca ou permeabilidade ( $k$ ) é uma propriedade quantitativa do material poroso e é controlado somente pela geometria dos poros (Richards, 1952). Ao contrário da condutividade hidráulica, a permeabilidade intrínseca é independente da viscosidade e densidade do fluido. Corresponde à condutividade hidráulica do solo depois dos efeitos da viscosidade e densidade do fluido serem removidos. Calcula-se como a condutividade hidráulica ( $K$ ) multiplicada pela viscosidade do fluido, dividida pela densidade do fluido e constante da gravidade. A permeabilidade ( $k$ ) tem a dimensão de uma área (por exemplo,  $\text{cm}^2$ ).

**$pF$ :** é o logaritmo da altura em centímetros da coluna de água que exerce pressão equivalente à força de retenção ou atracção do solo para a água. Vários outros termos ou expressões têm sido usados para expressar a energia de atracção do solo para a água, expressa em várias unidades. O símbolo  $p$  por analogia com a escala do pH indica o carácter logartímico da escala do  $pF$ . O símbolo  $F$  foi escolhido por ser a inicial da expressão *free energy* (energia livre). Os mais conhecidos são (além de potencial capilar, tensão de humidade, sucção e  $pF$ ), potencial de humidade, potencial de pressão, energia livre, potencial termodinâmico e sucção métrica (COSTA, 2004, pp. 392-393).

**Poluição:** quando a contaminação tem capacidade tóxica potencial designa-se por poluição (Fraústo da Silva, 1994, p.87, citado em RAMOS, 2005, p. 90). FREEZE e CHERRY (1979, p. 385) referem que o termo é reservado para situações onde a concentração de contaminantes atinge níveis considerados censuráveis. De acordo com o DL n.º 235/1997, de 03/09, significa a descarga no meio aquático, directa ou indirecta, de compostos azotados de origem agrícola, com resultados susceptíveis de pôr em perigo a saúde humana, afectar os recursos vivos e os ecossistemas aquáticos, danificar áreas aprazíveis ou interferir noutras utilizações legítimas da água. CUSTODIO e LLAMAS (1983, p. 1897) sugerem que se adopte a seguinte definição: um curso de água considera-se poluído, quando a composição ou o estado das suas águas são directa ou indirectamente modificados pela actividade humana, de tal forma que a sua utilização fica restringida para todos ou alguns daqueles usos para os quais poderia servir no seu estado natural. Isto é, pode-se interpretar a poluição como sendo o acto de introduzir substâncias ou propriedades estranhas à água (incluindo mudanças de temperatura). De acordo com a Lei da Água (Lei n.º 58/2005, de 29/12) a poluição corresponde à introdução directa ou indirecta, em resultado da actividade humana, de substâncias ou de calor no ar, na água ou no solo que possa ser prejudicial para a saúde humana ou para a qualidade dos ecossistemas aquáticos ou dos ecossistemas terrestres daqueles directamente dependentes, que dê origem a prejuízos para bens materiais ou que prejudique ou interfira com o valor paisagístico ou recreativo ou com outras utilizações legítimas do ambiente. De acordo com o DL n.º 382/1999, de 22/09, poluição corresponde à degradação da qualidade natural da água, em resultado de actividades humanas, tornando-a imprópria como origem de água destinada à produção de água para consumo humano, nos termos dos artigos 13.º a 19.º do DL n.º 236/1998 de 01/08.

**Porosidade ( $n$ ):** relação entre o volume dos poros (ou vazios),  $V_p$ , e o volume total da amostra,  $V_t = V_p + V_g$ , isto é,  $n = V_p/V_t$  (LENCASTRE e FRANCO, 2010, p. 156). RAMOS (2005b, pp. 86-87) refere que a porosidade ou capacidade de retenção de água das formações geológicas (medida em %) é a relação entre o volume de espaços vazios de uma formação geológica e o volume total dessa formação. Atinge os valores mais elevados nas formações não consolidadas (onde cresce com a diminuição da textura) e diminui com o aumento da compactação, coesão, cimentação das rochas e com o desenvolvimento do metamorfismo. ALMEIDA *et al.* (2000, p. 44) refere que porosidade é a razão entre o volume de vazios, ocupados por ar ou água, de um material e o seu volume total.

**Porosidade efectiva ou cedência específica ( $n_e$ ):** corresponde à relação entre o volume de vazios do solo ocupáveis pela água que circula por acção da gravidade,  $V_c$ , e o volume total do solo,  $V_t$ . Será então  $n_e = V_c/V_t$ . A porosidade efectiva mede assim a percentagem do volume de um solo disponível para armazenamento temporário de água (LENCASTRE e FRANCO, 2010, pp. 160-161). RAMOS (2005b, p. 87) refere que a porosidade efectiva é o volume de água que pode drenar livremente de uma formação geológica saturada, dividido pelo volume total da formação. Por definição é sempre menor que a porosidade e quantifica a água disponível. ALMEIDA *et al.* (2000, p. 44) refere que porosidade eficaz é a razão entre o volume de poros disponível para a circulação da água e o volume total da amostra. Equivalente a porosidade cinemática.

**Potencial:** FREEZE e CHERRY (1979, p. 18) referem que Hubbert (1940, p. 794), define potencial como uma quantidade física, susceptível de medição em qualquer ponto num sistema de escoamento, cujas propriedades são tais que o fluxo ocorre sempre de regiões onde a quantidade possui valores superiores para aquelas onde são inferiores, independentemente da direcção no espaço.

**Recarga de um aquífero:** fluxo de água descendente que chega ao nível freático cujo volume contribui para o armazenamento do aquífero. Em condições de não exploração do aquífero o valor anual médio da recarga deve ser igual a descarga natural do sistema. O volume que entra no sistema e a parcela que constitui os recursos hídricos renováveis. Existem os seguintes mecanismos de recarga (Lerner *et al.* 1990): recarga directa por infiltração da água da chuva ou da rega através da zona não saturada, recarga induzida por drenância entre camadas aquíferas, cursos de água, lagos, estuários. Dependendo das formações geológicas a recarga pode ocorrer uniformemente por toda a superfície da formação (recarga difusa) ou pode ocorrer em determinadas áreas com características geomorfológicas mais favoráveis como as depressões (recarga localizada) (RIBEIRO e MENDES, 2010, p. 40) (fig. A.3). De acordo com LNEG (2010) é um processo natural ou artificial através do qual um aquífero recebe água proveniente do ciclo hidrológico de forma directa, ou indirectamente através de outra formação, lago ou rio. A recarga natural depende fundamentalmente do regime pluviométrico e do equilíbrio que se estabelece entre a infiltração, o escoamento e a evaporação. Assim sendo, a natureza do solo e o coberto vegetal têm um papel fundamental na recarga dos aquíferos. O mesmo que alimentação. Em Inglês: *recharge*. De acordo com ALMEIDA *et al.* (2000, p. 47), corresponde à quantidade de água que escoia verticalmente até atingir o nível freático, aumentando assim a quantidade de água subterrânea armazenada. Contribui para a recarga a infiltração da chuva ou neve, infiltração da água dos rios e outras (veja-se também CUSTODIO e LLAMAS, 1983, p. 274).

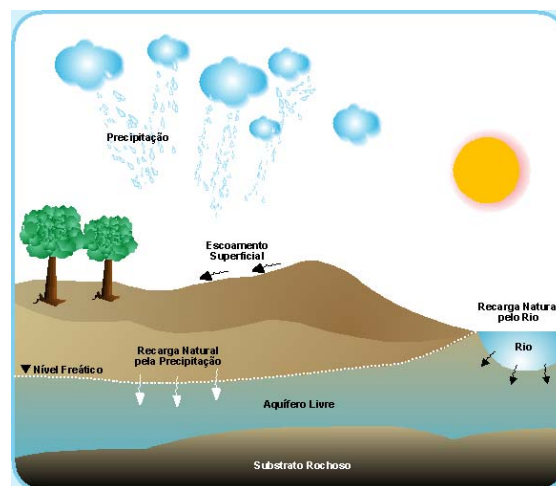


Fig. A.3 – Recarga de um aquífero (Ext. de LNEG, 2010, URL: [http://e-geo.ineti.pt/bds/lexico\\_hidro/glossario.aspx?letra=R](http://e-geo.ineti.pt/bds/lexico_hidro/glossario.aspx?letra=R)).

**Sistema aquífero:** domínio espacial de uma ou várias formações geológicas, limitado em superfície e em profundidade, que define um ou vários aquíferos, relacionados ou não entre si, e que constitui uma unidade prática para a exploração de águas subterrâneas (DL n.º 382/1999, de 22/09).

**Surraipa:** é um horizonte de acumulação endurecido que resulta da cimentação dos grãos de areia e de limo por colóides que formam uma película à volta daquelas partículas minerais e conduzem assim a um concrecionamento em massa. Os colóides cimentantes podem ser substâncias orgânicas, óxidos de ferro e sílica coloidal. (CARDOSO, 1965, p. 251). Ocorre em Podzóis com surraipa, onde pode surgir surraipa dura *ortstein* (CARDOSO, 1965, p. 242) e/ou branda.

**Transmissividade:** é o produto da condutividade hidráulica horizontal pela espessura do aquífero. Se a condutividade varia ao longo do perfil do aquífero de espessura  $b$ , a transmissividade será dada por  $T = K \cdot b$  ou  $T = \int_a^b K \cdot dz$ , sendo  $K$  a condutividade horizontal,  $a$  a cota da base e  $b$  a espessura saturada do aquífero ou a cota do tecto do aquífero. O conceito de transmissividade pode ser generalizado aos aquíferos livres considerando-se neste caso a espessura igual à espessura saturada. As dimensões da transmissividade são  $[L^2T^{-1}]$  (ALMEIDA *et al.*, 2000, p. 52 e LNEG, 2010; veja-se também CUSTODIO e LLAMAS, 1983, pp. 1121-1122).

**Terraço fluvial:** corresponde a uma superfície relativamente plana que permanece depois do rio, que o originou, ter entalhado o fundo de vale precedente. É um tipo de relevo que corresponde a canais fluviais e planícies de inundação abandonados. A sua presença em vales fluviais em todo o Mundo possibilita um registo de mudanças no escoamento líquido e sólido (sedimentos) do regime fluvial ao longo do tempo. Geneticamente podem ser considerados formas de relevo de deposição ou de erosão (GOUDIE, 2004, p. 1039).

**Volume extraível:** percentagem do volume anual de recarga média, desde que o rebaixamento provocado no sistema hidrogeológico não seja superior a um determinado valor (LOBO FERREIRA *et al.*, 1999, p. 19).

**Vulnerabilidade (de um aquífero):** propriedade intrínseca de um aquífero que depende da maior ou menor susceptibilidade deste a impactes antropogénicos e/ou naturais (ALMEIDA *et al.*, 2000, p. 53). RIBEIRO e MENDES (2010, pp. 40-41) referem que a vulnerabilidade das águas subterrâneas à poluição não é uma característica que se possa medir no terreno. Na raiz da sua definição está a percepção de que determinadas áreas são mais susceptíveis à contaminação do que outras, tomando em conta o grau de eficácia dos processos de atenuação natural, que variam por vezes drasticamente de um local para outro e a constituição litológica das formações onde ocorre ou poderá vir a ocorrer um fenómeno de poluição. Vulnerabilidade pode assim ser definida como o grau da potencial susceptibilidade da água subterrânea a uma fonte de poluição tónica ou difusa. De acordo com LNEG (2010) é o conjunto de características de um aquífero, essencialmente unidades litológicas e características hidrogeológicas, que determinam o quanto ele poderá ser afectado pela acção de um contaminante. Existem várias metodologias para avaliar a vulnerabilidade aquífera à contaminação, tais como o DRASTIC e o CRIPTAS (Índice de vulnerabilidade aquífera à poluição específica para pesticidas. Nomenclatura utilizada pela comunidade hidrogeológica espanhola, como sinónimo de índice DRASTIC para pesticidas. Em Inglês: *aquífer vulnerability*).

**Vulnerabilidade intrínseca (de um aquífero):** RIBEIRO e MENDES (2010, p. 41) referem que pode ser definida através de características geológicas e hidrogeológicas, não se considerando por esse facto o factor antrópico.

**Vulnerabilidade específica (de um aquífero):** RIBEIRO e MENDES (2010, p. 41) referem que considera além das características intrínsecas do meio algumas características específicas tais como a ocupação do solo ou o tipo de contaminante.

**Vulnerabilidade (V) (*vulnerability*):** grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos em risco, em resultado da ocorrência de um fenómeno natural de determinada magnitude. Expressa numa escala de 0 (sem perda) a 1 (perda total) (ZÉZERE, 2005, p. 81).

**Zonas vulneráveis:** áreas que drenam para as águas identificadas nos termos do artigo 4.º, nas quais se pratiquem actividades agrícolas susceptíveis de contribuir para a poluição das mesmas (DL n.º 235/1997, de 03/09).

**Zona hiporreica:** De acordo com FERREIRA *et al.* (2004, p. 12) «Esta é uma zona activa situada entre os aquíferos e os cursos de água. Esta zona, de grande actividade biológica, funciona como um sumidouro de nutrientes e poluentes (HANCOCK, 2002). A sua existência permite minimizar os impactes dos recursos hídricos superficiais nos RHS e vice-versa (consoante se esteja na presença de um aquífero influente ou afluente)» (veja-se também EA, 2009, pp. 1-2, 18, 226).



**A.3 - Densidade do edificado por freguesia.**

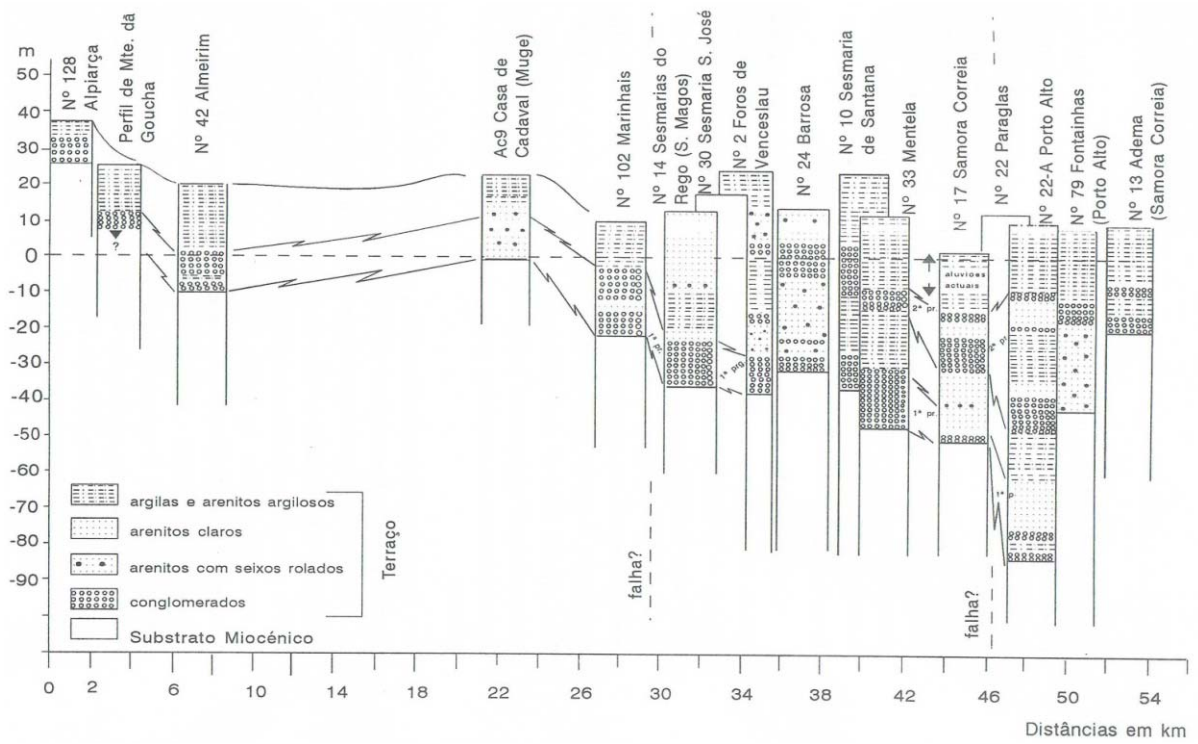
Nome	DICOFRE	GRIDCODE	Área (m²)	Área (%)
Glória do Ribatejo	141501	1	910422,4	4,74
		2	770801,8	4,02
		3	356195,1	1,86
		4	189097,4	0,99
		5	144896,0	0,76
Marinhais	141502	1	2349735,2	12,25
		2	2470455,6	12,88
		3	953145,9	4,97
		4	330251,8	1,72
		5	106997,1	0,56
Muge	141503	1	390731,5	2,04
		2	277118,6	1,44
		3	156955,3	0,82
		4	98951,1	0,52
		5	104597,1	0,55
Salvaterra de Magos	141504	1	1319677,0	6,88
		2	997637,1	5,20
		3	319206,2	1,66
		4	164192,5	0,86
		5	260392,8	1,36
Foros de Salvaterra	141505	1	2464145,7	12,84
		2	2226590,9	11,60
		3	597364,8	3,11
		4	120694,8	0,63
		5	26599,3	0,14
Granho	141506	1	491082,4	2,56
		2	432413,2	2,25
		3	117098,4	0,61
		4	31599,6	0,16
		5	8599,8	0,04

Legenda: GRIDCODE: 1 - 5 a 7; 2 - 7 a 18; 3 - 18 a 28; 4 - 28 a 39; 5 - 39 a 106.

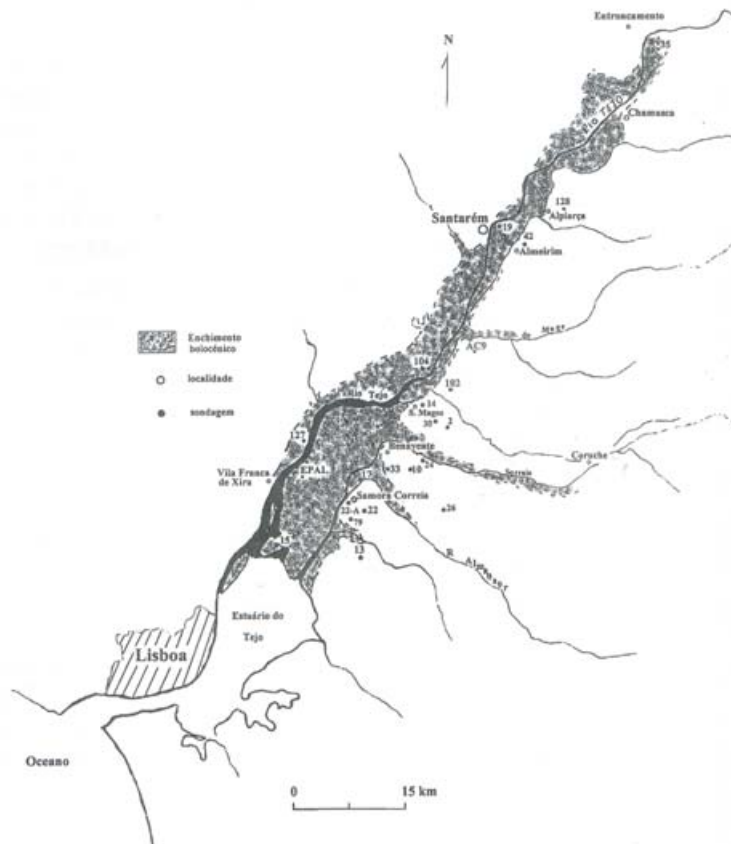




A.6 - Sondagens do terraço de Alpiarça. (Ext. de MARTINS, 1999, p. 336-A).



A.7 - Localização das sondagens no terraço de Alpiarça. (Ext. de MARTINS, 1999, p. 336-A).



A.8 - Atributos dos tipos de solo.

S.R.O.A.			F.A.O.	Área (m²)	Área (%)
Sigla	Descrição das famílias	OSoGSgFF			
A	Aluviossolos Modernos Não Calcários de textura mediana	131102	Fluviossolos	3462	0,001
Aa + Caa	Complexo de Aluviossolos Modernos Não Calcários de textura pesada + Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Aluviossolos de aluviões, de textura pesada	131103 + 810105	Fluviossolos + Gleyssolos	404805	0,166
Ac	Aluviossolos Modernos Calcários de textura mediana	131202	Fluviossolos	5755907	2,360
Al	Aluviossolos Modernos Não Calcários de textura ligeira	131101	Fluviossolos	3097538	1,270
Al + Cal	Complexo de Aluviossolos Modernos Não Calcários de textura ligeira + Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Aluviossolos de aluviões, de textura ligeira	131101 + 810101	Fluviossolos + Gleyssolos	3616122	1,482
Al + Par	Complexo de Aluviossolos Modernos Não Calcários de textura ligeira + Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos Normais de materiais arenáceos pouco consolidados (de textura arenosa ou francoarenosa)	131101 + 221101	Fluviossolos + Cambissolos	225679	0,093
Alc	Aluviossolos Modernos Calcários de textura ligeira	131201	Fluviossolos	546403	0,224
Alc + Aslc	Complexo de Aluviossolos Modernos Calcários de textura ligeira + Solos Salinos de Salinidade Moderada de Aluviões de textura ligeira, calcários	131201 + 711102	Fluviossolos + Solonchaks	379529	0,156
Ap	Podzóis Não Hidromórficos sem surraipa Normais, de areias ou arenitos	611101	Podzóis	987024	0,405
Ap + Aph	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos sem surraipa, Normais, de areias ou arenitos + Podzóis Hidromórficos sem surraipa, de areias ou arenitos	611101 + 621001	Podzóis	84456	0,035
Ap + Par	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos sem surraipa, Normais, de areias ou arenitos + Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos Normais de materiais arenáceos pouco consolidados (de textura arenosa ou francoarenosa)	611101 + 221101	Podzóis + Cambissolos	118601	0,049
Ap + Ppt	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos sem surraipa, Normais, de areias ou arenitos + Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de ou sobre arenitos consolidados	611101 + 612002	Podzóis	201322	0,083
Ap + Ppt + Vt	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos sem surraipa, Normais, de areias ou arenitos + Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de ou sobre arenitos consolidados + Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos Normais de arenitos grosseiros	611101 + 612002 + 221113	Podzóis + Cambissolos	143638	0,059
Ap + Ps	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos sem surraipa, Normais, de areias ou arenitos + Planossolos de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas	611101 + 821001	Podzóis + Planossolos	61863	0,025
Ap + Pz	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos sem surraipa, Normais, de areias ou arenitos + Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de areias ou arenitos	611101 + 612003	Podzóis	101804	0,042
Ap + Rg	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos sem surraipa, Normais, de areias ou arenitos + Regossolos Psamíticos não húmidos	611101 + 121101	Podzóis + Regossolos	11242855	4,609
Ap + Vt	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos sem surraipa Normais, de areias ou arenitos + Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos Normais de arenitos grosseiros	611101 + 221113	Podzóis + Cambissolos	124050	0,051
Aph + Ap	Podzóis Hidromórficos sem surraipa, de areias ou arenitos + Podzóis Não Hidromórficos sem surraipa, Normais, de areias ou arenitos	621001 + 611101	Podzóis	812403	0,333
Atl	Aluviossolos Antigos Não Calcários de textura ligeira	132101	Fluviossolos	298276	0,122
Ca	Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Aluviossolos, de aluviões, de textura mediana	810103	Gleyssolos	1233941	0,506
Ca + A	Complexo de Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Aluviossolos, de aluviões, de textura mediana + Aluviossolos Modernos Não Calcários de textura mediana	810103 + 131102	Gleyssolos + Fluviossolos	88897	0,036
Ca + Caa	Complexo de Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Aluviossolos de aluviões, de textura ligeira + Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Aluviossolos de aluviões, de textura pesada	810103 + 810105	Gleyssolos	113189	0,046
Ca + Cal	Complexo de Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Aluviossolos, de aluviões, de textura mediana + Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Aluviossolos de aluviões, de textura ligeira	810103 + 810101	Gleyssolos	85700	0,035
Caa	Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Aluviossolos de aluviões, de textura pesada	810105	Gleyssolos	12443321	5,101
Caac	Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Aluviossolos de aluviões, de textura pesada, calcários	810106	Gleyssolos	3177894	1,303
Cac	Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Aluviossolos de aluviões, de textura mediana, calcários	810104	Gleyssolos	157351	0,065
Cal	Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Aluviossolos de aluviões, de textura ligeira	810101	Gleyssolos	3816548	1,565
Cal + Al	Complexo de Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Aluviossolos de aluviões, de textura ligeira + Aluviossolos Modernos Não Calcários de textura ligeira	810101 + 131101	Gleyssolos + Fluviossolos	776802	0,318

S.R.O.A.			F.A.O.	Área (m²)	Área (%)
Sigla	Descrição das famílias	OSoGSgFF			
Cal + Ap	Complexo de Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Aluviossolos de aluviões, de textura ligeira + Podzóis Não Hidromórficos sem surraipa, Normais, de areias ou arenitos	810101 + 611101	Gleyssolos + Podzóis	71490	0,029
Cal + Ca	Complexo de Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Aluviossolos de aluviões, de textura ligeira + Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Aluviossolos, de aluviões, de textura mediana	810101 + 810103	Gleyssolos	222298	0,091
Cal + Par	Complexo de Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Aluviossolos de aluviões, de textura ligeira + Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos Normais de materiais arenáceos pouco consolidados (de textura arenosa ou francoarenosa)	810101 + 221101	Gleyssolos + Cambissolos	336593	0,138
Et + Vt	Complexo de Litossolos (Solos Esqueléticos) de Climas Sub-húmidos e Semiáridos de outros arenitos + Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos Normais de arenitos grosseiros	111010 + 221113	Litossolos + Cambissolos	204147	0,084
Pag	Solos Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários Para-Solos Hidromórficos de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas	512301	Luvisolos	3119107	1,279
Pag + Ppt	Complexo de Solos Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários Para-Solos Hidromórficos de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas + Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de ou sobre arenitos consolidados	512301 + 612002	Luvisolos + Podzóis	38697	0,016
Pag + Rg	Complexo de Solos Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários Para-Solos Hidromórficos de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas + Regossolos Psamíticos não húmidos	512301 + 121101	Luvisolos + Regossolos	411205	0,169
Pag + Sag	Complexo de Solos Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários Para-Solos Hidromórficos de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas + Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Solos Argiluvitados Pouco Insaturados de rochas detríticas argiláceas	512301 + 810402	Luvisolos + Gleyssolos	360990	0,148
Pag + Sg	Complexo de Solos Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários Para-Solos Hidromórficos de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas + Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Regossolos de rochas detríticas arenáceas	512301 + 810201	Luvisolos + Gleyssolos	89142	0,037
Pag + Vt	Complexo de Solos Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários Para-Solos Hidromórficos de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas, Fase pedregosa + Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos Normais de arenitos grosseiros	512301 + 221113	Luvisolos + Cambissolos	3430359	1,406
Par	Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos Normais de materiais arenáceos pouco consolidados (de textura arenosa ou francoarenosa)	221101	Cambissolos	5668107	2,324
Par + Ppr	Complexo de Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos Normais de materiais arenáceos pouco consolidados (de textura arenosa ou francoarenosa) + Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de materiais arenáceos pouco consolidados	221101 + 612001	Cambissolos + Podzóis	2829299	1,160
Ppr	Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de materiais arenáceos pouco consolidados	612001	Podzóis	1852970	0,760
Ppr + Par	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de materiais arenáceos pouco consolidados + Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos Normais de materiais arenáceos pouco consolidados (de textura arenosa ou francoarenosa)	612001 + 221101	Podzóis + Cambissolos	3641053	1,493
Ppt	Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de ou sobre arenitos consolidados	612002	Podzóis	31895567	13,076
Ppt + Ap	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de ou sobre arenitos consolidados + Podzóis Não Hidromórficos sem surraipa, Normais, de areias ou arenitos	612002 + 611101	Podzóis	235104	0,096
Ppt + Cal	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de ou sobre arenitos consolidados + Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Aluviossolos de aluviões, de textura ligeira	612002 + 810101	Podzóis + Gleyssolos	202398	0,083
Ppt + Et	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de ou sobre arenitos consolidados + Litossolos (Solos Esqueléticos) de Climas Sub-húmidos e Semiáridos de outros arenitos	612002 + 111010	Podzóis + Litossolos	208943	0,086
Ppt + Ppt	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de ou sobre arenitos consolidados, Fase pedregosa + Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de ou sobre arenitos consolidados	612002 + 612002	Podzóis	1063670	0,436
Ppt + Ps	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de ou sobre arenitos consolidados + Solos Hidromórficos Com Horizonte Eluvial, Planossolos, de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas	612002 + 821001	Podzóis + Planossolos	107698	0,044
Ppt + Pz	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de ou sobre arenitos consolidados + Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de areias ou arenitos	612002 + 612003	Podzóis	88048	0,036
Ppt + Rg	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de ou sobre arenitos consolidados + Regossolos Psamíticos não húmidos	612002 + 121101	Podzóis + Regossolos	102642	0,042
Ppt + Vt	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de ou sobre arenitos consolidados + Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos	612002 + 221113	Podzóis + Cambissolos	8648407	3,545

S.R.O.A.			F.A.O.	Área (m²)	Área (%)
Sigla	Descrição das famílias	OSoGSgFF			
	Normais de arenitos grosseiros				
Ps	Solos Hidromórficos Com Horizonte Eluvial, Planossolos, de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas	821001	Planossolos	904880	0,371
Pz	Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de areias ou arenitos	612003	Podzóis	315209	0,129
Pz + Rg	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de areias ou arenitos + Regossolos Psamíticos não húmidos	612003 + 121101	Podzóis + Regossolos	245616	0,101
Pz + Vt	Complexo de Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de areias ou arenitos + Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos Normais de arenitos grosseiros	612003 + 221113	Podzóis + Cambissolos	130488	0,053
Rg	Regossolos Psamíticos não húmidos	121101	Regossolos	53373230	21,881
Rg + Ap	Complexo de Regossolos Psamíticos não húmidos + Podzóis Não Hidromórficos sem surraipa, Normais, de areias ou arenitos	121101 + 611101	Regossolos + Podzóis	14399955	5,903
Rg + Par	Complexo de Regossolos Psamíticos não húmidos + Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos Normais de materiais arenáceos pouco consolidados (de textura arenosa ou francoarenosa)	121101 + 221101	Regossolos + Podzóis	48976	0,020
Rg + Pz	Complexo de Regossolos Psamíticos não húmidos + Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de areias ou arenitos	121101 + 612003	Regossolos + Podzóis	832312	0,341
Rg + Rgc	Complexo de Regossolos Psamíticos não húmidos + Regossolos Psamíticos húmidos cultivados	121101 + 121201	Regossolos	235346	0,096
Rg + Vt	Complexo de Regossolos Psamíticos não húmidos + Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos Normais de arenitos grosseiros	121101 + 221113	Regossolos + Cambissolos	2456983	1,007
Rgc	Regossolos Psamíticos húmidos cultivados	121201	Regossolos	2449882	1,004
Rgc + Aph	Complexo de Regossolos Psamíticos húmidos cultivados + Podzóis Hidromórficos sem surraipa, de areias ou arenitos	121201 + 621001	Regossolos + Podzóis	538638	0,221
Rgc + Rg	Complexo de Regossolos Psamíticos húmidos cultivados + Regossolos Psamíticos não húmidos	121201 + 121101	Regossolos	645984	0,265
Rgc + Sg	Complexo de Regossolos Psamíticos húmidos cultivados + Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Regossolos de rochas detríticas arenáceas	121201 + 810201	Regossolos + Gleysolos	208345	0,085
Rgc + Vt	Complexo de Regossolos Psamíticos húmidos cultivados + Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos Normais de arenitos grosseiros	121201 + 221113	Regossolos + Cambissolos	61452	0,025
Sag	Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Solos Argiluvitados Pouco Insaturados de rochas detríticas argiláceas	810402	Gleysolos	2052445	0,841
Sag + Pag + Vt	Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Solos Argiluvitados Pouco Insaturados de rochas detríticas argiláceas + Solos Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários Para-Solos Hidromórficos de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas, Fase pedregosa + Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos Normais de arenitos grosseiros	810402 + 512301 + 221113	Gleysolos + Luvisolos + Cambissolos	1251546	0,513
Sag + Sg	Complexo de Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Solos Argiluvitados Pouco Insaturados de rochas detríticas argiláceas + Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Regossolos de rochas detríticas arenáceas	810402 + 810201	Gleysolos	137094	0,056
Sb	Solos de Baixas (Coluviosolos), Não Calcários, de textura mediana	140102	Fluvisolos	63238	0,026
Sbl	Solos de Baixas (Coluviosolos), Não Calcários, de textura ligeira	140101	Fluvisolos	393920	0,161
Sg	Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Regossolos de rochas detríticas arenáceas	810201	Gleysolos	320143	0,131
Sg + Ap	Complexo de Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Regossolos de rochas detríticas arenáceas + Podzóis Não Hidromórficos sem surraipa, Normais, de areias ou arenitos	810201 + 611101	Gleysolos + Podzóis	1958930	0,803
Sg + Sag	Complexo de Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Regossolos de rochas detríticas arenáceas + Solos Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Solos Argiluvitados Pouco Insaturados de rochas detríticas argiláceas	810201 + 810402	Gleysolos	52842	0,022
Vt	Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos Normais de arenitos grosseiros	221113	Cambissolos	12110087	4,965
Vt + Pag	Complexo de Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos Normais de arenitos grosseiros + Solos Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários Para-Solos Hidromórficos de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas	221113 + 512301	Cambissolos + Luvisolos	1295077	0,531
Vt + Ppt	Complexo de Solos Litólicos Não Húmicos dos Climas Sub-Húmidos e Semiáridos Normais de arenitos grosseiros + Podzóis Não Hidromórficos com surraipa, de ou sobre arenitos consolidados	221113 + 612002	Cambissolos + Podzóis	25450439	10,433

A.9 - Séries sedimentares dos aquíferos nas captações de água da C.M.S.M.

ID	Cód.	Prof. Base	Pos-sança	Sedimentos	Sedimentos Agrupados	
1	377/1	999	0	999	999	
2	377/2	999	0	999	999	
3	377/3	5	5	Argila ligeiramente arenosa na base, amarela acastanhada	Argila arenosa	
4		9	4	Areia média branca amarelada	Areia	
5		11	2	Argila acinzentada com laivos castanhos	Argila	
6		12	1	Areia fina esbranquiçada	Areia	
7		19	7	Argila cinzenta	Argila	
8		20	1	Areia média com burgau amarelada	Areia + Fenoclastos	
9		21	1	Areia fina a média amarelada	Areia	
10		22	1	Argila cinzenta escura	Argila	
11		24	2	Areia fina a média, branca-amarelada	Areia	
12		26	2	Argila cinzenta escura	Argila	
13		32	6	Areia fina amarelada	Areia	
14		45	13	Cascalheira (> ou = a 10 cm)	Fenoclastos	
15		48	3	Argila arenosa cinzenta esverdeada	Argila arenosa	
16		55	7	Grés médio a grosseiro amarelo esbranquiçado	Grés	
17		60	5	Argila acastanhada	Argila	
18		63	3	Grés médio amarelado	Grés	
19		70	7	Grés médio amarelado, esbranquiçado	Grés	
20		80	10	Argila acinzentada com laivos castanhos	Argila	
21		90	10	Grés médio a grosseiro (na base) por vezes com seixo, amarelo esbranquiçado	Grés + Fenoclastos	
22		92	2	Argila acinzentada com laivos castanhos	Argila	
23		104	12	Grés médio, por vezes com seixo, esbranquiçado, por vezes amarelado	Grés + Fenoclastos	
24		115	11	Argila acinzentada esverdeada	Argila	
25		120	5	Grés fino a médio, ligeiramente argiloso, acinzentado	Grés	
26		124	4	Argila gresosa esverdeada	Argila	
27		161	37	Argila por vezes com pequenas concreções calcárias, cinzenta esverdeada, com laivos castanhos	Argila	
28		162	1	Grés médio a grosseiro amarelado	Grés	
29		378/1	2	2	Argila arenosa avermelhada	Argila arenosa
30	26		24	Areia grosseira com calhaus de grandes dimensões	Areia + Fenoclastos	
31	27		1	Argila acastanhada	Argila	
32	31		4	Argila acinzentada	Argila	
33	40		9	Areia grosseira com seixo, branca-amarelada	Areia + Fenoclastos	
34	44		4	Argila acinzentada-esverdeada com laivos castanhos	Argila	
35	46		2	Grés fino argiloso amarelo-acastanhado	Grés	
36	49		3	Argila cinzenta-esverdeada	Argila	
37	55		6	Areia grosseira com seixo, esbranquiçada	Areia + Fenoclastos	
38	57		2	Areia fina amarelada	Areia	
39	63		6	Argila acastanhada	Argila	
40	68		5	Areia fina a média amarelada	Areia	
41	71		3	Areia grosseira com seixo, branca	Areia + Fenoclastos	
42	79		8	Argila acinzentada esverdeada, por vezes com laivos acastanhados	Argila	
43	87		8	Grés médio (muito fino no topo) amarelado-acastanhado	Grés	
44	90		3	Grés médio a grosseiro com seixo, branco-amarelado	Grés + Fenoclastos	
45	94		4	Argila arenosa cinzenta-esverdeada	Argila arenosa	
46	97		3	Grés médio com seixo na base, branco-amarelado	Grés + Fenoclastos	
47	116		19	Argila cinzenta-esverdeada	Argila	
48	125		9	Grés médio a grosseiro esbranquiçado	Grés + Fenoclastos	
49	128		3	Argila arenosa cinzenta-esverdeada	Argila arenosa	
50	130		2	Argila arenosa, avermelhada	Argila arenosa	
51	132		2	Argila arenosa, cinzenta-esverdeada	Argila arenosa	
52	141		9	Grés médio a grosseiro com seixo, amarelado-esbranquiçado	Grés + Fenoclastos	
53	150		9	Argila cinzenta-esverdeada	Argila	
54	378/2		2	2	Argila arenosa amarela-acastanhada	Argila arenosa
55			24	22	Cascalheira	Fenoclastos
56		26	2	Argila arenosa com burgau, amarelada	Argila arenosa + Fenoclastos	
57		32	6	Grés fino a médio, argiloso, cinzento-acastanhado	Grés	
58		37	5	Grés médio a grosseiro, com seixo, branco-amarelado	Grés + Fenoclastos	
59		43	6	Argila cinzenta-acastanhada	Argila	

ID	Cód.	Prof. Base	Pos-sanção	Sedimentos	Sedimentos Agrupados
60		45	2	Grés médio a grosseiro, amarelado	Grés
61		49	4	Argila acinzentada, com laivos acastanhados	Argila
62		59	10	Grés fino a médio, branco-amarelado	Grés
63		63	4	Argila acastanhada	Argila
64		64	1	Grés grosseiro com seixo ou burgau, amarelado	Grés + Fenoclastos
65		67	3	Grés fino a médio, branco-amarelado	Grés
66		69	2	Grés médio, esbranquiçado	Grés
67		77	8	Argila cinzenta-acastanhada	Argila
68		88	11	Grés médio a grosseiro, branco-amarelado	Grés
69		91	3	Argila acinzentada	Argila
70		95	4	Grés fino a médio, esbranquiçado	Grés
71		107	12	Argila acastanhada	Argila
72		109	2	Grés grosseiro, branco-amarelado	Grés
73		112	3	Grés grosseiro a médio, amarelado	Grés
74		127	15	Argila acastanhada	Argila
75		10	10	Cascalheiras	Fenoclastos
76		14	4	Areia média com burgau, amarelada	Areia + Fenoclastos
77		16	2	Argila acastanhada	Argila
78		23	7	Areia média com burgau e/ou calhaus rolados, amarelados	Areia + Fenoclastos
79		27	4	Areia fina amarelada	Areia
80		28	1	Areia média a grosseira com seixo, amarelada	Areia + Fenoclastos
81		35	7	Argila cinzenta esverdeada com laivos castanhos	Argila
82		46	11	Areia grosseira, por vezes com seixo e/ou burgau, amarelada-esbranquiçada	Areia + Fenoclastos
83		49	3	Argila acastanhada	Argila
84		52	3	Areia média esbranquiçada	Areia
85		74	22	Argila acastanhada, por vezes esverdeada	Argila
86		85	11	Grés médio, por vezes com seixo, amarelado	Grés + Fenoclastos
87		89	4	Argila esverdeada	Argila
88	378/3	92	3	Grés médio acastanhado-amarelado	Grés
89		94	2	Argila acastanhada	Argila
90		98	4	Grés médio com seixo, amarelado-acastanhado	Grés + Fenoclastos
91		108	10	Argila esverdeada-acinzentada	Argila
92		117	9	Grés médio esbranquiçado	Grés
93		120	3	Grés médio a grosseiro acastanhado	Grés
94		126	6	Grés médio a grosseiro amarelado-esbranquiçado	Grés
95		130	4	Argila cinzenta-esverdeada	Argila
96		139	9	Grés médio a grosseiro com seixo e/ou burgau, amarelado-esbranquiçado no topo	Grés + Fenoclastos
97		146	7	Argila esverdeada	Argila
98		151	5	Grés grosseiro com seixo e/ou burgau	Grés + Fenoclastos
99		154	3	Argila esverdeada	Argila
100		158	4	Grés médio a grosseiro com seixo, amarelado	Grés + Fenoclastos
101		170	12	Argila cinzenta-esverdeada	Argila
102		12	12	Argila arenosa com burgau e calhaus rolados, acastanhada	Argila arenosa + Fenoclastos
103		16	4	Argila acinzentada com laivos castanhos	Argila
104		22	6	Areia média com seixo, branca-amarelada	Areia + Fenoclastos
105		28	6	Argila cinzenta-esverdeada	Argila
106		35	7	Areia grosseira com seixo e/ou burgau, branca	Areia + Fenoclastos
107		38	3	Argila acastanhada	Argila
108		53	15	Areia grosseira com seixo e/ou burgau, esbranquiçada	Areia + Fenoclastos
109		56	3	Argila acinzentada	Argila
110		57	1	Grés médio argiloso acinzentado	Grés
111	378/4	60	3	Argila acinzentada	Argila
112		61	1	Grés médio argiloso acinzentado	Grés
113		68	7	Argila acinzentada com laivos castanhos	Argila
114		70	2	Grés médio argiloso acinzentado	Grés
115		73	3	Argila acinzentada	Argila
116		77	4	Grés grosseiro com seixo e/ou burgau, acastanhado	Grés + Fenoclastos
117		83	6	Argila acinzentada-esverdeada	Argila
118		88	5	Grés grosseiro com seixo, amarelado	Grés + Fenoclastos
119		98	10	Argila acinzentada	Argila
120		100	2	Grés fino argiloso, amarelado	Grés
121		103	3	Grés grosseiro com seixo e/ou burgau, amarelado-esbranquiçado	Grés + Fenoclastos

ID	Cód.	Prof. Base	Pos-sança	Sedimentos	Sedimentos Agrupados
122		118	15	Argila acinzentada-acastanhada	Argila
123		123	5	Grés grosseiro com seixo e/ou burgau, amarelado	Grés + Fenoclastos
124		138	15	Argila acinzentada-esverdeada (na base)	Argila
125		143	5	Grés fino argiloso, amarelado	Grés
126		155	12	Argila cinzenta-esverdeada	Argila
127		160	5	Grés médio com seixo, ligeiramente argiloso, acinzentado	Grés + Fenoclastos
128		166	6	Argila acinzentada	Argila
129		168	2	Grés médio a fino, amarelado	Grés
130		180	12	Grés grosseiro com seixo e/ou burgau, com pequenas intercalações de argila cinzenta/acinzentado	Grés + Argila + Fenoclastos
131		192	12	Argila cinzenta esverdeada com laivos castanhos	Argila
132		194	2	Grés grosseiro com seixo, amarelado-acastanhado	Grés + Fenoclastos
133		203	9	Argila cinzenta esverdeada com laivos castanhos	Argila
134		208	5	Grés grosseiro com seixo e/ou burgau acastanhado claro	Grés + Fenoclastos
135		212	4	Argila esverdeada	Argila
136		213	1	Grés grosseiro com burgau, acastanhado claro	Grés + Fenoclastos
137		224	11	Argila esverdeada e/ou acastanhada	Argila
138		225	1	Grés grosseiro com seixo	Grés + Fenoclastos
139		226	1	Argila acinzentada	Argila
140		230	4	Grés grosseiro com seixo esbranquiçado	Grés + Fenoclastos
141		250	20	Argila acinzentada	Argila
142		30	30	Argila ligeiramente arenosa com burgau e calhaus, amarelada	Argila arenosa + Fenoclastos
143		45	15	Areia média com burgau e ou calhaus de menores dimensões, branca/amarela	Areia + Fenoclastos
144		46	1	Argila cinzenta	Argila
145		49	3	Areia fina esbranquiçada	Areia
146		56	7	Argila acinzentada com laivos castanhos	Argila
147		60	4	Areia média a grosseira, branca/amarelada	Areia
148		65	5	Argila cinzenta com laivos castanhos	Argila
149		74	9	Grés médio a grosseiro ligeiramente argiloso, amarelo-acastanhado	Grés
150		81	7	Grés médio a grosseiro com seixo esbranquiçado	Grés + Fenoclastos
151		84	3	Argila acinzentada com laivos castanhos	Argila
152		87	3	Grés médio argiloso, amarelo-acastanhado	Grés
153		89	2	Grés médio a grosseiro com seixo, amarelado	Grés + Fenoclastos
154	378/5	95	6	Areia acinzentada com laivos castanhos	Areia
155		98	3	Grés fino a médio, amarelado	Grés
156		103	5	Grés médio a grosseiro com seixo esbranquiçado	Grés + Fenoclastos
157		106	3	Argila acinzentada com laivos castanhos	Argila
158		111	5	Grés médio a grosseiro esbranquiçado	Grés
159		113	2	Grés fino branco-amarelado	Grés
160		118	5	Argila cinzenta esverdeada	Argila
161		120	2	Grés fino argiloso amarelado	Grés
162		127	7	Argila cinzenta esverdeada	Argila
163		133	6	Grés médio a grosseiro com seixo esbranquiçado a acinzentado (na base)	Grés + Fenoclastos
164		148	15	Argila acinzentada esverdeada com laivos castanhos	Argila
165		153	5	Grés médio acinzentado amarelado	Grés
166		159	6	Grés fino a médio na base, acinzentado	Grés
167		183	24	Argila acinzentada esverdeada, por vezes com laivos castanhos	Argila
168		40	40	Areia grosseira com calhaus rolados esbranquiçada	Areia + Fenoclastos
169		46	6	Areia grosseira com seixo e burgau	Areia + Fenoclastos
170		58	12	Argila cinzenta com laivos castanhos	Argila
171		61	3	Areia média amarelada	Areia
172		68	7	Argila castanha	Argila
173		82	14	Grés fino a médio, branco-amarelado	Grés
174		87	5	Argila castanha	Argila
175	378/6	92	5	Grés médio a grosseiro amarelado	Grés
176		95	3	Argila cinzenta com laivos castanhos	Argila
177		105	10	Grés médio esbranquiçado	Grés
178		109	4	Argila cinzenta com laivos castanhos	Argila
179		113	4	Grés fino a médio amarelado	Grés
180		115	2	Argila acinzentada	Argila
181		126	11	Grés médio esbranquiçado	Grés
182		127	1	Argila acinzentada	Argila

ID	Cód.	Prof. Base	Pos-sança	Sedimentos	Sedimentos Agrupados
183		130	3	Grés fino a médio amarelado	Grés
184		138	8	Grés médio a grosseiro amarelado	Grés
185		144	6	Argila acinzentada	Argila
186		149	5	Grés médio a grosseiro com seixo esbranquiçado	Grés + Fenoclastos
187		153	4	Argila acinzentada	Argila
188		160	7	Grés médio a grosseiro amarelado	Grés
189		170	10	Argila cinzenta com laivos castanhos, por vezes arenosa	Argila
190	378/7	999	0	999	0
191		14	14	Argila arenosa com calhaus rolados amarelada	Argila arenosa + Fenoclastos
192		35	21	Areia média a grosseira com calhaus rolados, esbranquiçada	Areia + Fenoclastos
193		37	2	Argila acinzentada	Argila
194		45	8	Areia média a grosseira com seixo e ou burgau esbranquiçado	Areia + Fenoclastos
195		52	7	Argila acinzentada com laivos castanhos	Argila
196		55	3	Areia média esbranquiçada	Areia
197		57	2	Argila acinzentada	Argila
198		64	7	Areia média esbranquiçada	Areia
199		69	5	Argila acinzentada com laivos castanhos	Argila
200	378/8	76	7	Areia fina a média branca amarelada	Areia
201		80	4	Argila acinzentada acastanhada	Argila
202		84	4	Areia média esbranquiçada	Areia
203		91	7	Argila acinzentada acastanhada	Argila
204		92	1	Grés médio argiloso amarelado	Grés
205		101	9	Argila acinzentada esverdeada	Argila
206		111	10	Grés médio a grosseiro esbranquiçado acinzentado na base	Grés
207		118	7	Argila acinzentada esverdeada	Argila
208		120	2	Grés médio esbranquiçado acinzentado	Grés
209		130	10	Argila acinzentada esverdeada	Argila
210		140	10	Grés médio a grosseiro acinzentado	Grés
211		153	13	Argila acinzentada esverdeada	Argila
212		34	34	Areia grosseira com burgau e calhaus médios esbranquiçados, por vezes amarelada	Areia + Fenoclastos
213		38	4	Argila acinzentada	Argila
214		45	7	Areia média grosseira, esbranquiçada	Areia
215		50	5	Argila cinzenta, amarelada	Argila
216		54	4	Areia média esbranquiçada	Areia
217		57	3	Argila acinzentada	Argila
218		66	9	Areia média a fina, esbranquiçada	Areia
219		68	2	Argila acastanhada	Argila
220		84	16	Areia média a fina, esbranquiçada	Areia
221		91	7	Argila acastanhada	Argila
222		95	4	Areia média a grosseira com seixo, amarelada	Areia + Fenoclastos
223		99	4	Argila acinzentada	Argila
224	378/9	113	4	Areia média grosseira, esbranquiçada	Areia
225		118	5	Argila acinzentada	Argila
226		121	3	Areia média, esbranquiçada	Areia
227		131	10	Argila acinzentada	Argila
228		140	9	Areia média a grosseira, esbranquiçada	Areia
229		147	7	Argila acastanhada	Argila
230		152	5	Areia média, esbranquiçada	Areia
231		161	9	Argila acinzentada	Argila
232		164	3	Areia média a grosseira com seixo, amarelada	Areia + Fenoclastos
233		167	3	Areia média a grosseira, esbranquiçada	Areia
234		181	4	Argila acastanhada	Argila
235		188	7	Areia média, esbranquiçada	Areia
236		193	5	Argila acinzentada	Argila
237		195	2	Areia grosseira com seixo, amarelada	Areia + Fenoclastos
238		201	6	Argila acinzentada	Argila
239	378/10	24	24	Cascalheira	Fenoclastos
240		30	6	Argila acinzentada	Argila
241		38	8	Areia média com seixo e/ou burgau, esbranquiçada-amarelada	Areia + Fenoclastos
242		42	4	Argila acinzentada com laivos castanhos	Argila
243		45	3	Grés médio com seixo amarelado-acastanhado	Grés + Fenoclastos

ID	Cód.	Prof. Base	Pos-sança	Sedimentos	Sedimentos Agrupados
244		47	2	Argila acinzentada	Argila
245		57	10	Areia média com seixo amarelada	Areia + Fenoclastos
246		62	5	Argila acinzentada com laivos castanhos	Argila
247		70	8	Areia fina, esbranquiçada (amarelada no topo)	Areia
248		75	5	Argila acinzentada	Argila
249		87	12	Areia fina a média, amarelada-esbranquiçada	Areia
250		90	3	Argila acinzentada com laivos castanhos	Argila
251		95	5	Areia média, esbranquiçada	Areia
252		107	12	Grés médio, esbranquiçado-acinzentado claro	Grés
253		109	2	Argila acinzentada	Argila
254		118	9	Argila cinzenta	Argila
255		120	2	Grés médio, esbranquiçado-acinzentado claro	Grés
256		128	8	Argila cinzenta	Argila
257		132	4	Grés médio com seixo, amarelado-acastanhado	Grés + Fenoclastos
258		134	2	Argila cinzenta	Argila
259		140	6	Grés médio com seixo, acinzentado claro	Grés + Fenoclastos
260		157	17	Argila cinzenta	Argila
261		162	5	Grés médio acinzentado	Grés
262		166	4	Argila cinzenta-esverdeada	Argila
263		175	9	Grés médio a grosseiro com seixo, amarelado-acinzentado	Grés + Fenoclastos
264		190	15	Argila cinzenta-esverdeada, com laivos castanhos	Argila
265		6	6	Argila arenosa, amarelada	Argila arenosa
266		9	3	Argila arenosa, cinzenta	Argila arenosa
267		12	3	Areia fina, amarelada	Areia
268		18	6	Argila acinzentada	Argila
269		30	12	Areia fina a média com conchas, amarelada	Areia + Conchas
270		42	12	Argila cinzenta	Argila
271		63	21	Areia média a grosseira com burgau e/ou calhaus rolados, esbranquiçada	Areia + Fenoclastos
272		66	3	Argila cinzenta	Argila
273		84	18	Areia média com seixo e/ou burgau, esbranquiçada-amarelada	Areia + Fenoclastos
274		90	6	Argila cinzenta	Argila
275		92	2	Grés médio com seixo, esbranquiçado	Grés + Fenoclastos
276		96	4	Argila cinzenta	Argila
277		107	11	Grés médio com seixo, amarelado-esbranquiçado	Grés + Fenoclastos
278		108	1	Argila cinzenta	Argila
279		114	6	Grés médio com seixo, amarelado	Grés + Fenoclastos
280		120	6	Argila cinzenta	Argila
281		179	59	Grés médio, por vezes com seixo, amarelado-esbranquiçado, por vezes com pequenas intercalações argilosas	Grés + Argila + Fenoclastos
282		10	10	Areia fina, amarelada	Areia
283		11	1	Argila acinzentada	Argila
284		13	2	Areia fina, amarelada	Areia
285		15	2	Argila acastanhada	Argila
286		20	5	Areia fina a média, amarelada	Areia
287		24	4	Areia média a grosseira com seixo e/ou burgau, branca	Areia + Fenoclastos
288		27	3	Areia média a grosseira com calhaus (> 20 cm)	Areia + Fenoclastos
289		40	13	Argila cinzenta	Argila
290		43	3	Areia grosseira esbranquiçada	Areia
291		46	3	Argila cinzenta	Argila
292		59	13	Areia grosseira com burgau e calhaus, esbranquiçada	Areia + Fenoclastos
293		61	2	Argila cinzenta-esverdeada	Argila
294		75	14	Areia grosseira com burgau e/ou calhaus, esbranquiçada	Areia + Fenoclastos
295		86	11	Areia grosseira, com seixo e/ou burgau	Areia + Fenoclastos
296		97	11	Argila cinzenta-esverdeada com laivos castanhos	Argila
297		102	5	Areia grosseira com seixo, esbranquiçada	Areia + Fenoclastos
298		104	2	Argila arenosa, acinzentada	Argila arenosa
299		109	5	Grés médio com seixo miúdo, amarelado	Grés + Fenoclastos
300		115	6	Grés médio a grosseiro com seixo, esbranquiçado	Grés + Fenoclastos
301		118	3	Argila cinzenta esverdeada	Argila
302		126	8	Grés médio a grosseiro, esbranquiçado	Grés
303		129	3	Argila amarela acastanhada	Argila
304		134	5	Grés médio a grosseiro, esbranquiçado	Grés
305		136	2	Argila acinzentada	Argila

ID	Cód.	Prof. Base	Pos-sança	Sedimentos	Sedimentos Agrupados	
306		154	18	Grés médio (grosseiro na base) esbranquiçado-amarelado	Grés	
307		156	2	Grés fino a médio esbranquiçado-acizentado	Grés	
308		160	4	Argila cinzenta	Argila	
309	391/3	6	6	Areia fina acizentada	Areia	
310		12	6	Areia fina esbranquiçada	Areia	
311		14	2	Argila acizentada	Argila	
312		24	10	Areia m./g. acizentada	Areia	
313		28	4	Cascalheira rolada (+/- 5 cm)	Fenoclastos	
314		42	14	Argila cinzenta escura	Argila	
315		48	6	Areia m./g. esbranquiçada com calhaus	Areia + Fenoclastos	
316		57	9	Cascalheira (+/- 5 cm)	Fenoclastos	
317		59	2	Argila acastanhada	Argila	
318		63	4	Areia m./g. esbranquiçada	Areia	
319		72	9	Cascalheira (+/- 5 cm)	Fenoclastos	
320		86	14	Cascalheira (> ou = a 5 cm)	Fenoclastos	
321		97	11	Argila arenosa acizentada	Argila arenosa	
322		102	5	Areia m./g. acastanhada	Areia	
323		105	3	Argila acizentada	Argila	
324		114	9	Areia média esbranquiçada	Areia	
325		130	16	Argila arenosa acastanhada	Argila arenosa	
326		164	34	Areia m./g. acizentada	Areia	
327		170	6	Argila cinzenta acastanhada	Argila	
328		391/4	1	1	Terra vegetal com argila acastanhada	Terra vegetal + Argila
329			4	3	Areia fina amarelada	Areia
330			10	6	Areia fina esbranquiçada	Areia
331			18	8	Argila acizentada-amarelada	Argila
332			19	1	Areia média amarelada	Areia
333			25	6	Argila esverdeada com laivos castanhos	Argila
334			31	6	Areia média amarela-esbranquiçada	Areia
335			34	3	Argila cinzenta esverdeada com laivos castanhos	Argila
336	40		6	Areia média com seixo e/ou burgau, esbranquiçada	Areia + Fenoclastos	
337	45		5	Argila esverdeada com laivos castanhos	Argila	
338	48		3	Areia média com seixo, fina na base, esbranquiçada	Areia + Fenoclastos	
339	49		1	Argila acizentada	Argila	
340	69		20	Areia média a grosseira com burgau e/ou calhaus rolados, esbranquiçada	Areia + Fenoclastos	
341	75		6	Argila acizentada	Argila	
342	79		4	Areia média a grosseira com seixo e/ou burgau, esbranquiçada	Areia + Fenoclastos	
343	83		4	Argila esverdeada com laivos castanhos	Argila	
344	89		6	Grés médio a grosseiro, com seixo, esbranquiçado-amarelado	Grés + Fenoclastos	
345	99		10	Argila esverdeada-acastanhada	Argila	
346	103		4	Grés médio amarelado	Grés	
347	106		3	Argila acastanhada	Argila	
348	107		1	Grés fino argiloso acastanhado	Grés	
349	110		3	Argila esverdeada com laivos castanhos	Argila	
350	112		2	Grés médio esbranquiçado-amarelado	Grés	
351	117		5	Argila acastanhada	Argila	
352	118		1	Grés médio amarelado	Grés	
353	122		4	Argila acastanhada-esverdeada	Argila	
354	128		6	Grés médio a grosseiro, com seixo e/ou burgau esbranquiçado (na base) e amarelado (no topo)	Grés + Fenoclastos	
355	135		7	Argila acizentada-esverdeada	Argila	
356	137		2	Grés fino argiloso amarelado-acastanhado	Grés	
357	141		4	Argila cinzenta-esverdeada	Argila	
358	154		13	Grés médio, por vezes com seixo, esbranquiçado-acizentado	Grés + Fenoclastos	
359	161		7	Argila esverdeada	Argila	
360	169		8	Grés médio, por vezes ligeiramente argiloso, acizentado	Grés	
361	171		2	Argila esverdeada	Argila	
362	175	4	Grés médio com seixo, esbranquiçado-amarelado	Grés + Fenoclastos		
363	178	3	Grés médio com seixo, acastanhado	Grés + Fenoclastos		
364	391/5	10	10	Areia muito fina, siltosa, amarelada	Areia	
365		12	2	Grés muito argiloso compacto, amarelado	Grés	
366		22	10	Argila compacta siltosa, acastanhada	Argila	
367		24	2	Areia muito fina, amarelada	Areia	

ID	Cód.	Prof. Base	Pos-sança	Sedimentos	Sedimentos Agrupados
368		43	19	Cascalheira	Fenoclastos
369		45	2	Areia média a grosseira, esbranquiçada	Areia
370		46	1	Areia fina a média, esbranquiçada	Areia
371		52	6	Argila siltosa, castanha-acinzentada	Argila siltosa
372		58	6	Areia média a grosseira, esbranquiçada	Areia
373		73	15	Areia grosseira com seixo, amarelada	Areia + Fenoclastos
374		75	2	Argila compacta acinzentada com material orgânico	Argila + material orgânico
375		84	9	Areia grosseira com burgau, esbranquiçada	Areia + Fenoclastos
376		87	3	Argila compacta acinzentada	Argila
377		94	7	Areia grosseira com burgau, amarelada	Areia + Fenoclastos
378		98	4	Argila siltosa, cinzenta clara	Argila siltosa
379		108	10	Areia grosseira com burgau, amarelada	Areia + Fenoclastos
380		114	6	Argila cinzenta com laivos acastanhados	Argila
381		117	3	Areia muito fina, amarelada	Areia
382		118	1	Argila siltosa, acinzentada	Argila siltosa
383		120	2	Areia grosseira, esbranquiçada	Areia
384		124	4	Areia fina a média, esbranquiçada	Areia
385		126	2	Areia média a grosseira, esbranquiçada	Areia
386		138	12	Argila siltosa, cinzenta acastanhada	Argila siltosa
387		144	6	Areia média a grosseira, esbranquiçada	Areia
388		147	3	Argila compacta, acastanhada	Argila
389		150	3	Areia fina a média, amarelada	Areia
390		151	1	Argila acinzentada	Argila
391		153	2	Grés médio a grosseiro com seixo, amarelado	Grés + Fenoclastos
392		154	1	Grés fino, por vezes médio, amarelado	Grés
393		155	1	Grés fino a médio com seixo, amarelado	Grés + Fenoclastos
394		156	1	Argila compacta, acinzentada	Argila
395		161	5	Grés médio a grosseiro, amarelado	Grés
396		176	15	Argila compacta, acinzentada	Argila
397		179	3	Grés grosseiro com seixo e / ou burgau, amarelado	Grés + Fenoclastos
398		187	8	Argila acinzentada	Argila
399		193	6	Grés grosseiro com seixo e / ou burgau, amarelado	Grés + Fenoclastos
400		203	10	Argila acinzentada	Argila
401	391/6	999	0	999	0
402	391/7	999	0	999	0
403		18	18	Cascalheira	Fenoclastos
404		20	2	Areia grosseira com seixo, branca	Areia + Fenoclastos
405		27	7	Argila acinzentada com laivos castanhos	Argila
406		34	7	Areia média a grosseira com burgau, amarelada	Areia + Fenoclastos
407		36	2	Argila acastanhada	Argila
408		38	2	Areia média com burgau, amarelada	Areia + Fenoclastos
409		39	1	Argila acinzentada	Argila
410		49	10	Areia média a grosseira com seixo e/ou burgau esbranquiçada	Areia + Fenoclastos
411		50	1	Argila cinzenta-esverdeada	Argila
412		55	5	Argila arenosa, com seixo e/ou burgau, acinzentada	Argila arenosa + Fenoclastos
413		56	1	Argila acinzentada	Argila
414		58	2	Areia média branca-amarelada	Areia
415	391/8	64	6	Argila acinzentada-acastanhada	Argila
416		66	2	Grés médio a grosseiro, amarelado	Grés
417		70	4	Argila acinzentada	Argila
418		73	3	Grés médio a grosseiro, amarelado	Grés
419		75	2	Argila acinzentada	Argila
420		77	2	Grés médio argiloso amarelado	Grés
421		80	3	Grés médio a grosseiro, esbranquiçado	Grés
422		82	2	Argila acinzentada	Argila
423		88	6	Grés médio a grosseiro branco-amarelado	Grés
424		100	12	Argila cinzenta-esverdeada	Argila
425		104	4	Grés médio a grosseiro com seixo, amarelado-acinzentado	Grés + Fenoclastos
426		106	2	Argila acinzentada	Argila
427		112	6	Grés médio a grosseiro amarelado-acinzentado	Grés
428		117	5	Argila cinzenta-esverdeada	Argila

ID	Cód.	Prof. Base	Pos-sança	Sedimentos	Sedimentos Agrupados
429		121	4	Grés médio a grosseiro acinzentado	Grés
430		128	7	Argila cinzenta-esverdeada	Argila
431		133	5	Grés médio acinzentado	Grés
432		141	8	Argila cinzenta-esverdeada	Argila
433		144	3	Grés médio argiloso amarelado	Grés
434		6	6	Argila arenosa acastanhada	Argila arenosa
435		12	6	Argila cinzenta	Argila
436		30	18	Areia fina a média com seixo na base, amarelada	Areia + Fenoclastos
437		39	9	Argila cinzenta escura	Argila
438		42	3	Areia fina a média, amarelada	Areia
439		45	3	Argila acinzentada	Argila
440	391/9	54	9	Areia média a grosseira com seixo e/ou burgau e/ou calhaus rolados, amarelada-esbranquiçada (na base)	Areia + Fenoclastos
441		57	3	Areia média esbranquiçada	Areia
442		60	3	Argila cinzenta-esverdeada	Argila
443		93	33	Areia média a grosseira, por vezes com seixo e/ou burgau, esbranquiçada-amarelada	Areia + Fenoclastos
444		97	4	Argila cinzenta	Argila
445		117	20	Grés médio, por vezes com seixo, amarelado	Grés + Fenoclastos
446		126	9	Grés médio, por vezes argiloso	Grés
447		3	3	Areia fina argilosa, amarelada-acastanhada	Areia argilosa
448		4	1	Argila arenosa, acinzentada	Argila arenosa
449		7	3	Areia fina, esbranquiçada-amarelada	Areia
450		23	16	Argila cinzenta-acastanhada	Argila
451		45	22	Areia média com calhaus rolados, esbranquiçada	Areia + Fenoclastos
452		51	6	Argila acinzentada	Argila
453		64	13	Areia média, esbranquiçada	Areia
454		66	2	Argila acinzentada	Argila
455		73	7	Areia média com seixo, branca	Areia + Fenoclastos
456		77	4	Argila cinzenta	Argila
457		83	6	Areia média com seixo e/ou burgau, branca	Areia + Fenoclastos
458		86	3	Argila cinzenta	Argila
459		93	7	Areia média com seixo, branca	Areia + Fenoclastos
460		95	2	Argila cinzenta	Argila
461		108	13	Areia média com seixo, branca	Areia + Fenoclastos
462	391/10	114	6	Argila acinzentada com laivos castanhos	Argila
463		121	7	Areia fina a média, esbranquiçada-amarelada	Areia
464		135	14	Argila cinzenta-esverdeada	Argila
465		141	6	Areia média, esbranquiçada	Areia
466		147	6	Argila cinzenta-esverdeada	Argila
467		161	14	Areia média, por vezes com seixo, esbranquiçada	Areia + Fenoclastos
468		177	16	Argila cinzenta escura, por vezes com laivos castanhos	Argila
469		179	2	Areia grosseira, esbranquiçada	Areia
470		183	4	Argila cinzenta escura	Argila
471		201	18	Areia média com seixo e/ou burgau, esbranquiçada	Areia + Fenoclastos
472		207	6	Argila cinzenta-esverdeada	Argila
473		213	6	Areia média a grosseira com seixo, esbranquiçada	Areia + Fenoclastos
474		215	2	Argila esverdeada	Argila
475		217	2	Grés médio, acastanhado	Grés
476		221	4	Argila esverdeada	Argila
477		226	5	Grés médio, esbranquiçado-acinzentado	Grés

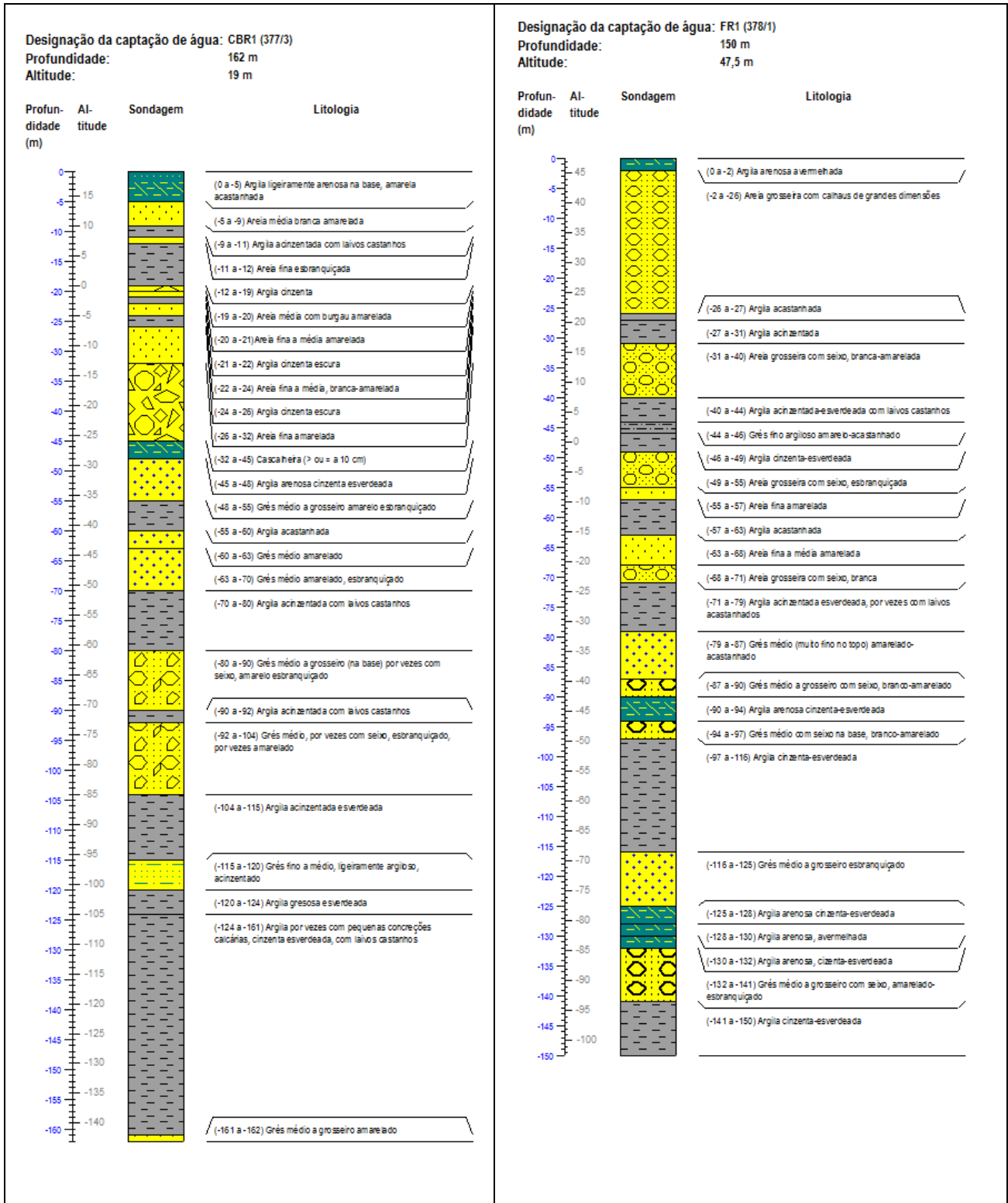
#### A.10 - Posicionamento dos tubos ralos das captações de água da C.M.S.M.

Código	Topo da Sequência	Base da Sequência	Diâmetro da Secção
377/1	999	999	999
377/2	-32	-34	999
377/2	-36,5	-40,50	999
377/2	-50,50	-54,50	999
377/2	-62,50	-68,50	999
377/3	-85,50	-90	203,2

<b>Código</b>	<b>Topo da Sequência</b>	<b>Base da Sequência</b>	<b>Diâmetro da Secção</b>
377/3	-93	-96	203,2
377/3	-96,50	-101	203,2
377/3	-102,50	-104	203,2
377/3	-117	-120	203,2
377/3	-121,50	-124,50	203,2
378/1	-93	-97	200 mm x 9,6 mm
378/1	-118,50	-120,50	200 mm x 9,6 mm
378/1	-122	-126	200 mm x 9,6 mm
378/1	-131,50	-135,50	200 mm x 9,6 mm
378/1	-137,50	-141,50	200 mm x 9,6 mm
378/10	-106,00	-109,00	225 mm x 13 mm
378/10	-117,00	-120,00	225 mm x 13 mm
378/10	-135,50	-139,50	225 mm x 13 mm
378/10	-157,00	-160,00	225 mm x 13 mm
378/10	-165,50	-169,50	225 mm x 13 mm
378/10	-170,50	-174,50	225 mm x 13 mm
378/2	999	999	999
378/3	-108,0	-110,0	200 mm x 9,6 mm
378/3	-112,0	-116,0	200 mm x 9,6 mm
378/3	-120,0	-122,0	200 mm x 9,6 mm
378/3	-124,0	-128,0	200 mm x 9,6 mm
378/3	-130,0	-134,0	200 mm x 9,6 mm
378/3	-136,0	-140,0	200 mm x 9,6 mm
378/3	-147,0	-151,0	200 mm x 9,6 mm
378/3	-153,0	-157,0	200 mm x 9,6 mm
378/4	-155,00	-161,00	250 mm x 11,9 mm
378/4	-167,00	-171,00	250 mm x 11,9 mm
378/4	-172,00	-176,00	250 mm x 11,9 mm
378/4	-177,00	-180,00	250 mm x 11,9 mm
378/4	-190,00	-193,00	250 mm x 11,9 mm
378/4	-203,00	-207,00	250 mm x 11,9 mm
378/4	-210,00	-213,00	250 mm x 11,9 mm
378/4	-220,00	-224,00	250 mm x 11,9 mm
378/4	-226,00	-230,00	250 mm x 11,9 mm
378/5	-98,35	-110,05	200 mm x 9,6 mm
378/5	-127,60	-133,45	200 mm x 9,6 mm
378/5	-148	-153,85	200 mm x 9,6 mm
378/5	-155,70	-161,55	200 mm x 9,6 mm
378/6	-88,00	-92,00	200 mm x 9,6 mm
378/6	-94,00	-98,00	200 mm x 9,6 mm
378/6	-100,00	-104,00	200 mm x 9,6 mm
378/6	-111,00	-115,00	200 mm x 9,6 mm
378/6	-117,00	-121,00	200 mm x 9,6 mm
378/6	-123,00	-127,00	200 mm x 9,6 mm
378/6	-134,00	-138,00	200 mm x 9,6 mm
378/6	-146,00	-150,00	200 mm x 9,6 mm
378/6	-155,00	-159,00	200 mm x 9,6 mm
378/7	999	999	999
378/8	-80,00	-84,00	200 mm
378/8	-100,00	-110,00	200 mm
378/8	-118,00	-122,00	200 mm
378/8	-135,00	-140,00	200 mm
378/9	-102,00	-109,50	225 mm x 13 mm
378/9	-117,00	-120,00	225 mm x 13 mm
378/9	-130,50	-138,50	225 mm x 13 mm
378/9	-145,50	-149,50	225 mm x 13 mm
378/9	-165,50	-168,50	225 mm x 13 mm
378/9	-182,00	-189,50	225 mm x 13 mm
391/1	-128,00	-132,00	200 mm x 9,6 mm
391/1	-134,00	-138,00	200 mm x 9,6 mm
391/1	-140,00	-144,00	200 mm x 9,6 mm
391/1	-146,00	-150,00	200 mm x 9,6 mm
391/1	-152,00	-156,00	200 mm x 9,6 mm
391/1	-163,50	-167,50	200 mm x 9,6 mm
391/1	-169,00	-171,00	200 mm x 9,6 mm
391/10	-137,00	-141,00	225 mm x 13 mm
391/10	-147,00	-151,00	225 mm x 13 mm
391/10	-152,00	-156,00	225 mm x 13 mm

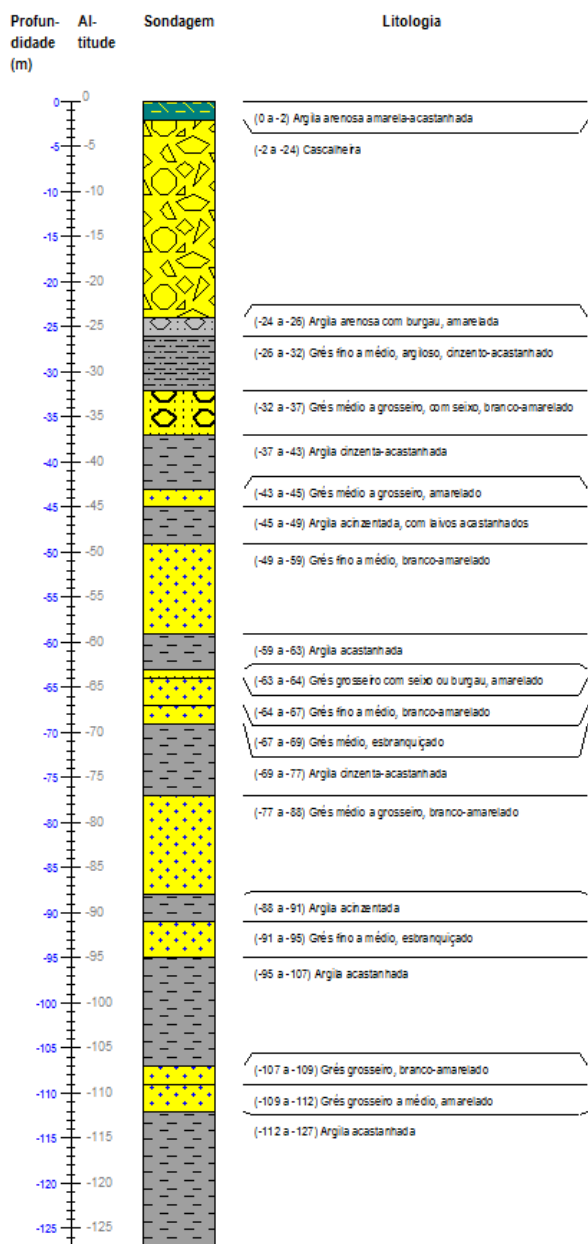
<b>Código</b>	<b>Topo da Sequência</b>	<b>Base da Sequência</b>	<b>Diâmetro da Secção</b>
391/10	-157,00	-161,00	225 mm x 13 mm
391/10	-177,00	-180,00	225 mm x 13 mm
391/10	-187,00	-191,00	225 mm x 13 mm
391/10	-192,00	-196,00	225 mm x 13 mm
391/10	-197,00	-200,00	225 mm x 13 mm
391/10	-208,00	-211,00	225 mm x 13 mm
391/2	-99,00	-103,00	250 mm x 11,9 mm
391/2	-105,00	-109,00	250 mm x 11,9 mm
391/2	-111,00	-115,00	250 mm x 11,9 mm
391/2	-116,50	-120,50	250 mm x 11,9 mm
391/2	-122,50	-126,50	250 mm x 11,9 mm
391/2	-128,50	-132,50	250 mm x 11,9 mm
391/2	-140,00	-144,00	250 mm x 11,9 mm
391/2	-146,00	-150,00	250 mm x 11,9 mm
391/3	-71,00	-75,00	250 mm
391/3	-76,00	-80,00	250 mm
391/3	-88,00	-92,00	250 mm
391/3	-94,00	-98,00	250 mm
391/3	-100,00	-104,00	250 mm
391/3	-106,00	-110,00	250 mm
391/3	-129,00	-133,00	250 mm
391/3	-134,00	-138,00	250 mm
391/3	-146,00	-150,00	250 mm
391/3	-152,00	-156,00	250 mm
391/3	-157,00	-161,00	250 mm
391/4	-123,50	-127,50	200 mm x 9,6 mm
391/4	-141,00	-145,00	200 mm x 9,6 mm
391/4	-147,00	-151,00	200 mm x 9,6 mm
391/4	-158,50	-162,50	200 mm x 9,6 mm
391/4	-164,50	-168,50	200 mm x 9,6 mm
391/5	-100,00	-103,50	250 mm x 11,9 mm
391/5	-117,50	-120,50	250 mm x 11,9 mm
391/5	-123,50	-126,50	250 mm x 11,9 mm
391/5	-140,00	-144,00	250 mm x 11,9 mm
391/5	-151,50	-154,50	250 mm x 11,9 mm
391/5	-157,50	-161,50	250 mm x 11,9 mm
391/5	-175,00	-179,00	250 mm x 11,9 mm
391/5	-186,00	-190,00	250 mm x 11,9 mm
391/6	999	999	999
391/7	-60,00	-64,00	203,3 mm
391/7	-73,00	-77,00	203,3 mm
391/7	-85,50	-87,50	203,3 mm
391/7	-97,50	-99,50	203,3 mm
391/7	-102,00	-106,00	203,3 mm
391/7	-115,50	-117,50	203,3 mm
391/8	-82,00	-86,00	200 mm x 9,6 mm
391/8	-100,00	-104,00	200 mm x 9,6 mm
391/8	-106,00	-110,00	200 mm x 9,6 mm
391/8	-117,00	-121,00	200 mm x 9,6 mm
391/8	-129,00	-133,00	200 mm x 9,6 mm
391/9	-82,00	-86,00	200 mm x 9,6 mm
391/9	-88,00	-92,00	200 mm x 9,6 mm
391/9	-100,00	-104,00	200 mm x 9,6 mm
391/9	-106,00	-110,00	200 mm x 9,6 mm
391/9	-114,00	-116,00	200 mm x 9,6 mm

### A.11 - Sedimentos atravessados nos pontos de observação.



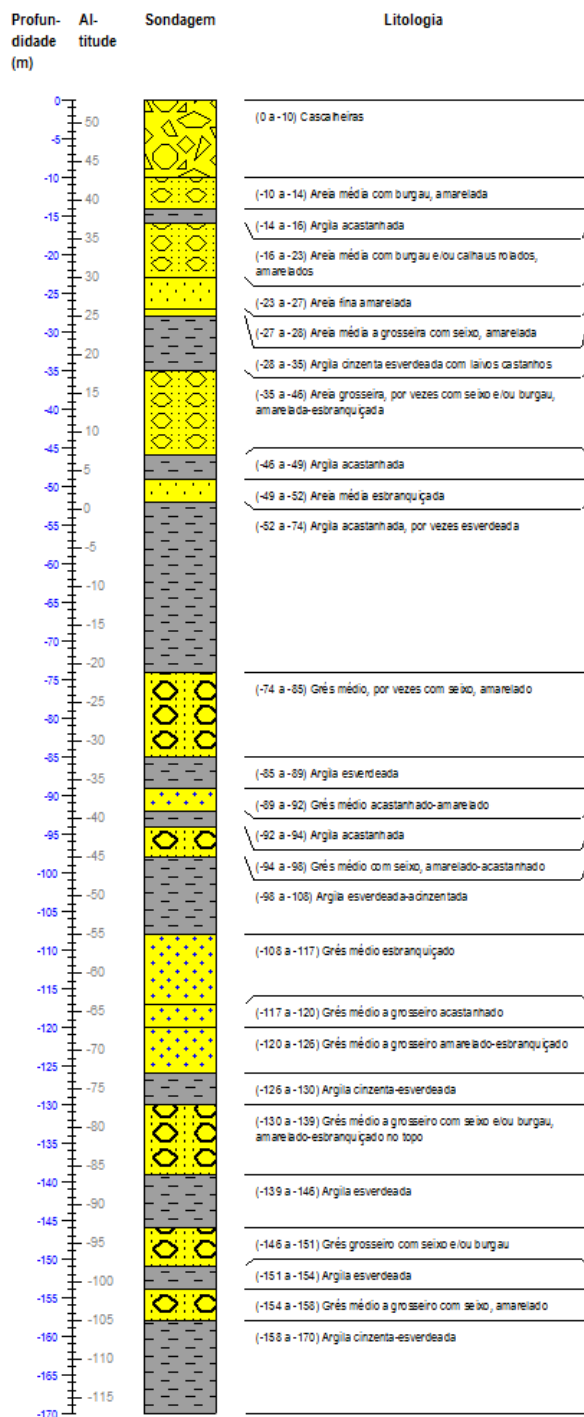
Designação da captação de água: PS1 (378/2)

Profundidade: 127 m  
Altitude: 47,5 m



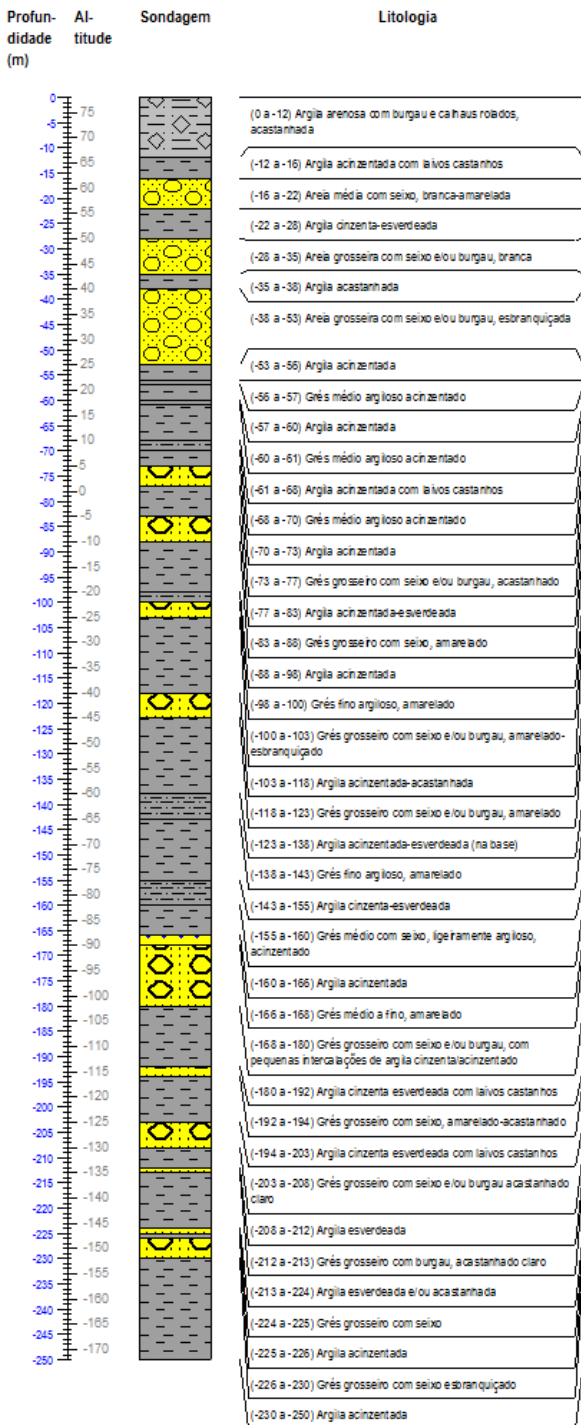
Designação da captação de água: FR1 (378/3)

Profundidade: 170 m  
Altitude: 53 m



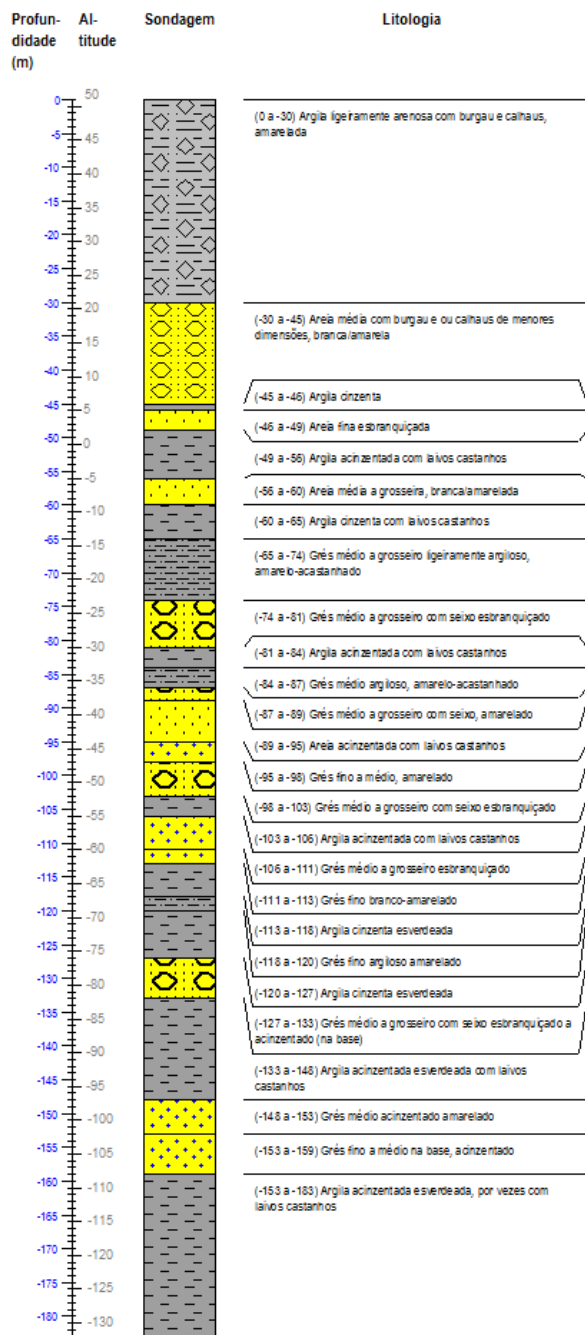
Designação da captação de água: FR2 (378/4)

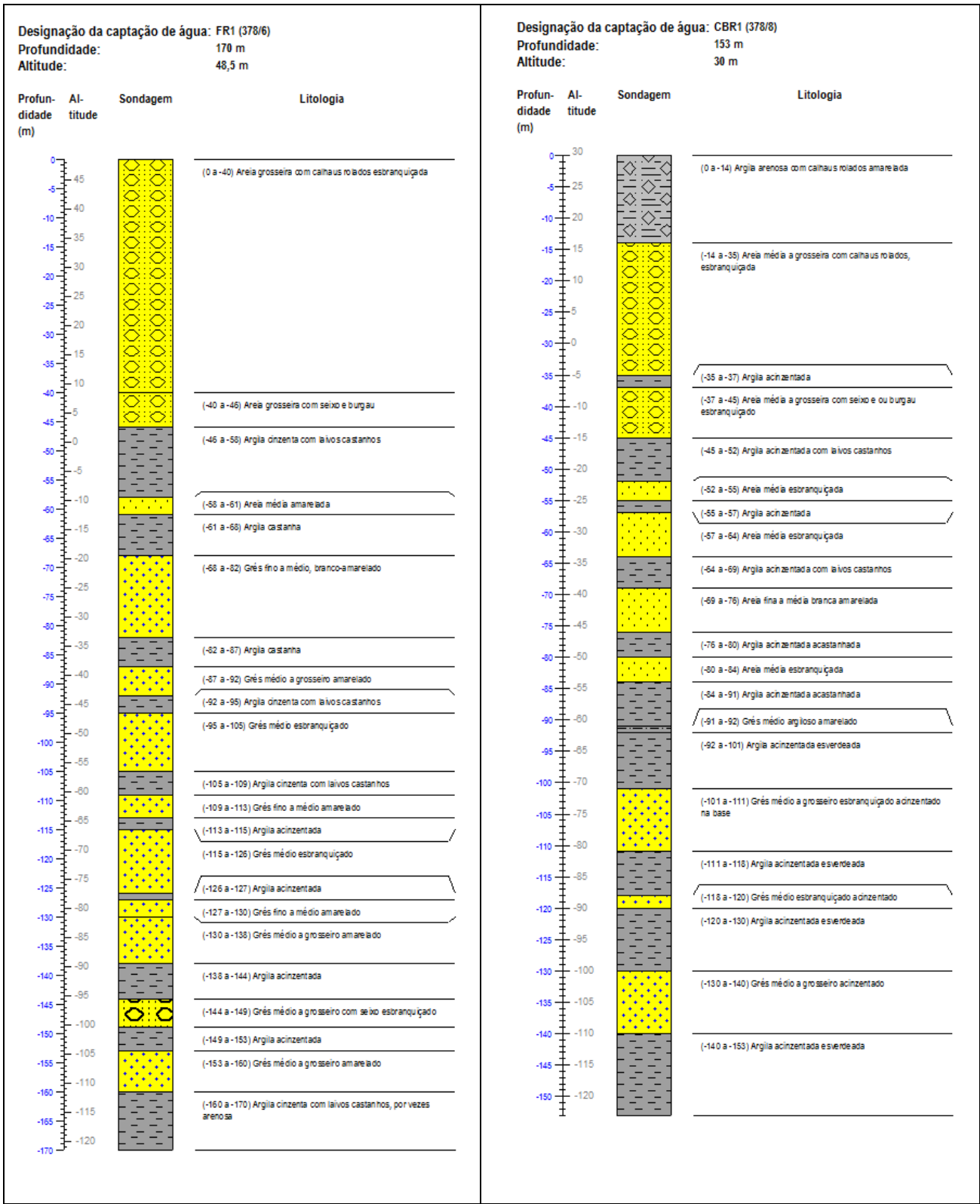
Profundidade: 250 m  
Altitude: 78 m



Designação da captação de água: CBR1 (378/5)

Profundidade: 183 m  
Altitude: 51 m

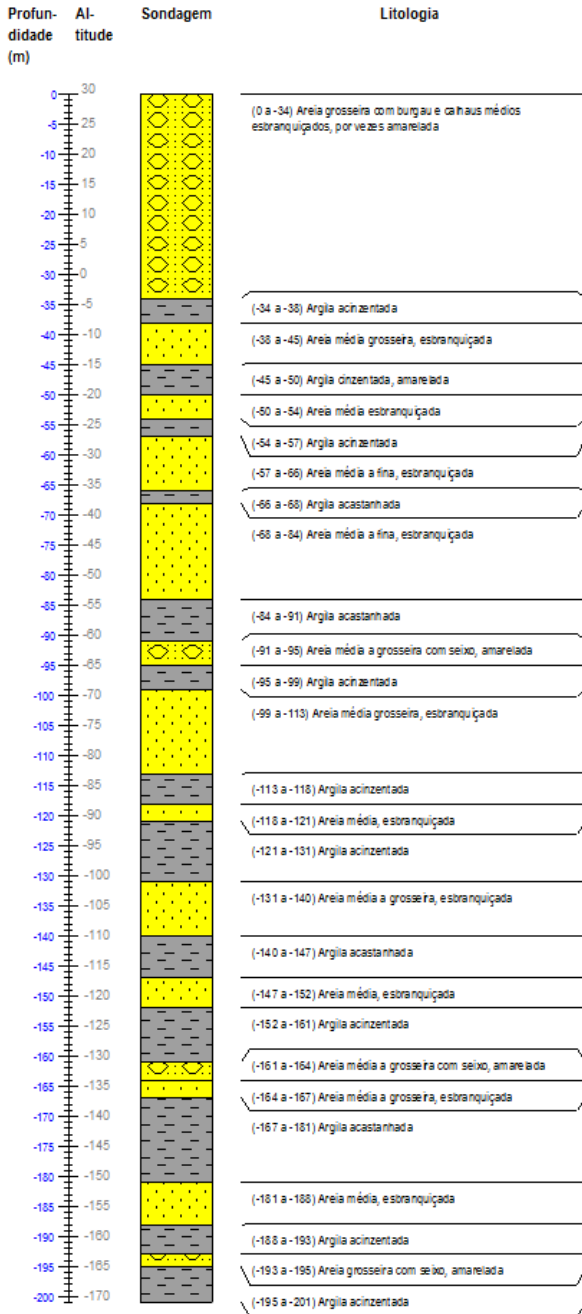




Designação da captação de água: CBR1 (378/9)

Profundidade: 201 m

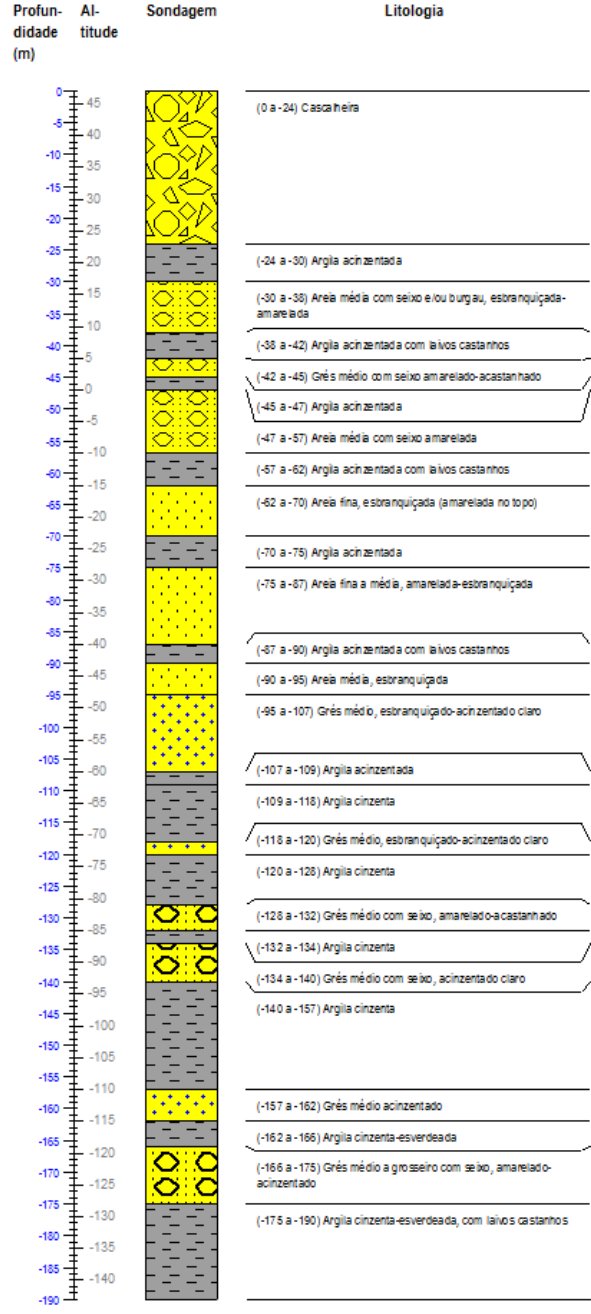
Altitude: 30 m

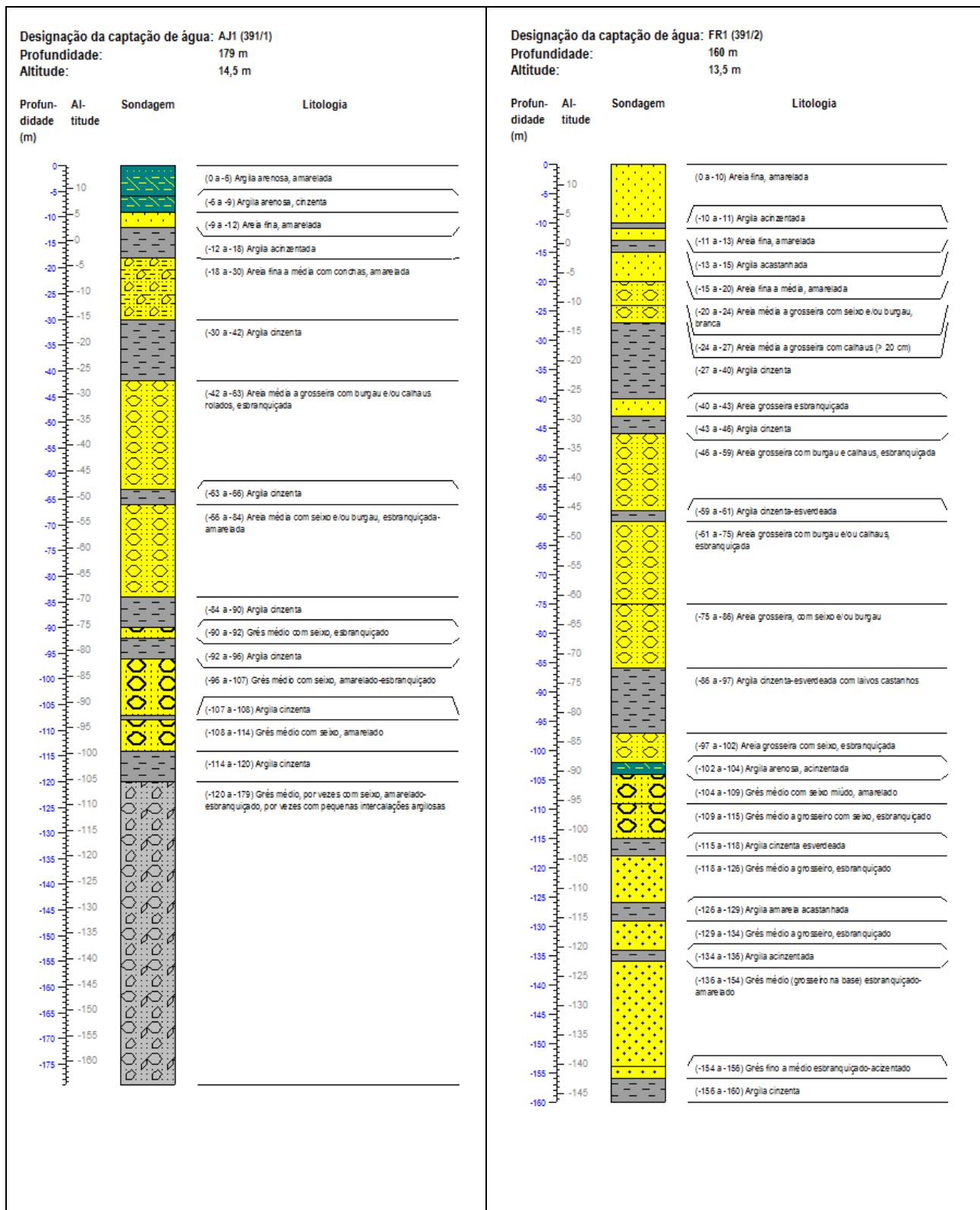


Designação da captação de água: CBR1 (378/10)

Profundidade: 190 m

Altitude: 47 m





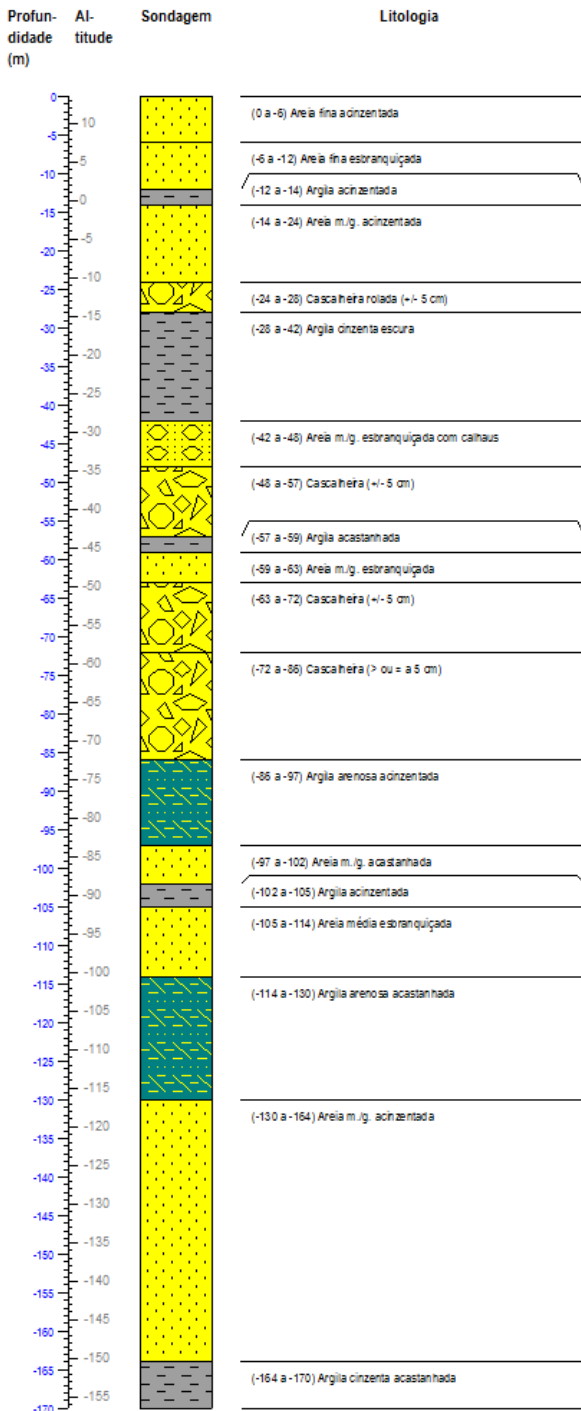
Designação da captação de água: PS2 (391/3)

Profundidade:

170 m

Altitude:

13,5 m



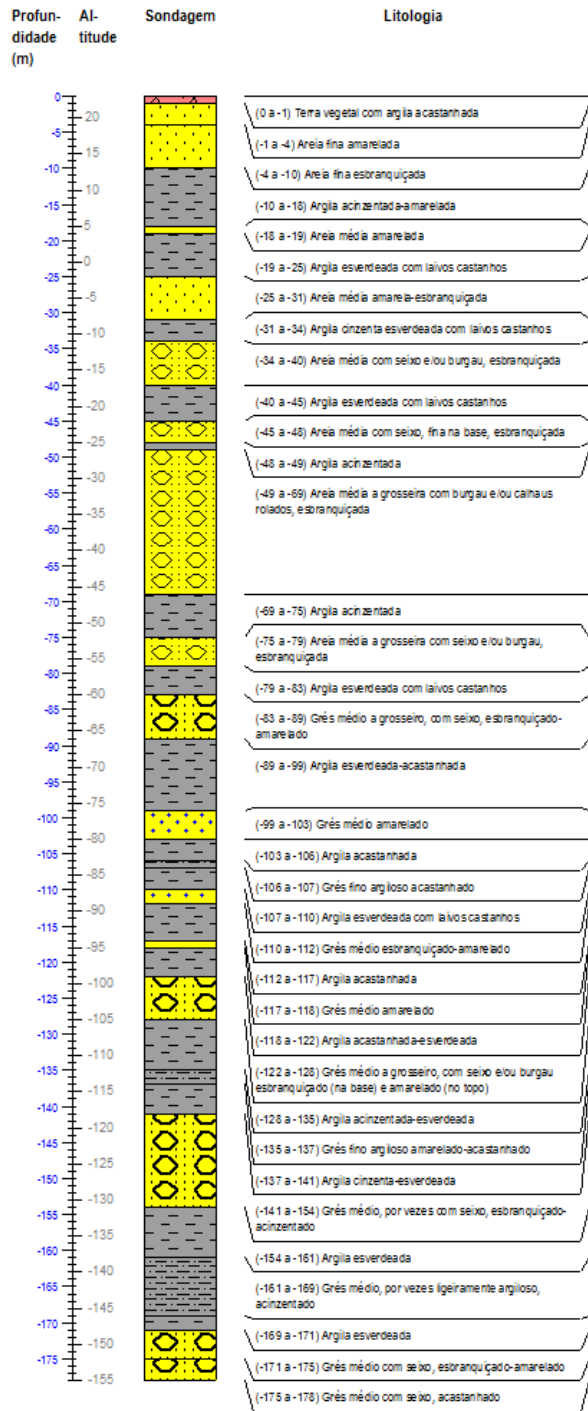
Designação da captação de água: FR1 (391/4)

Profundidade:

178 m

Altitude:

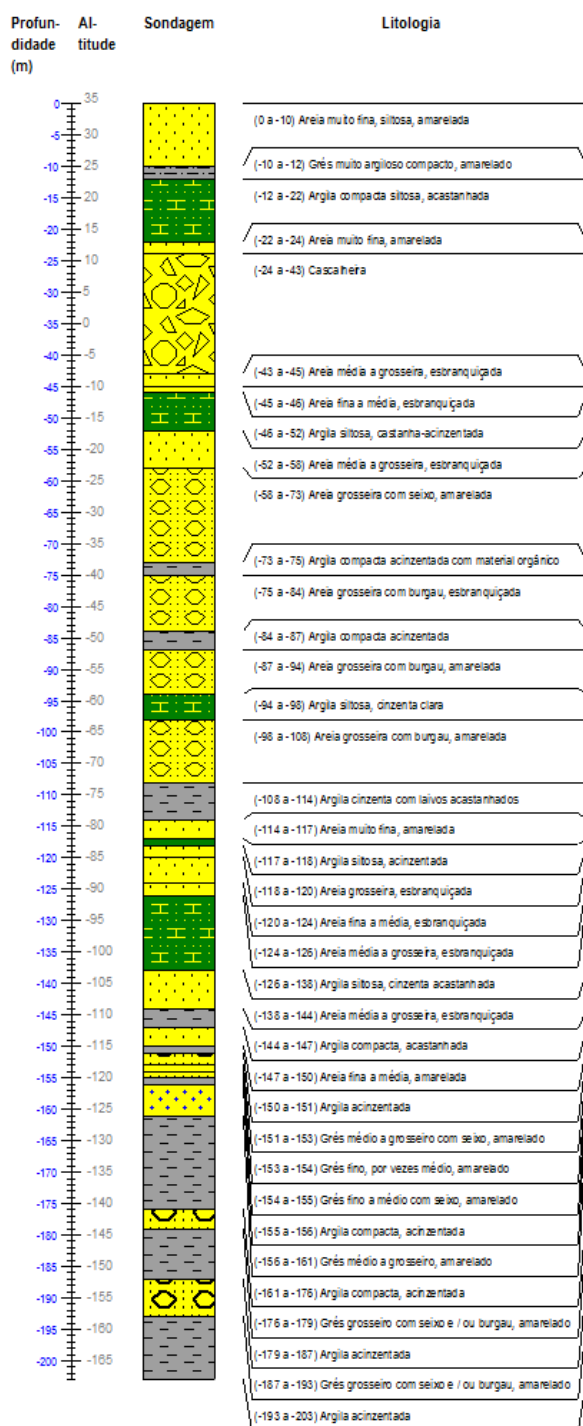
23 m



Designação da captação de água: FR1 (391/5)

Profundidade: 203 m

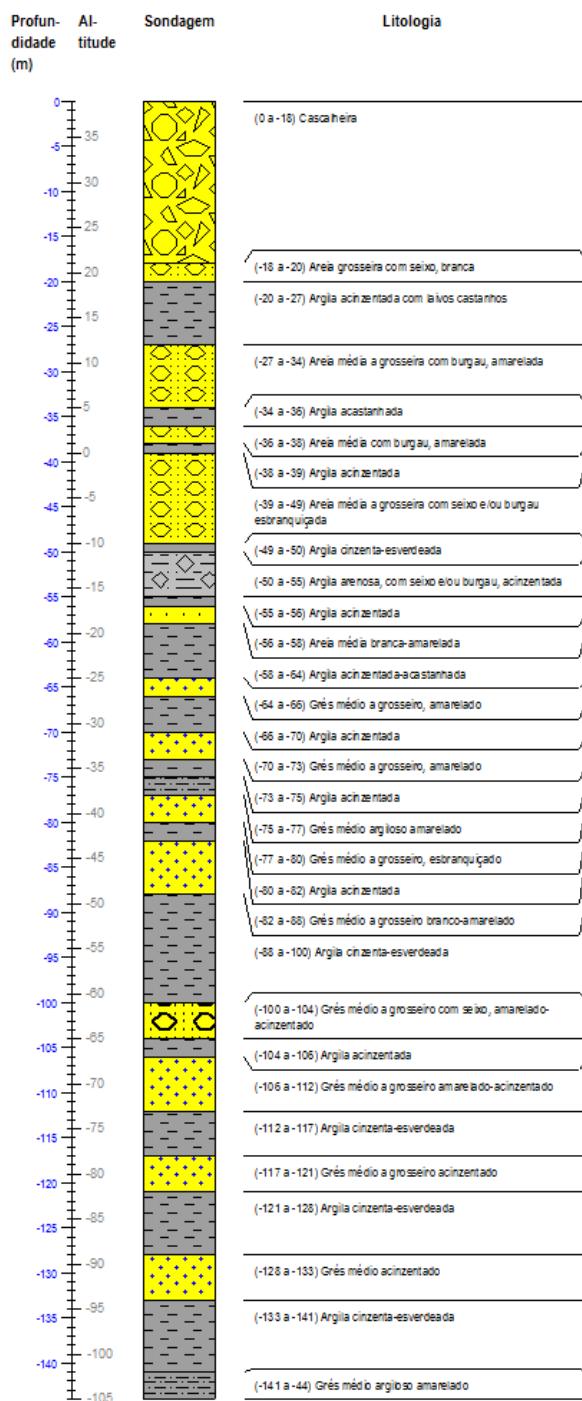
Altitude: 35 m



Designação da captação de água: FR1 (391/8)

Profundidade: 144 m

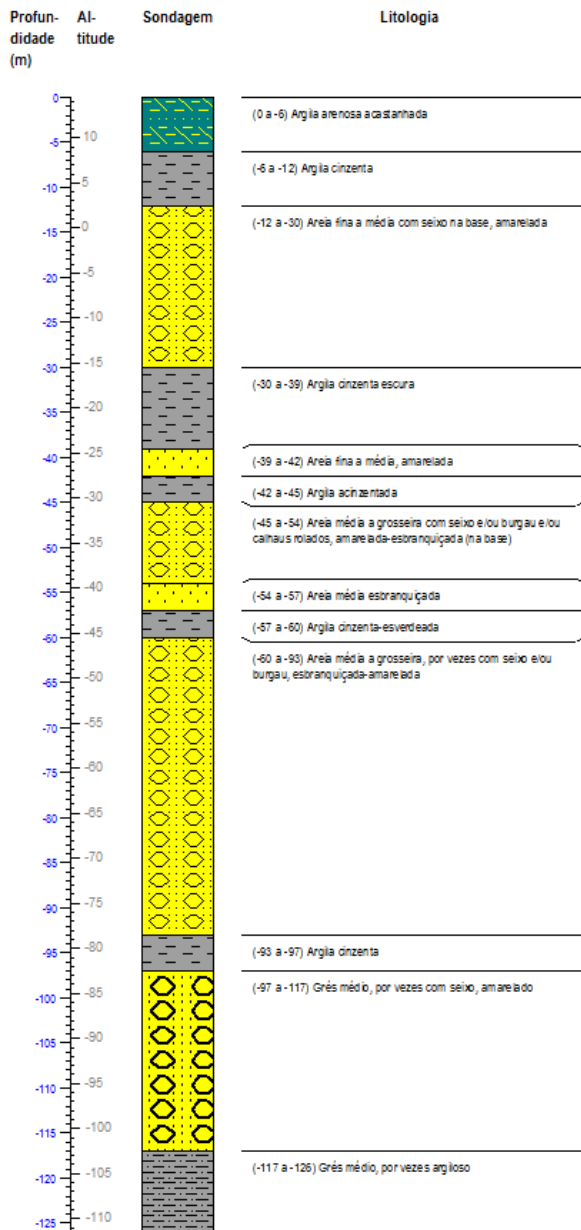
Altitude: 39m



Designação da captação de água: AJZ (391/9)

Profundidade: 126 m

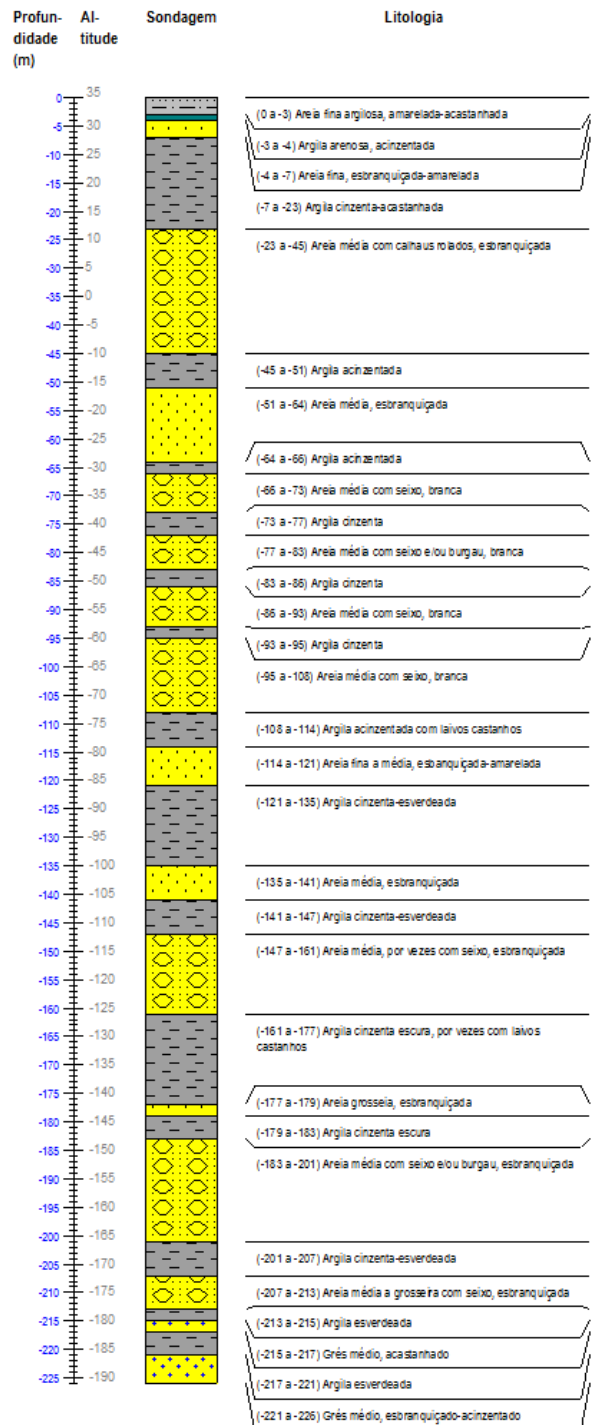
Altitude: 14,5 m



Designação da captação de água: CBR1 (391/10)

Profundidade: 226 m

Altitude: 35 m



**A.12 – Registo de imagens de entidades geomorfológicas.**

<b>Planície aluvial</b>		
		
<p><b>Foto 1</b> - Planície aluvial da rib.ª de Muge (378/9).</p>	<p><b>Foto 2</b> - Planície aluvial da rib.ª do Vale do Zebro (391/2).</p>	<p><b>Foto 3</b> - Planície aluvial da rib.ª de Magos (391/4).</p>
		
<p><b>Foto 4</b> - Planície aluvial do rio Tejo (391/9).</p>	<p><b>Foto 5</b> - Planície aluvial do rio Tejo (377/1).</p>	
<b>Glacis de ablação</b>		<b>Superfície culminante</b>
		
<p><b>Foto 6</b> - Glacis de ablação na ex-RARET (378/2).</p>	<p><b>Foto 7</b> - Glacis de ablação, em corte, na ex-RARET (378/3).</p>	<p><b>Foto 8</b> - Superfície culminante na Serra de Almeirim (365/1).</p>

**Terraços fluviais**



**Foto 9** - Terraço fluvial T1a (378/4).



**Foto 10** - Terraço fluvial T1a (392/7).  
Salienta-se a cabeceira de vale.



**Foto 11** - Terraço fluvial T1a (392/12).



**Foto 12** - Terraço fluvial T1a (392/10).



**Foto 13** - Terraço fluvial T1a (392/11).



**Foto 14** - Terraço fluvial T1a (378/11).



**Foto 15** - Terraço fluvial T2 (391/11).



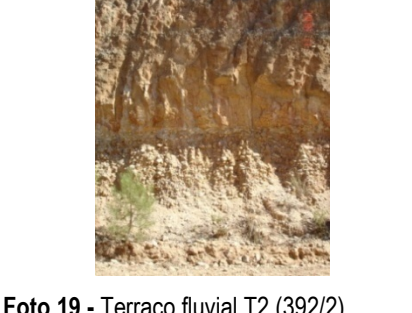
**Foto 16** - Terraço fluvial T2 (391/1).



**Foto 17** - Terraço fluvial T2 (391/7).



**Foto 18** - Terraço fluvial T2 (392/3).



**Foto 19** - Terraço fluvial T2 (392/2).



**Foto 20** - Terraço fluvial T2 (392/1).



**Foto 21** - Terraço fluvial T2 (392/6).



**Foto 22** - Terraço fluvial T2 (392/5). Notar entubamento de troço de subafluente de margem direita da rib.<sup>a</sup> do Vale do Zebro.



**Foto 23** - Terraço fluvial T2 (392/9).



**Foto 24** - Terraço fluvial T2 (392/8).



**Foto 25** - Terraço fluvial T2 (378/1).



**Foto 26** - Terraço fluvial T2 (391/8).



**Foto 27** - Terraço fluvial T2 (391/5).



**Foto 28** - Terraço fluvial T2a (378/12).



**Foto 29** - Terraço fluvial T2a (378/13).



Foto 30 - Terraço fluvial T2a (391/12).



Foto 31 - Terraço fluvial T2a (392/4).



Foto 32 - Terraço fluvial T2a (378/5).

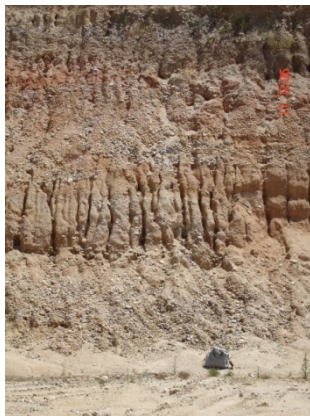


Foto 33 - Terraço fluvial T2a (378/10).



Foto 34 - Terraço fluvial T2a (391/3).



Foto 35 - Terraço fluvial T2a (378/7).



Foto 36 - Terraço fluvial T3 (391/6).



Foto 37 - Terraço fluvial T3 (377/3).



Foto 38 - Terraço fluvial T3 (377/2).



Foto 39 - Terraço fluvial T3 (378/8).

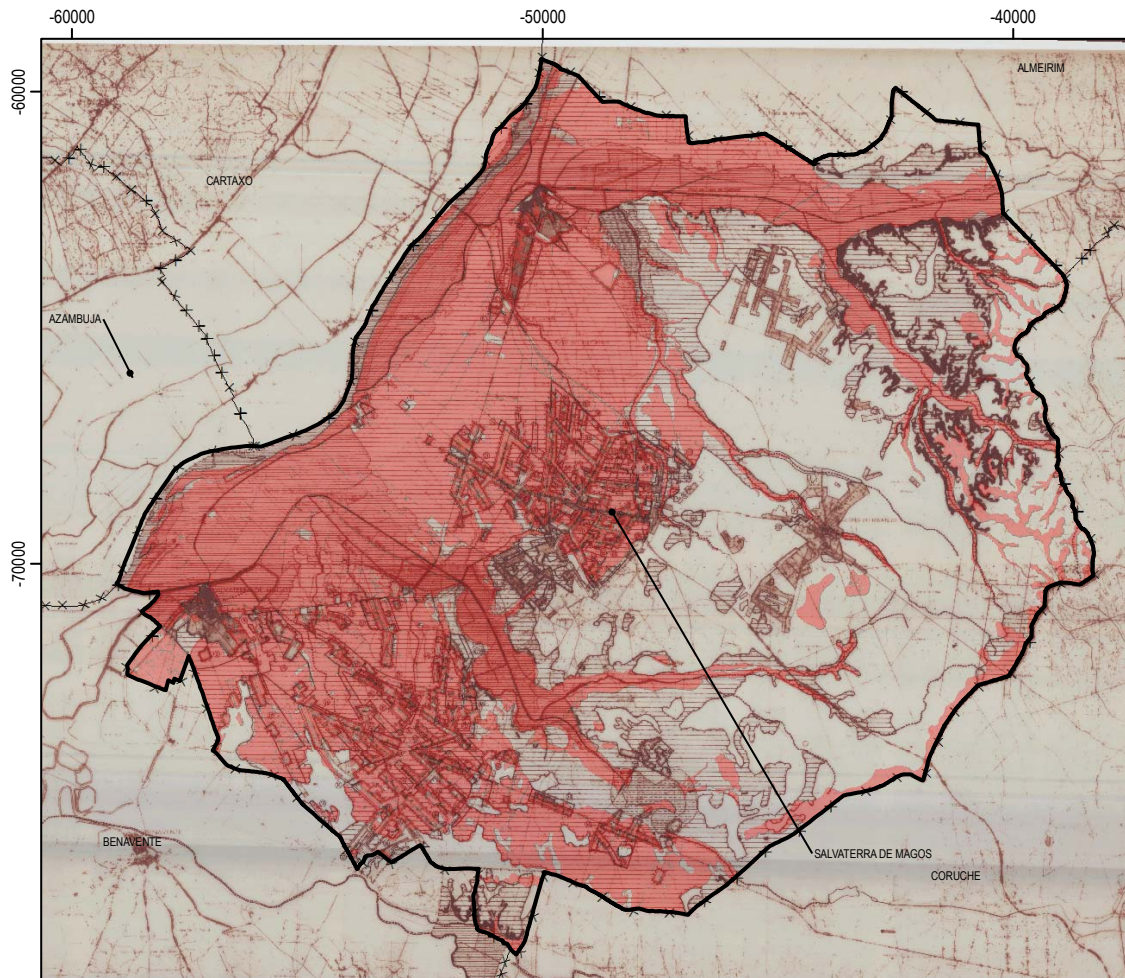


Foto 40 - Terraço fluvial T3 (378/6).



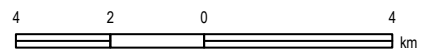
Foto 41 - Terraço fluvial T3 (391/10).

**A.13** – Mapa de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos sobreposto ao mapa das componentes ambientais, da REN publicada, na área de estudo (concelho de Salvaterra de Magos).



- Áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos
- Áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos (46,8%)
  - Outras áreas (53,2%)
  - Limite de área de estudo
  - Limite de concelho

	PROPOSTA DE EXCLUSÃO		INSUA
	LIMITE DO CONCELHO		ZONA AMEAÇADA PELA OCEIA
	ÁREA URBANA		ALBUFEIRA
	R.E.N. RESERVA ECOLÓGICA NACIONAL		ÁREA DE MÁXIMA INFILTRAÇÃO
	CURSO DE ÁGUA		ÁREA COM RISCO DE EROSIÃO
	ESTUÁRIO E ZONA HUMIDA ADJACENTE		



Fontes documentais  
 CAOP v 2009.0 - IGP;  
 Planta da REN - Situação existente - Prop. de exclusão - ABR/96,  
 ref.º A.8.2 (possui componentes ambientais da REN), P.D.M.S.M., C.M.S.M.

Sistema de referência  
 ETRS89/TM-PT06  
 Elipsóide: GRS80  
 Projeção: Mercator Transversa  
 Datum planimétrico: ETRS89  
 Datum altimétrico: marégrafo de Cascais

**A.14** – Medidas preventivas de salvaguarda dos sistemas aquíferos de Salvaterra de Magos, de proibição de operações urbanísticas, acções e ou actividades, incompatíveis com a protecção de áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos, com excepção do âmbito territorial afecto aos perímetros urbanos da Planta de Ordenamento na escala 1/25K cujas pormenorizações constam à escala 1/10K.

1 - As medidas preventivas a aplicar à área referenciada consistem na proibição das seguintes operações urbanísticas, acções e ou actividades:

- a) Depósitos de materiais radioactivos e ou transporte dos mesmos;
- b) Depósitos de resíduos perigosos e ou transporte dos mesmos ou de outras substâncias perigosas;
- c) Novos depósitos de hidrocarbonetos;
- d) Depósitos de sucata;
- e) Trabalhos de remodelação de terrenos, a realização de aterros, desaterros ou de outras operações que impliquem ou tenham como efeito modificações no terreno;
- f) Lixeiras, aterros sanitários, aterros de inertes ou de qualquer outro tipo;
- g) Canalização de produtos tóxicos;
- h) Novas unidades industriais ou ampliação das mesmas;
- i) Novas pedreiras;
- j) Novas explorações mineiras;
- k) Estações de tratamento de águas residuais;
- l) Fossas;
- m) Aplicação de pesticidas móveis e persistentes na água ou que possam formar substâncias tóxicas, persistentes ou bio acumuláveis;
- n) Actividades de prospecção e pesquisa de massas minerais, depósitos minerais e recursos geotérmicos;
- o) Sondagens e trabalhos subterrâneos;
- p) A criação de novas lagoas provenientes da actividade extractiva;
- q) O desmonte hidráulico das massas e depósitos minerais por dragagem e ampliação dos existentes licenciados;
- r) O despejo de detritos, de desperdícios, de sucatas, de resíduos sólidos e ou líquidos;
- s) A plantação de eucaliptos e outras espécies de crescimento rápido;
- t) Instalação de novas pecuárias ou ampliação das existentes;
- u) Lagos e quaisquer obras ou escavações destinadas à recolha e armazenamento de água ou quaisquer outras substâncias susceptíveis de se infiltrarem;
- v) Não podem ser executadas novas sondagens para captação de água subterrânea, à excepção das efectuadas para o abastecimento público do concelho de Salvaterra de Magos;
- w) A aplicação de adubos químicos;
- x) Edificações, ampliação e demolição de construções;

2 - Exceptuam-se do número anterior:

- a) Todas as operações urbanísticas, as acções e ou outras actividades de iniciativa autárquica;
- b) Todas as operações urbanísticas, as acções e ou outras actividades, que sendo da iniciativa pública ou privada, detenham comprovado interesse público devidamente reconhecido pela Assembleia Municipal de Salvaterra de Magos, que não tenham provada interferência na contaminação dos Sistemas Aquíferos e ou na exploração do recurso, para abastecimento público, bem como as que têm por finalidade a conservação, manutenção e melhor aproveitamento do recurso.