



**RESERVA ECOLÓGICA NACIONAL
DA ÁREA METROPOLITANA DE LISBOA
Quadro de Referência Regional**

**Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de
Lisboa e Vale do Tejo**

Lisboa, Fevereiro de 2010

**RESERVA ECOLÓGICA NACIONAL
DA ÁREA METROPOLITANA DE LISBOA
Quadro de Referência Regional**

Autores:

**Prof. Dr^a Catarina Ramos ¹
Prof. Dr. José Luís Zêzere ¹
Prof. Dr. Eusébio Reis ¹
Prof. Dr. João Lopo de Mendonça ²**

**Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de
Lisboa e Vale do Tejo**

Lisboa, Fevereiro de 2010

¹ Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

² Hidrogeólogo

Índice

	pág.
INTRODUÇÃO	6
I - ÁREAS DE PROTECÇÃO DO LITORAL	9
1. Metodologia utilizada	9
a) Faixa marítima de protecção costeira	9
b) Praias	10
c) Barreiras detríticas (restingas, barreiras soldadas e ilhas-barreira)	10
d) Tômbolos	11
e) Sapais	11
f) Lhéus e rochedos emersos no mar	11
g) Dunas costeiras e dunas fósseis	11
h) Arribas e respectivas faixas de protecção	12
i) Faixa terrestre de protecção costeira	13
j) Águas de transição e respectivos leitos	14
l) Faixas de protecção das águas de transição	14
2. Definição regional das áreas de protecção do litoral	15
3. Recomendações para a delimitação da REN municipal	15
II - ÁREAS RELEVANTES PARA A SUSTENTABILIDADE DO CICLO HIDROLÓGICO TERRESTRE	19
1. Metodologia geral	19
2. Cursos de água e respectivos leitos e margens	20
2.1. Metodologia utilizada	20
2.2. Definição regional dos cursos de água e respectivos leitos e margens	23
2.3. Recomendações para a delimitação da REN municipal	24
3. Lagoas, lagos e respectivos leitos, margens e faixas de protecção	25
3.1. Definição regional das lagoas, lagos e respectivos leitos, margens e faixas de protecção	25
3.2. Recomendações para a delimitação da REN municipal	25

	pág.
4. Albufeiras que contribuem para a conectividade e coerência ecológica da REN, com os respectivos leitos, margens e faixas de protecção	26
4.1. Definição regional das albufeiras e respectivos leitos, margens e faixas de protecção	26
4.2. Recomendações para a delimitação da REN municipal	27
5. Áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos	27
5.1. Caracterização hidrogeológica da Área Metropolitana de Lisboa	28
5.2. Metodologia adoptada para o cálculo da recarga efectiva	54
5.3. Definição regional das áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos	58
5.4. Recomendações para a delimitação da REN municipal	60
III - ÁREAS DE PREVENÇÃO DE RISCOS NATURAIS	62
1. Zonas adjacentes	62
2. Zonas ameaçadas pelo mar não classificadas como zonas adjacentes nos termos da Lei da Titularidade dos Recursos Hídricos	62
2.1. Metodologia utilizada	62
2.2. Definição regional das zonas ameaçadas pelo mar	63
2.3. Recomendações para a delimitação da REN municipal	63
3. Zonas ameaçadas pelas cheias não classificadas como zonas adjacentes nos termos da Lei da Titularidade dos Recursos Hídricos	63
3.1. Metodologia utilizada	63
3.2. Definição regional das zonas ameaçadas pelas cheias	66
3.3. Recomendações para a delimitação da REN municipal	66
4. Áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo	68
4.1. Metodologia utilizada	68
4.2. Definição regional das áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo	71
4.3. Recomendações para a delimitação da REN municipal	72

	pág.
5. Áreas de instabilidade de vertentes	73
5.1. Metodologia utilizada	73
5.2. Definição regional das áreas de instabilidade de vertentes	75
5.3. Recomendações para a delimitação da REN municipal	76
IV - SÍNTESE DA REN REGIONAL DA AML	77
1. Metodologia adoptada	77
2. Definição da REN bruta regional	78
Bibliografia	80

Anexos

- Anexo 1 - Mapa das Áreas de Protecção do Litoral
- Anexo 2 – Mapa dos Cursos de Água, Lagoas, Lagos, Albufeiras e respectivos Leitos, Margens e Faixas de Protecção
- Anexo 3 – Mapa das Áreas Estratégicas de Protecção e Recarga dos Aquíferos
- Anexo 4 - Mapa das Zonas Ameaçadas pelas Cheias (ZAC) e pelo Mar (ZAM)
- Anexo 5 – Mapa das Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo
- Anexo 6 – Mapa das Áreas de Instabilidade de Vertentes
- Anexo 7 – Mapa das Componentes da REN Bruta da Área Metropolitana de Lisboa

INTRODUÇÃO

O Decreto-Lei n.º 166/2008 de 22 de Agosto estabelece o novo regime jurídico da Reserva Ecológica Nacional (REN) e revoga o Decreto-Lei n.º 93/90 de 19 de Março. Segundo o n.º 1 do artigo 2.º do novo decreto-lei (DL), *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, são objecto de protecção especial*. Segundo o n.º 3 do artigo 2.º, a REN tem como 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.

Uma das inovações do novo diploma é a de que a delimitação da REN compreende dois níveis (artigo 5.º): a) nível estratégico e b) nível operativo.

O nível estratégico é concretizado através de orientações estratégicas de âmbito nacional e regional e de acordo com os critérios constantes do anexo I do decreto-lei, que dele faz parte integrante.

O nível operativo é concretizado através da delimitação, em carta de âmbito municipal, das áreas integradas na REN, tendo por base as orientações estratégicas de âmbito nacional e regional e de acordo com os critérios constantes do anexo I do decreto-lei, que dele faz parte integrante.

A Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo (CCDR-LVT), através de um Grupo de Trabalho criado pelo Despacho n.º 3/VPFC/2007, produziu um documento intitulado “*RESERVA ECOLÓGICA NACIONAL. Critérios base para a sua delimitação. Conclusões do Grupo de Trabalho. Fichas técnicas de registo por tipologia de área*”, datado de Dezembro de 2007, e que se integra nos estudos percussores do novo diploma. Este documento sofreu, posteriormente, alguns ajustamentos, decorrentes não só do articulado do Decreto-Lei n.º 166/2008, mas também de questões técnicas e operativas, equacionadas durante a elaboração do presente trabalho e discutidas com os responsáveis e técnicos da Direcção de Serviços de Ordenamento do Território da CCDR-LVT. A versão final desse documento será aqui referenciada como CCDR-LVT (2009).

Por outro lado, no âmbito do Plano Regional de Ordenamento do Território da Área Metropolitana de Lisboa (PROT-AML), que fornece as directrizes estratégicas para a revisão dos Planos Directores Municipais (PDM) dos concelhos pertencentes a esta região, a CCDR-LVT solicitou à equipa dos Riscos e Protecção Civil do PROT-AML³ que prolongasse os seus trabalhos no sentido de fornecer uma primeira delimitação da REN da AML, à escala regional, segundo os critérios do novo diploma, tal como já tinha feito para o PROT-OVT.

O Relatório Final, que agora se apresenta, constitui o corolário desse trabalho, cujo objectivo foi definir o Quadro de Referência Regional da Reserva Ecológica Nacional da Área Metropolitana de Lisboa, à escala 1:200.000, respeitando os mesmos critérios aplicados na REN do OVT, de acordo com o Decreto-Lei n.º 166/2008 de 22 de Agosto e com CCDR-LVT (2009).

O Quadro de Referência Regional permite à CCDR-LVT ter uma visão espacial das várias componentes da REN no conjunto da AML, a fim de exercer o princípio da coordenação e garantir a harmonização de critérios, nos vários municípios, bem como a continuidade e coerência espacial das várias componentes da REN, independentemente das fronteiras administrativas concelhias.

Sem prejuízo do acima exposto, chama-se a atenção que, a delimitação da REN à escala regional não deve ser ampliada e aplicada à escala municipal, uma vez que a primeira é feita a uma escala 1:250.000 e a segunda deve ser efectuada a uma escala 1:25.000 ou superior (consoante as componentes da REN). Como tal, o “somatório das REN municipais” (desde que aplicados os princípios, já referidos, da

³ Os autores deste relatório, pertencentes à equipa de Riscos e Protecção Civil do PROT-AML, passaram a pertencer ao Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa (IGOT-UL), a partir de 1 de Janeiro de 2010, nova unidade orgânica da UL que engloba o Centro de Estudos Geográficos da UL e o ex-Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da UL (*Despacho n.º 23162/2009 Diário da República, 2.ª série — N.º 204 — 21 de Outubro de 2009*).

harmonização e continuidade) deverá fornecer uma delimitação mais exacta das várias componentes da REN, uma vez que será feita com um maior pormenor.

A questão da escala é assim importante, não só no pormenor da delimitação, mas também nas metodologias utilizadas para a definição e cartografia da REN, que naturalmente não podem ser exactamente as mesmas, à escala regional ou à escala local (municipal). Por este motivo, o trabalho que agora se apresenta terá sempre, para cada área da REN, um ponto em que se explica a metodologia utilizada para a sua identificação e delimitação à escala regional, segundo os critérios do novo diploma. No final de cada componente da REN indicam-se algumas directrizes metodológicas, que se afiguram mais pertinentes, a aplicar à escala municipal.

Este relatório foi estruturado de acordo com o artigo 4.º do DL n.º 166/2008 e com o Anexo 1 do referido diploma (a que se refere o artigo 5.º). Assim, as áreas integradas na REN são: i) áreas de protecção do litoral, ii) áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre e iii) áreas de prevenção de riscos naturais. A tipologia das áreas integradas na REN obedece ao disposto no novo DL. Todas as definições/citações a itálico são extraídas do DL n.º 166/2008.

I - ÁREAS DE PROTECÇÃO DO LITORAL

1. Metodologia utilizada

Para a identificação e cartografia das áreas de protecção do litoral foram utilizados os seguintes documentos cartográficos: (i) Cartas Militares de Portugal, Série M888 - 1:25 000, do Instituto Geográfico do Exército; (ii) Fotografia aérea digital (célula de 0,5 m), georreferenciada e ortorrectificada, obtida em Setembro de 2004; (iii) Carta Geológica de Portugal - 1: 25 000, do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação; (iv) Carta da Série Costeira, Cabo Carvoeiro ao Cabo da Roca (1997) – 1:75 000, do Instituto Hidrográfico; (v) Carta da Série Costeira, Cabo da Roca ao cabo de Sines (1999) - 1:150 000, do Instituto Hidrográfico.

a) Faixa marítima de protecção costeira

A faixa marítima de protecção costeira é uma faixa ao longo de toda a costa marítima no sentido do oceano, correspondente à parte da zona nerítica com maior riqueza biológica, delimitada superiormente pela linha que limita o leito das águas do mar e inferiormente pela batimétrica dos 30 m (alínea a, Secção I, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

Segundo a alínea hh) do artigo 4.º da Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro (Lei da Água), o leito das águas do mar deve ser limitado, superiormente, pela linha da máxima preia-mar das águas vivas equinociais.

O troço costeiro da AML situa-se no domínio da mesomaré (amplitude de maré entre 2 e 4m). A amplitude da maré é medida a partir do zero hidrográfico, o qual corresponde, em termos de altitude, a -2m. Assim, considerando a amplitude máxima de 4m, e somando este valor a -2m de altitude, obtém-se uma linha situada a cerca de 2m de altitude; à qual deverá ser acrescentado um espraiamento de 2m, de acordo com a Comissão para a Delimitação do Domínio Público Marítimo. Decorrente deste facto, e para efeitos de delimitação da REN, considera-se, como limite superior da faixa marítima de protecção costeira, uma linha situada a cerca de 4m de altitude (6 0H).

Contudo, na REN regional, o limite superior da faixa marítima de protecção costeira foi definido pelos 0 (zero) metros de altitude (ZT – zero topográfico, Anexo 1), correspondente ao limite da linha de costa, uma vez que a escala de análise dos documentos cartográficos utilizados para a definição da REN regional não permite um grau de resolução tão fino (ver recomendações para a REN municipal).

b) Praias

Na delimitação das praias (formas de acumulação de sedimentos não consolidados, geralmente de areia ou cascalho) *deve considerar-se a área compreendida entre a linha representativa da profundidade de fecho para o regime da ondulação no respectivo sector de costa e a linha que delimita a actividade do espraio das ondas ou de galgamento durante episódio de temporal, a qual, consoante o contexto geomorfológico presente, poderá ser substituída pela base da duna embrionária/frontal ou pela base da escarpa de erosão entalhada no cordão dunar ou pela base da arriba* (alínea b, Secção I, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

À escala regional, as praias foram delimitadas, no seu limite superior, pela base da duna embrionária/frontal ou pela base da escarpa de erosão entalhada no cordão dunar ou pela base da arriba, consoante as características geomorfológicas de cada troço costeiro.

No que diz respeito à delimitação do limite inferior das praias, e dada a inexistência de estudos para o sector costeiro da AML, considerou-se o estudo existente para a Figueira da Foz (Costa *et al*, 2001), que aponta para uma profundidade de fecho de cerca de -18m (ver recomendações para a REN municipal). Contudo, e como já foi referido, uma vez que a escala de análise dos documentos cartográficos utilizados para a definição da REN regional não permite um grau de resolução tão fino, marcou-se a profundidade de fecho, à escala regional, a cerca de -15m, por interpolação entre a batimétrica dos 30m e a linha de costa.

c) Barreiras detríticas (restingas, barreiras soldadas e ilhas-barreira)

As barreiras detríticas são cordões arenosos destacados de terra, com um extremo a ela fixo e outro livre, no caso das restingas, ligadas a terra por ambas as extremidades, no caso das barreiras soldadas, ou contidas entre barras de maré permanentes, no caso das ilhas – barreira (alínea c, Secção I, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

No sector costeiro da AML não existem barreiras detríticas, à excepção do Banco do Bugio, na embocadura do Rio Tejo, e da restinga da Figueirinha, na embocadura do Rio Sado. Pelo facto da escala utilizada para a delimitação da REN regional ser demasiado pequena, estas barreiras detríticas não foram representadas. Este procedimento não deve, como é óbvio, ser aplicado na sua delimitação à escala dos PDM de Almada e Setúbal, respectivamente. Ao nível municipal a lei é clara: esta acumulação arenosa *corresponde à área compreendida entre as linhas de máxima baixa – mar de águas vivas equinociais* (alínea c, Secção I, Anexo 1, do DL n.º 166/2008), (ver recomendações para a REN municipal).

d) Tômbolos

Os tômbolos são formações que resultam da acumulação de materiais arenosos ou cascalhentos que ligam uma ilha ao continente. Na delimitação dos tômbolos deve considerar –se a área de acumulação de materiais arenosos cujo limite inferior é definido pela linha da profundidade de fecho para o regime da ondulação no respectivo sector de costa e nos topos pela linha que representa o contacto entre aquela acumulação arenosa e as formações geológicas por ela unidas (alínea d, Secção I, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

À escala regional, foi referenciado apenas um tômbolo no extremo norte do litoral do concelho de Sintra.

e) Sapais

Os sapais são ambientes sedimentares de acumulação localizados na zona intertidal elevada, acima do nível médio do mar local, de litorais abrigados, ocupados por vegetação halofítica ou por mantos de sal. (...) A delimitação dos sapais deve atender às características sedimentares e bióticas presentes (alínea e, Secção I, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

Na AML, foram integrados na REN, à escala regional, os sapais adjacentes ao estuário do Tejo, nos concelhos de Loures, Vila Franca de Xira, Alcochete, Montijo, Moita, Barreiro, Seixal e Almada, a partir da fotografia aérea digital (célula de 0,5 m), georreferenciada e ortorrectificada, obtida em Setembro de 2004.

f) Ilhéus e rochedos emersos no mar

*Os ilhéus e os rochedos emersos no mar são formações rochosas destacadas da costa por influência da erosão marinha (alínea f, Secção I, Anexo 1, do DL n.º 166/2008). Atendendo à pequena escala da delimitação da REN regional não foi possível representar esta componente da REN, devendo, e como é óbvio, ser representada à escala municipal, segundo os critérios definidos: os *ilhéus* e os *rochedos emersos no mar* correspondem às áreas emersas limitadas pela linha máxima de baixa - mar de águas vivas equinociais (alínea f, Secção I, Anexo 1, do DL n.º 166/2008), (ver recomendações para a REN municipal).*

g) Dunas costeiras e dunas fósseis

As dunas costeiras (formas de acumulação eólica de areia marinha) são delimitadas *do lado do mar, pela base da duna embrionária, ou frontal, ou pela base da escarpa de erosão entalhada no cordão dunar, abrangendo as dunas frontais em formação,*

próximas do mar, as dunas frontais semiestabilizadas, localizadas mais para o interior, e outras dunas, estabilizadas pela vegetação ou móveis, cuja morfologia resulta da movimentação da própria duna (alínea g, Secção I, Anexo 1, do DL n.º 166/2008). Estes critérios foram aplicados na delimitação das dunas à escala regional, tendo sido utilizadas as fotografias aéreas digitais com pixel de 0,5 m, para a delimitação das dunas frontais e o mapa geológico, à escala 1:25.000, para as dunas localizadas mais para o interior (manchas correspondentes a dunas).

No caso das dunas frontais, foi tida em especial atenção a ligação praia-duna, no sentido de garantir o trânsito das areias entre aqueles dois sistemas litorais. Assim, foram integradas na REN: (i) as dunas frontais contíguas à praia (sistema praia-duna); (ii) as dunas frontais situadas sobre pequenas arribas rochosas, que as separam da praia, mas que, devido à fraca altura destas, não impedem o trânsito das areias entre a duna e a praia (este último critério baseia-se no conhecimento de campo da equipa responsável por este relatório).

As dunas fósseis são escassas neste troço do litoral português, não permitindo, por isso, a sua representação à escala regional. As dunas fósseis foram assim integradas na classe “dunas costeiras e dunas fósseis”. A bibliografia existente (Ramos-Pereira e Angelucci, 2004) mostra que os locais onde existem este tipo de dunas se situam nos concelhos de Sintra (S. Julião e Magoito), Cascais (Oitavos) e Sesimbra (Forte da Baralha – Arrábida), devendo ser delimitadas no PDM destes concelhos. Os critérios para a sua delimitação são claros na Lei da REN: *as dunas fósseis são delimitadas, do lado do mar, pelo sopé do edifício dunar consolidado e, do lado de terra, pela linha de contacto com as restantes formações geológicas* (alínea g, Secção I, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

h) Arribas e respectivas faixas de protecção

As arribas são uma forma particular de vertente costeira abrupta ou com declive elevado, em regra talhada em materiais coerentes pela acção conjunta dos agentes morfogenéticos marinhos, continentais e biológicos. (...) As faixas de protecção de arribas devem ser delimitadas a partir do rebordo superior, para o lado de terra, e da base da arriba, para o lado do mar, tendo em consideração as suas características geológicas, a salvaguarda da estabilidade da arriba, as áreas mais susceptíveis a movimentos de massa em vertentes ou a queda de blocos ou calhaus, a prevenção de riscos e a segurança de pessoas e bens e, ainda, o seu interesse cénico (alínea h, Secção I, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

Mais uma vez, a exiguidade da escala de representação da REN regional obrigou a algumas adaptações na delimitação das arribas e respectivas faixas de protecção.

Assim, foram definidos, a partir da análise das fotografias aéreas, troços homogéneos relativamente à largura das arribas (distância horizontal entre a base e o topo). Essa distância prefigurou a delimitação das arribas. O limite superior das arribas corresponde à respectiva crista. Nos casos em que é visível o recuo da crista devido a fenómenos erosivos, como movimentos de massa e ravinamentos, considerou-se como limite superior da arriba a cabeceira dos deslizamentos ou das ravinas. Devido à exiguidade da escala, o limite inferior das arribas incluiu as plataformas rochosas de sopé, que à escala dos PDM devem integrar a faixa de protecção da arriba para o lado do mar. Por tal motivo, à escala regional, a faixa de protecção da arriba para o lado do mar não foi marcada. Esta faixa deve, como é óbvio, ser delimitada na REN municipal, até porque representa uma faixa de risco responsável por algumas vítimas mortais, atingidas pela queda de materiais rochosos provenientes das arribas.

O limite superior da faixa de protecção foi marcado e representa igual distância, medida na horizontal, a partir do topo da arriba para o interior, da largura da arriba. O procedimento para a cartografia do limite superior da faixa de protecção deve seguir as indicações dadas em CCDR-LVT (2009), (ver recomendações para a REN municipal).

i) Faixa terrestre de protecção costeira

A faixa terrestre de protecção costeira deve ser definida em situações de ausência de dunas costeiras ou de arribas. (...) Na delimitação da faixa terrestre de protecção costeira deve considerar-se a faixa medida a partir da linha que limita o leito das águas do mar para o interior, com a largura adequada à protecção eficaz da zona costeira, a definir com base no declive e na natureza geológica e pedológica, onde se inclui a margem do mar (alínea i, Secção I, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

Na delimitação da faixa terrestre de protecção costeira, à escala regional, os casos detectados correspondem à existência de praias, sem dunas ou arribas no seu limite superior. A faixa de protecção foi delimitada utilizando a largura máxima da praia, ou seja, a faixa de protecção estende-se desde o limite superior da praia até uma distância para o interior correspondente à largura máxima da praia. Também foram considerados os casos em que a erosão costeira é de tal forma grave, que já não existe cordão dunar ou duna, nem sequer a praia. Neste caso, foram considerados os enrocamentos existentes, para a faixa terrestre de protecção costeira. Estes procedimentos não devem ser adoptados à escala municipal (ver recomendações para a REN municipal).

j) Águas de transição e respectivos leitos

As águas de transição são secções terminais de cursos de água que recebem sedimentos a partir de fontes fluviais e marinhas e cujas águas são parcialmente salgadas em resultado da proximidade das águas costeiras, mas que também são influenciadas pelos cursos de água doce. (...) As lagoas e zonas húmidas adjacentes, designadas habitualmente por rias e lagoas costeiras, correspondem ao volume de águas salobras ou salgadas e respectivos leitos adjacentes ao mar e separadas deste, temporária ou permanentemente, por barreiras arenosas. (...) As águas de transição são delimitadas, a montante, pelo local até onde se verifique a influência da propagação física da maré salina e, a jusante, pela linha de baixa-mar de águas vivas equinociais (alínea j, Secção I, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

À escala regional, foram delimitados, a partir da análise das fotografias aéreas digitais com célula de 0,5 m, a lagoa de Albufeira e o rio Tejo no troço situado dentro dos limites territoriais dos concelhos da AML. Por esse motivo, o estuário do Tejo não foi considerado. O respectivo limite superior corresponde ao espelho de água acrescido da área intertidal, visível nas fotografias aéreas. O limite inferior foi definido pela altitude de 0 (zero) metros, devido à exiguidade da escala regional. À escala municipal o limite deverá situar-se a cerca de -2m, referido ao n.m.m. (linha de baixa-mar das águas vivas equinociais, correspondente ao zero hidrográfico).

Devido à exiguidade da escala regional, não foram representados os troços terminais das linhas de água costeiras que sofrem a influência da propagação física da maré salina.

l) Faixas de protecção das águas de transição

As faixas de protecção são faixas envolventes às águas de transição que asseguram a dinâmica dos processos físicos e biológicos associados a estas interfaces fluvio - marinhos. (...) A delimitação das faixas de protecção deve partir da linha de máxima preia-mar de águas vivas equinociais e considerar as características dos conteúdos sedimentares, morfológicos e bióticos (alínea l, Secção I, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

A escala regional não é adequada para a definição dos “conteúdos sedimentares, morfológicos e bióticos”, ainda assim, a partir da análise das fotografias aéreas, delimitou-se a faixa de protecção da Lagoa de Albufeira, que corresponde, no essencial, aos fundos aluviais e respectiva vegetação ripícola. O mesmo critério foi aplicado no caso dos estuários do Tejo e do Sado.

2. Definição regional das áreas de protecção do litoral

A componente da REN correspondente à protecção do litoral abrange todos os concelhos da AML, à excepção de dois: Amadora e Odivelas. À escala regional, e com as limitações apontadas na cartografia de cada item desta componente da REN, é possível sintetizar a informação presente no Quadro 1.

3. Recomendações para a delimitação da REN municipal

Da análise das várias componentes da REN pertencentes à protecção do litoral, propõem-se as seguintes recomendações:

(i) A linha de máxima preia-mar das águas vivas equinociais é muito variável do ponto de vista espacial e temporal, mas como o litoral da AML se situa no domínio da mesomaré (amplitude de maré entre 2 e 4m), deve considerar-se a amplitude máxima de 4m, à qual se acrescenta um espraiamento de 2m. Esta linha é marcada a partir do zero hidrográfico (-2m referido ao n.m.m.), pelo que a linha de máxima preia-mar de águas vivas equinociais se deve situar a cerca de 4m, referido ao n.m.m. (6m, ZH). Pelos mesmos motivos, a linha de máxima baixa-mar de águas vivas equinociais deve situar-se a cerca de -2m referido ao n.m.m. (0m, ZH).

(ii) O limite da profundidade de fecho (para as praias) é muito variável espacialmente, dependendo das características morfológicas de cada troço costeiro e da agitação marítima. Dada a escassez de estudos existentes, poder-se-á adoptar o valor médio obtido por Costa *et al.* (2001), que teve por base os registos da bóia ondógrafo do IH localizada ao largo da Figueira da Foz (registos de Julho de 1990 a Janeiro de 1996), e que aponta para uma profundidade de fecho de cerca de -18m (-17,7m), ou seja, -16m relativamente ao zero hidrográfico).

(iii) A delimitação do limite superior das praias deve orientar-se, no essencial, pelos critérios geomorfológicos referidos na lei, aos quais devem ser acrescentados, nos locais onde existam, os limites máximos atingidos pelos galgamentos oceânicos. Devem, como tal, consultar-se os POOC respectivos.

Quadro 1 – Áreas de protecção do litoral, definidas à escala regional, por concelho

Áreas de protecção do litoral	Ma	Si	Ca	Oe	Li	Lo	VFX	Alc	Mon	Moi	Ba	Sei	Alm	Ses	Set	Pa
Faixa marítima protecção costeira	X	X	X										X	X	X	
Praias	X	X	X	(1)									X	X	X	
Restingas e ilhas-barreira													X		X	
Tômbolos		X														
Sapais						X	X	X	X	X		X			X	X
Ilhéus e rochedos emersos no mar	X*	X*	X*											X*	X*	
Dunas costeiras e dunas fósseis	X	X	X										X	X	X	
Arribas e respectivas faixas de protecção	X	X	X	(1)									X	X	X	
Faixa terrestre protecção costeira	X	X	X											X		
Águas de transição e respectivos leitos						X	X	X	X	X	X	X			X	X
Faixas de protecção das águas transição						X	X	X	X	X	X	X			X	X

(1) Não foram consideradas as praias e arribas deste concelho por estarem já dentro do estuário do Tejo.

X* Embora não tenham sido marcados na REN regional, deverão sê-lo à escala municipal.

(iv) Apesar de não figurarem no Anexo 1, pelos motivos expostos no ponto 1, alínea f) deste relatório, os ilhéus e rochedos emersos no mar devem ser delimitados, segundo os critérios referidos na lei, no PDM dos concelhos com linha de costa rochosa.

(v) Apesar de não figurar no Anexo 1, pelos motivos expostos no ponto 1, alínea h) deste relatório, a faixa de protecção das arribas, no seu limite inferior, deve ser cuidadosamente delimitada na REN municipal, com recurso a trabalho de campo, de acordo com os critérios definidos na lei, por constituir uma área de risco para as pessoas que frequentam estas áreas, sobretudo se coincidir parcialmente com as áreas das praias.

(vi) A definição do limite superior das arribas deve considerar a cabeceira dos movimentos de massa ou dos ravinamentos que nelas ocorram, sempre que esta afecte o topo das arribas. A cabeceira destas formas de erosão deve corresponder à crista da arriba. Para a delimitação da faixa de protecção das arribas devem seguir-se os procedimentos expressos em CCDR-LVT (2009). Deste modo e, citando:

“No que respeita à prevenção de riscos, para as arribas presentes na área geográfica de actuação da CCDR-LVT, devem considerar-se os critérios de cálculo das faixas de risco das arribas (sopé, crista e adicional), por troço, constantes dos POOC Alcobaça-Mafra e Sintra-Sado, respectivamente publicados pela Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º 11/2002, de 17 de Janeiro, e RCM n.º 85/2003, de 25 de Junho, do seguinte modo:

- para efeitos de REN, atendendo designadamente aos valores a proteger e aos riscos a prevenir e tendo presente a vulnerabilidade da orla costeira, o horizonte temporal adoptado nos POOC para o cálculo das faixas de risco é muito reduzido. Assim, será de considerar para integração na REN, uma faixa de risco correspondente a um horizonte temporal mínimo de 100 anos (equivalente ao dobro do somatório da faixa de risco de crista e adicional dos POOC), a que acrescerá uma faixa de prevenção, relevante para assegurar a estabilidade da arriba, com largura igual à anterior. Deste modo, a faixa de protecção das arribas, na sua componente associada ao risco, apresentará, no total, uma largura equivalente ao quádruplo da faixa de risco de crista e adicional definida nos POOC;
- nos troços para que os POOC aponta valores provisórios até à realização dos estudos previstos deve verificar-se se os mesmos já foram realizados e, caso tenham aceitação da entidade competente em razão da localização e da matéria, adoptar os valores neles indicados para cálculo da faixa de protecção das arribas como antes descrito;

- devem ser adoptadas as larguras por troço constantes dos POOC para delimitação das faixas de risco de sopé.”

(vii) Não deve ser aplicado na REN municipal o critério usado neste relatório para a delimitação da faixa terrestre de protecção costeira. À escala municipal é particularmente importante proceder ao cruzamento dos critérios morfológicos, geológicos e pedológicos referidos na lei. Esta é explícita: a faixa terrestre de protecção costeira, quando exista, deve ser contígua à faixa marítima de protecção costeira pois o limite superior desta coincide com o limite inferior daquela (leito das águas do mar, ou seja, segundo a alínea hh) do artigo 4.º da Lei 58/2005, linha de máxima preia-mar das águas vivas equinociais, a qual se situa a cerca de 4m de altitude; 6m ZH). Se nessas áreas existirem vestígios de galgamentos oceânicos, a faixa terrestre de protecção costeira deverá considerar as características de largura e profundidade dos referidos galgamentos, no quadro da subida geral do nível do mar.

(viii) Apesar de não figurarem no Anexo 1, pelos motivos expostos no ponto 1, alínea j) deste relatório (à excepção do Rio Tejo), os troços terminais das linhas de água costeiras que sofrem a influência da propagação física da maré salina, bem como as respectivas faixas de protecção, devem ser delimitados, segundo os critérios referidos na lei, no PDM dos concelhos com linha de costa.

II - ÁREAS RELEVANTES PARA A SUSTENTABILIDADE DO CICLO HIDROLÓGICO TERRESTRE

1. Metodologia geral

Para a identificação das tipologias da Reserva Ecológica Nacional (REN), à escala regional, correspondentes à Sustentabilidade do Ciclo Hidrológico, foram utilizadas as fontes de informação seguintes e respectivas classes de entidades: Carta Militar de Portugal, 1/25.000, IGeoE (curvas de nível e linhas de água); Carta Geológica de Portugal, IGM/LNEG, nas escalas 1/500.000 e 1/25000.

Com base nas curvas de nível e linhas de água elaborou-se o Modelo Numérico de Elevação (MNE). Numa fase inicial procedeu-se à construção de um modelo TIN a partir das curvas de nível e, de seguida, efectuou-se a sua conversão para estrutura matricial (resolução de 25 m). Após a correcção automática de erros pontuais do modelo, nomeadamente a eliminação de depressões incorrectas geradas nos processos de triangulação e interpolação, procedeu-se à "fusão" entre este MNE preliminar e as linhas de água.

A incorporação da rede de drenagem no MNE foi efectuada através da diminuição da cota no local correspondente aos troços das linhas de água. Posteriormente, aplicou-se um filtro de média com a finalidade de suavizar o modelo, em particular ao longo dos talwegues, em que, a partir deste processo, se atenuaram os contrastes entre estes e as margens imediatamente adjacentes.

A partir do MNE foi obtida a informação seguinte: i) variação da altitude, em metros; ii) modelo de distribuição dos declives, em graus; iii) direcção do escoamento a partir de cada ponto (célula) do terreno, em octantes.

A partir do MNE e da direcção do escoamento obteve-se o fluxo potencial acumulado, que, neste caso, corresponde apenas ao número de células que drenam para cada uma das células do modelo (ou seja, directamente proporcional à respectiva área). Esta área de drenagem foi calculada tendo por base toda a bacia hidrográfica que contribui para o escoamento no interior da AML, o que implica que foram também consideradas as áreas de drenagem exteriores a esta região.

A partir do mapa de fluxo potencial acumulado (ou áreas de drenagem) foi identificada a rede de drenagem, com base em diferentes áreas de acumulação. O delineamento desta rede a partir do MNE, obtido assente nos procedimentos anteriormente descritos, permitiu obter um conjunto de linhas de água com características similares às das da rede de drenagem vectorial, mas com a vantagem de terem sido eliminadas

as discrepâncias resultantes de diferentes critérios de representação detectados entre as folhas da Carta Militar de Portugal (1/25.000).

A informação geológica baseou-se na utilização da Carta Geológica de Portugal na escala 1/25000. A sua utilização teve como finalidade conhecer a variação da permeabilidade relativa ao longo deste território. Todavia, a desproporção em relação à escala de trabalho adoptada na REN (1/200.000) e a desejável compatibilização com a informação utilizada na delimitação da REN do OVT – em que se utilizou uma versão corrigida da Carta Geológica de Portugal, na escala 1/500.000 –, levou à necessidade de generalização das classes geológicas, ajustando os critérios de classificação aos presentes nesta última fonte de informação.

Após esta generalização, procedeu-se a uma classificação da permeabilidade, baseada no conhecimento empírico das características dos tipos litológicos associados a cada mancha geológica. Optou-se por uma escala de 0 a 10, em que o valor 0 corresponde às áreas impermeabilizadas ou a áreas aquáticas, o valor 1 a áreas de permeabilidade relativa muito baixa e, no extremo oposto, o valor 10 identifica as áreas de permeabilidade relativa muito elevada (quadro 2).

Quadro 2 – Permeabilidades relativas dos agrupamentos litológicos

Agrupamentos litológicos	Permeabilidade relativa
Areias (praias, dunas), terraços arenosos e cascalhentos	10
Aluviões, depósitos de vertente, cascalheiras de planalto	9
Calcários carsificados	8
Formações carbonatadas e detríticas predominantemente arenosas	7
Formações carbonatadas e detríticas areno-argilosas	6
Formações carbonatadas e detríticas predominantemente argilosas	5
Rochas plutónicas e metagrauvaques	4
Complexos xisto-grauváquicos, complexos vulcânicos e filões alterados	3
Xistos, micaxistos, gnaisses, quartzitos	2
Argilas, argilitos, margas, fácies Keuper	1
Superfícies impermeabilizadas ou áreas aquáticas	0

2. Cursos de água e respectivos leitos e margens

2.1. Metodologia utilizada

Os leitos dos cursos de água correspondem ao terreno coberto pelas águas, quando não influenciadas por cheias extraordinárias, inundações ou tempestades, neles se

incluindo os mouchões, os lodeiros e os areais nele formados por deposição aluvial (alínea a, Secção II, Anexo 1, do DL n.º 166/2008). O limite do leito é definido, “conforme os casos, pela aresta ou crista superior do talude marginal ou pelo alinhamento da aresta ou crista do talude molhado das motas, câmoros, valados, tapadas ou muros marginais” (artigo 10.º da Lei n.º 54/2005).

As margens correspondem a uma faixa de terreno contígua ou sobranceira à linha que limita o leito das águas, com largura legalmente estabelecida, nelas se incluindo as praias fluviais (alínea a, Secção II, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

A largura da margem foi definida a partir da diferenciação entre os cursos de água navegáveis ou fluviáveis (30m) e os não navegáveis nem fluviáveis (10m), de acordo com o artigo 11.º da Lei n.º 54/2005, de 15 de Novembro (e não do 10.º, como, por lapso, refere o novo diploma da REN) e com o artigo 4.º, alínea gg), da Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro.

Os conceitos de navegável e fluviável não são sinónimos, como aliás se depreende do articulado da lei. Por outro lado, as águas não navegáveis nem fluviáveis estão ligadas a um “caudal descontínuo” (ponto 4, do artigo 11.º, da Lei n.º 54/2005 e artigo 4.º, alínea gg), da Lei n.º 58/2005). Este facto é importante, uma vez que a variedade e porte das espécies vegetais pertencentes aos ecossistemas ribeirinhos se encontra dependente da existência (ou não) de um escoamento contínuo. Por tal motivo, e no contexto da definição da REN ribeirinha, mais do que discutir a fluviabilidade dos cursos de água, é primordial diferenciar aqueles que são permanentes dos que são temporários.

A largura das margens das águas navegáveis ou fluviáveis, desde que sujeitas à jurisdição das autoridades marítimas ou portuárias, é de 50m, ainda segundo os mesmos artigos das duas leis mencionadas. Na AML existe um troço pertencente área de jurisdição da APL, SA que se estende desde a linha situada entre a torre do Forte de São Julião da Barra e o Bugio, a jusante, até à ponte de Vila Franca de Xira, a montante, e abrange o leito de rio, e salvo algumas excepções, 50m de largura da margem das águas do mar e das águas navegáveis ou fluviáveis. Na REN foi incluído o troço situado dentro dos limites dos concelhos de Loures e Vila Franca de Xira, já que o sector do chamado “Mar da Palha” (delta interior do Tejo) e do estuário, propriamente dito, não estão incluídos dentro dos limites administrativos concelhios.

A identificação dos troços da rede hidrográfica seguiu duas abordagens distintas a fim de permitir a separação entre os troços navegáveis ou fluviáveis e os restantes troços desta rede.

Para a identificação da generalidade da rede hidrográfica, susceptível de ser integrada na REN, foi utilizada a variável que quantifica a área de acumulação, em que se seleccionaram os troços resultantes de valores acumulados iguais ou superiores a 4 km² (6400 células para a resolução de 25 m). Com base neste critério ficam também incluídas, como é óbvio, as linhas de água obtidas a partir de uma área de acumulação de 10 km².

Devem-se, no entanto, com base no exposto anteriormente, ter presentes as seguintes situações:

- (i) a rede de drenagem definida a partir do critério da área de drenagem de 4 km² pode não incluir alguns troços que, devido ao seu valor ambiental (por exemplo, a presença de galerias de vegetação ripícola), devem ser englobados na REN municipal;
- (ii) os troços obtidos com base neste critério iniciam-se quando a área de drenagem de cada um deles atinge o valor de 4 km², mas, devido à necessidade de generalização associada à escala regional optou-se por não prolongar esses troços para montante; na REN municipal, estas linhas de água deverão ser identificadas até à respectiva cabeceira.

Em relação aos troços navegáveis ou flutuáveis, o processo de identificação foi mais complexo e, também, sujeito a uma validação mais exigente. Este processo, baseado em métodos automáticos, utilizou como parâmetros a área de drenagem até cada ponto da rede de drenagem (número de células acumulado) e a altura acima de uma cota de referência, a qual coincidiu com o Oceano Atlântico (n.m.m.). Como os sectores dos rios Tejo e Sado que fazem parte da AML são influenciados pela maré, adoptou-se este mesmo valor para os cursos de água que desaguam directamente nestes dois rios. Pretendeu-se, com esta última variável, identificar os troços no sector jusante dos pequenos cursos de água que, apesar de não terem área de drenagem suficiente para serem navegáveis ou flutuáveis, são influenciados pela proximidade do oceano e pelas variações (diárias ou sazonais) na altura da coluna de água nos rios principais. Considerou-se, assim, uma influência bastante importante destes elementos até cerca de 3 a 4 m acima do nível de referência, observando-se então um decréscimo exponencial até cerca de 25 m, o que se verificou estar em consonância com a generalidade das situações conhecidas.

Assim, a partir da integração dos dois parâmetros (área de drenagem e cota acima do n.m.m), devidamente padronizados, foi obtida uma expressão empírica que identifica os troços navegáveis ou flutuáveis. Os resultados obtidos foram validados com base na identificação das situações conhecidas no território da AML.

2.2. Definição regional dos cursos de água e respectivos leitos e margens

Segundo o critério e metodologia acima expostos, a AML é drenada por um total de 1140 km de cursos de água pertencentes à REN (Anexo 2). Esses cursos de água dividem-se por três grandes regiões hidrográficas (RH), tal como estão consignadas na Lei da Água (Lei n.º 58/2005): RH 4 - Vouga, Mondego, Lis e Ribeiras do Oeste, sendo apenas parte destas últimas que integram o território da AML; RH 5 - Tejo e RH 6 - Sado e Mira (as que confluem com o Rio Sado).

Foram integrados na REN regional alguns leitos de cursos de água com secção artificializada, obedecendo aos critérios de delimitação referidos em CCDR-LVT (2009). Assim, foram integrados troços em valas ou entre diques longitudinais que, pela sua extensão relativamente ao comprimento total do curso de água e pela sua posição relativa na rede hidrográfica, garantem o contínuo longitudinal e são estruturantes dessa mesma rede.

A aplicação da metodologia descrita no ponto 2.1. para a diferenciação dos leitos com águas navegáveis ou fluviáveis dos que têm um escoamento descontínuo (a fim de definir a largura das respectivas margens) detectou o essencial dos dois conjuntos de cursos de água (Anexo 2). Contudo, apenas o trabalho de campo, poderá definir, à escala municipal, a partir de que ponto da linha de água é que existe uma efectiva permanência do escoamento. À escala regional, os cursos de água fluviáveis atingem cerca de 180 km e os não fluviáveis 960 km.

A permanência de água nos leitos fluviais depende não só do escoamento de base das respectivas bacias de drenagem, mas também dos efeitos da maré e das barragens e açudes. A proximidade do oceano (no caso das Ribeiras do Oeste) ou dos estuários do Tejo e do Sado, conjugado com o efeito da maré, podem manter a água em muitos troços terminais de rios e ribeiras. Recorde-se que, ao longo do vale do Tejo, o efeito da maré influencia os troços terminais dos afluentes daquele rio até um pouco a montante da Ribeira de Muge.

No quadro 3 estão indicados os concelhos que possuem cursos de água navegáveis ou fluviáveis (quase sempre fluviáveis, no caso da região da AML) e as respectivas bacias hidrográficas onde eles se enquadram.

Quadro 3 – Concelhos com cursos de água navegáveis
ou flutuáveis na AML

Concelhos	Bacia Hidrográfica	Região Hidrográfica
Mafra	R ^a do Sobral R ^a do Cuco Rio Lizandro	RH4 – Ribeiras do Oeste
Sintra	R ^a de Colares	RH4 – Ribeiras do Oeste
Cascais	R ^a de Colares	RH4 – Ribeiras do Oeste
Oeiras	Rio Jamor	RH5 – Rio Tejo
Loures	R ^a de Loures Rio Trancão	RH5 – Rio Tejo
Vila Franca de Xira	Rio Tejo Rio Grande da Pipa Rio Sorraia	RH5 – Rio Tejo
Alcochete	R ^a Vale da Palmela R ^a da Asseisseira R ^a do Vale dos Vinte e Um	RH5 – Rio Tejo
Montijo	R ^a do Vale Cibrão Vala do Paúl das Lavoeiras Vala Real	RH5 – Rio Tejo
Barreiro	R ^a da Vala Real	RH5 – Rio Tejo
Seixal	R ^a da Vala Real	RH5 – Rio Tejo
Sesimbra	R ^a da Apostiça	RH5 – Rio Tejo
Palmela	R ^a da Asseisseira R ^a do Vale dos Vinte e Um R ^a da Marateca	RH5 – Rio Tejo RH5 – Rio Tejo RH6 – Rio Sado
Setúbal	R ^a da Marateca Barranco da Cotovia	RH6 – Rio Sado RH6 – Rio Sado

Nota: As designações dos cursos de água estão de acordo com D.G.R.A.H. (1981) Índice hidrográfico e classificação decimal dos cursos de água de Portugal continental.

2.3. Recomendações para a delimitação da REN municipal

Tal como foi salientado na Introdução deste trabalho, a REN que aqui se apresenta é delimitada à escala regional, pelo que as equipas dos PDM não a podem ampliar para a escala municipal. Assim sendo, propõem-se as seguintes recomendações:

(i) Para a definição dos leitos dos cursos de água, as equipas dos PDM devem obrigatoriamente analisar a rede hidrográfica exterior ao concelho, para poderem definir os cursos de água com bacia de drenagem superior a 4km²; além disso, devem considerar os critérios indicados em CCDR-LVT (2009).

(ii) A largura das margens dos cursos de água varia, basicamente, consoante a constância do escoamento (águas flutuáveis). Para a definição dos troços com águas

flutuáveis, as equipas dos PDM deverão proceder a trabalho de campo (observação *in situ*, durante o verão, ou a realização de inquéritos).

(iii) Os concelhos da AML, cujo território se situe ao longo do Rio Tejo, devem integrar na REN uma margem com a largura de 50m, uma vez que este rio possui águas navegáveis ou flutuáveis, sujeitas à jurisdição da APL, desde a sua embocadura até à ponte de Vila Franca de Xira.

3. Lagoas, lagos e respectivos leitos, margens e faixas de protecção

3.1. Definição regional das lagoas, lagos e respectivos leitos, margens e faixas de protecção

Os lagos e as lagoas são meios hídricos lânticos superficiais interiores, correspondendo as respectivas margens e faixas de protecção às áreas envolventes ao plano de água que asseguram a dinâmica dos processos físicos e biológicos associados à interface terra - água, nelas se incluindo as praias fluviais. (...) A delimitação dos lagos e lagoas deve corresponder ao plano de água que se forma em situação de cheia máxima e a largura da margem deve observar o disposto na alínea gg) do artigo 4.º da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro. (...) A delimitação das faixas de protecção deve considerar a dimensão dos lagos e lagoas e a sua situação na bacia hidrográfica (alínea b, Secção II, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

Na AML não existem lagos e lagoas naturais de águas superficiais interiores, com representatividade à escala regional. Contudo, à escala local, estes meios hídricos lânticos (onde se incluem os paúis) devem ser representados e integrar a REN municipal (ver recomendações para a REN municipal).

3.2. Recomendações para a delimitação da REN municipal

Os meios hídricos lânticos superficiais interiores, onde se incluem os lagos, lagoas e paúis, são muito importantes para a conectividade da REN, no quadro da sustentabilidade do ciclo hidrológico. Como tal, propõem-se as seguintes recomendações:

(i) Os lagos e lagoas temporários devem ter uma margem correspondente à dos cursos de água não flutuáveis (10m), de acordo com o disposto na alínea gg) do artigo 4.º da Lei n.º 58/2005.

(ii) Os lagos e lagoas permanentes devem ter uma margem correspondente à dos cursos de água fluviáveis (30m), de acordo com o disposto na alínea gg) do artigo 4.º da Lei n.º 58/2005.

4. Albufeiras que contribuam para a conectividade e coerência ecológica da REN, com os respectivos leitos, margens e faixas de protecção

4.1. Definição regional das albufeiras e respectivos leitos, margens e faixas de protecção

A albufeira corresponde à totalidade do volume de água retido pela barragem, em cada momento, cuja cota altimétrica máxima iguala o nível pleno de armazenamento, incluindo o respectivo leito, correspondendo as respectivas margens e faixas de protecção às áreas envolventes ao plano de água que asseguram a dinâmica dos processos físicos e biológicos associados à interface terra-água, incluindo as praias fluviais.(...) A delimitação das albufeiras deve corresponder ao plano de água até à cota do nível de pleno armazenamento. (...) A delimitação da largura da margem deve observar o disposto na alínea gg) do artigo 4.º da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro. (...) A delimitação das faixas de protecção deve considerar a dimensão da albufeira e a sua situação na bacia hidrográfica (alínea c, Secção II, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

Pertencem à REN todas as albufeiras classificadas como albufeiras de águas públicas, bem como as albufeiras ocorrentes nos leitos dos cursos de água pertencentes à REN. A delimitação corresponde ao nível de pleno armazenamento (NPA).

No mapa do Anexo 2 não foram representadas as albufeiras devido à exiguidade da escala. Contudo, no quadro 4 indicam-se as principais albufeiras da AML referenciadas pelo SNIRH.

Quadro 4 – Principais albufeiras da AML, referenciadas pelo SNIRH

Concelhos	Barragem / açude	Curso de água	NPA
Cascais	B. do Rio da Mula	Rio da Mula	149 m
Montijo	B. de Venda Velha	Rª de Asseisseira	14,55 m

Fonte: I.N.A.G. (SNIRH)

As designações dos cursos de água estão de acordo com D.G.R.A.H. (1981) – Índice hidrográfico e classificação decimal dos cursos de água de Portugal continental.

4.2. Recomendações para a delimitação da REN municipal

Uma das modificações entre a antiga lei da REN (DL n.º 93/90) e a nova lei (DL n.º 166/2008) é a da aplicação do conceito de margem não só para os cursos de água, mas também para os lagos, lagoas e albufeiras. Assim, fazem-se as seguintes recomendações:

i) Segundo o DL n.º 166/2008, o NPA delimita a albufeira e respectivo leito e a largura da margem *deve observar o disposto na alínea gg) do artigo 4.º da Lei n.º 58/2005*. Esta alínea refere, para o caso das águas navegáveis ou flutuáveis, como é o caso das albufeiras, uma largura de 30m para a margem, medida na horizontal a partir do NPA. Indica ainda que, quando a margem for uma praia, cuja extensão seja superior à estabelecida anteriormente, a largura da margem se deve estender até ao limite superior da praia.

ii) A delimitação da faixa de protecção de cada albufeira deve ser calculada a partir do limite do NPA, nunca podendo ser inferior à margem, e considerar a dimensão da albufeira e a sua posição na bacia hidrográfica.

5. 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. (...) 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 (alínea d, Secção II, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

Pela importância que esta componente da REN representa, não só a nível regional, mas também nacional, desenvolve-se, em seguida, uma análise mais aprofundada do funcionamento hidrológico dos sistemas aquíferos existentes na AML.

5.1. Caracterização hidrogeológica da Área Metropolitana de Lisboa

Os sistemas aquíferos

A Área Metropolitana de Lisboa localiza-se em duas das zonas morfo-tectónicas de Portugal Continental: a Orla Sedimentar Mesocenozóica Ocidental e a Bacia Sedimentar Cenozóica do Tejo e Sado que, por sua vez, é limitada no extremo SW por um alinhamento serrano, correspondente à cadeia da Arrábida essencialmente constituída por sequências sedimentares mesozóicas carbonatadas, dolomíticas e margosas, com intercalações de unidades detríticas (Figura 1). Esta domina as "vastas planuras de baixa altitude da Bacia Sedimentar Cenozóica do Tejo na península de Setúbal e cai, a sul, sobre as águas da baía de Setúbal, por arribas alterosas" (Manuppella *et al.* 1999).

Na península de Setúbal, entre o flanco meridional do domo anticlinal de Monsanto, localizado na região de Lisboa, e o flanco setentrional dos dobramentos da cadeia da Arrábida, situados a S, as formações cenozóicas dispõem-se segundo uma geometria subtabular, ligeiramente arqueada em sinforma, desenhando uma estrutura geralmente designada por "sinclinal de Lagoa de Albufeira" ou "sinclinal de Albufeira" (Azevedo, 1982; Ribeiro *et al.*, 1989 *in* Manuppella *et al.*, 1999).

Sob o ponto de vista hidrogeológico a Orla Ocidental é caracterizada pela existência de vários sistemas aquíferos importantes, relacionados com formações calcárias e detríticas.

A organização sequencial dos sedimentos e a tectónica, em particular a tectónica salífera, tiveram um papel importante na organização e distribuição daqueles sistemas.

A organização sequencial dos sedimentos individualiza, verticalmente, formações com comportamento hidrogeológico diverso, criando alternâncias, mais ou menos cíclicas de aquíferos, aquíferos e aquíferos. Formam-se, assim, sistemas aquíferos multicamada, com escoamentos por drenância intercadas, de acordo com o potencial hidráulico local: genericamente descendente nas zonas de recarga e ascendente nas de descarga.

Nalgumas estruturas evaporíticas da Orla, encontram-se preservados depósitos detríticos com grande potencial aquífero.

No que respeita à circulação da água subterrânea na AML, incluída na Orla Ocidental, individualiza-se apenas um pequeno sistema cársico: Pizões-Atrozela (O28) na denominação do INAG (Almeida *et al.*, 2000). Na descrição que se segue do sistema aquífero transcreve-se parcialmente a caracterização feita por aqueles autores.

Trata-se de um sistema aquífero cársico com uma forma alongada e estreita, que se estende ao longo do flanco sul e leste do maciço eruptivo de Sintra (Figura 2). A sua área é de 22 km².

As formações que constituem o suporte do sistema aquífero são os Margo-calcários Xistosos e Calcários Nodulares de Farta Pão, do Jurássico superior e os Calcários e margas com *A. lusitanica*, *M. purbeckensis* e *Trocholina*, incluindo os níveis de Calcários amarelo-nanquim do Cretácico inferior.

Este sistema aquífero encontra-se fortemente condicionado pela tectónica que afectou as formações, sendo natural que esteja dividido em compartimentos limitados por diferentes falhas e/ou filões que apresentam um papel determinante na produtividade do sistema aquífero. A carsificação que se observa à superfície nas formações calcárias, com a presença de pequenas depressões, é indicador da elevada solubilidade destas litologias, podendo existir cavidades, em profundidade, que constituam reservatórios de água.

A recarga é feita directamente nas formações aflorantes, em especial onde se encontram carsificadas e conhecem-se algumas descargas naturais, em especial a NW da Atrozela, na vertente norte do sinclinal de Alcabideche, na margem norte da ribeira da Penha Longa.

Para obter uma estimativa da recarga anual média, foi usada a precipitação média no posto udométrico de Alcabideche, que foi de 733 mm num intervalo de 16 anos (anos hidrológicos de 1980/81 a 1994/95). A área total do sistema é de 22 km² mas uma parcela importante encontra-se coberta por áreas urbanas, pelo que se estima em cerca de 80% \cong 18 km² a área útil. Dadas as características topográficas e de cobertura, estima-se em cerca de 30% da precipitação, a taxa de recarga, pelo que os recursos médios renováveis deverão situar-se entre 3 e 4 hm³/ano.

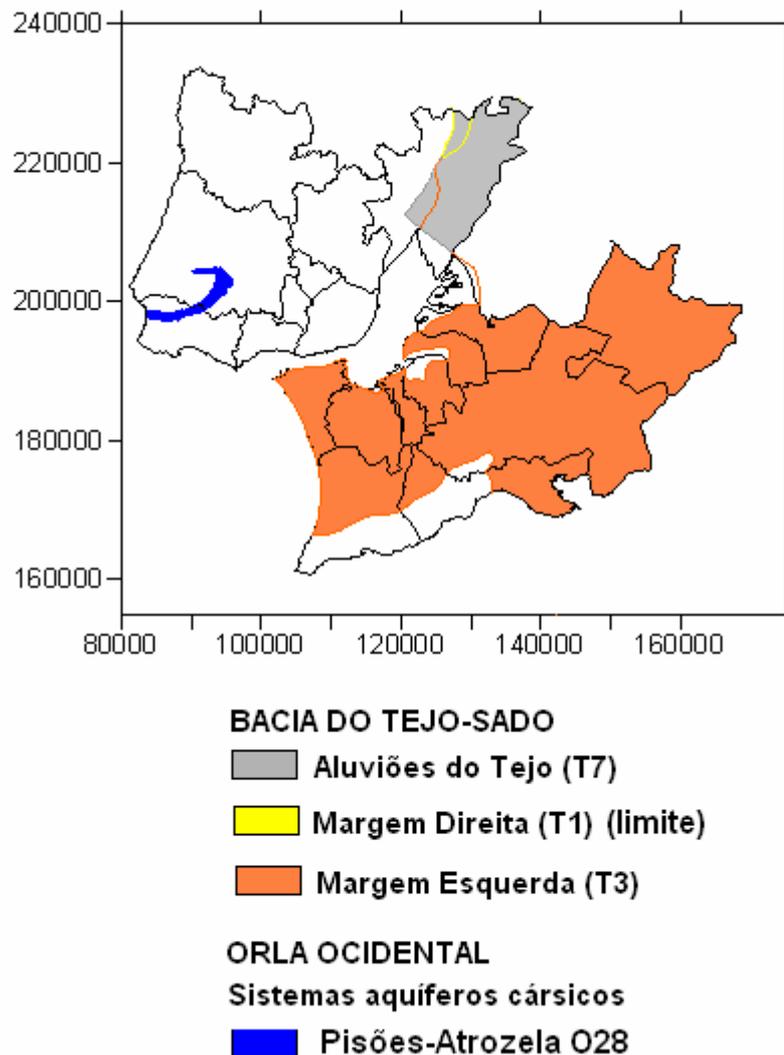


Figura 2 – Sistemas aquíferos da região da AML (adaptado de Almeida *et al.*, 2000)

No que respeita às características hidrogeológicas, o modelo conceptual de fluxo na Bacia Sedimentar do Tejo é relativamente simples e inclui dois sub-sistemas aquíferos que têm por suporte: (1) as aluviões e (2) as formações terciárias. Alguns autores (e.g. Almeida *et al.*, 2000) consideram dois sistemas aquíferos terciários distintos, um para cada margem. Devido à forte conexão hidráulica, o rio Tejo provoca efeitos hidrodinâmicos no sub-sistema aluvionar e condiciona a qualidade da sua água.

No sub-sistema aquífero terciário, em regime natural, o escoamento tinha uma componente transversal, das "terras altas" marginais em direcção ao Tejo, onde descarregava nas aluviões, por drenância ascendente, e uma componente longitudinal em direcção ao Oceano Atlântico segundo uma direcção que se aproximava da perpendicular à linha de costa, nomeadamente a sul da Cadeia da Arrábida. Na zona

central da bacia, o potencial hidráulico no sistema aquífero terciário era superior ao do aquífero aluvionar sobrejacente, estava acima da superfície do terreno e aumentava com a profundidade.

Actualmente, devido à exploração do sub-sistema terciário em muitas áreas da bacia, o sentido do fluxo está invertido, nomeadamente na parte central, onde o potencial hidráulico no sistema aluvionar é superior ao potencial hidráulico no sistema aquífero terciário.

Além da recarga pela água das precipitações e das trocas com as linhas de água e unidades aluvionares adjacentes, admite-se que o sub-sistema terciário também possa receber recarga lateral proveniente das formações do Maciço Calcário Estremenho e dos calcários de Ota e Alenquer (PNUD, 1980; GESTÁGUA, 1996; Simões, 1998).

Da complexidade litológica e estrutural evidenciada, resulta um conjunto alternante de camadas aquíferas separadas por outras de permeabilidade baixa ou muito baixa (aquitardos e aquíclusos), nalguns locais com predomínio de uma ou outra classe de formações hidrogeológicas. É esta multiplicidade de formações hidrogeológicas que é agrupada e permite considerar (esquematizar) na vertical, grandes conjuntos representativos: dois ou três aquíferos separados por aquitardos.

Na AML, segundo a cartografia de Almeida *et al.* (2000) consideram-se três sistemas aquíferos (Figura 2): "Sistema Aquífero: Margem Direita (T1)" (só uma área muito limitada deste sistema pertence à AML num sector onde está recoberto por aluviões do Tejo), "Sistema Aquífero: Margem Esquerda (T3)" e "Aluviões do Tejo (T7)". Por uma questão de simplicidade de linguagem passaremos a descrever o conjunto como "Sistema Aquífero do Tejo e Sado".

Este sistema é o maior e mais importante sistema aquífero português. Ocupa a Bacia Terciária do Tejo e do Sado, numa área aproximada de 8550 km² e inclui um sistema multicamada, constituído por depósitos terciários, sobreposto por unidades hidrogeológicas quaternárias. É a origem do abastecimento de água a importantes núcleos populacionais, à indústria e à agricultura.

Trata-se de um sistema aquífero extenso onde é possível individualizar vários tipos de escoamentos e áreas hidrogeologicamente diferenciadas. Assim, podem-se considerar escoamentos locais, isto é, escoamentos pouco extensos cujas áreas de descarga são as linhas de água adjacentes e as de recarga são os interflúvios. Trata-se de escoamentos onde predominam os sentidos de fluxo descendentes e laterais.

Por oposição aos escoamentos anteriores, existem os escoamentos extensos e profundos, com circulação à escala da bacia, onde se podem individualizar muito bem três áreas ou zonas de escoamento: a recarga onde o fluxo é descendente, a

intermédia ou de transferência e a de descarga com fluxos ascensionais, que corresponde às áreas adjacentes ao grande eixo drenante (rio Tejo) e ao nível de base da bacia hidrográfica (nível médio no Oceano Atlântico).

A terceira classe corresponde a escoamentos intermédios, que podem incluir uma ou mais bacias dos tributários principais.

Este modelo conceptual e geral de escoamento é suportado por observações de níveis piezométricos na parte central da bacia, na fase inicial da exploração do sistema, de que se dão três exemplos:

- Na Lezíria de Vila Franca de Xira, em regime natural, o potencial hidráulico no sistema terciário era superior ao do aquífero aluvionar sobrejacente, aumentava com a profundidade (nas camadas a cerca de 500m profundidade, em 1974, estava cerca de 10m acima da cota da superfície do terreno) em demonstração clara de que se trata de zona de descarga (Mendonça, 1996);
- Na península da Mitrena, a sul de Setúbal, em 1960, antes da exploração intensiva, o aquífero greso-calcário tinha a superfície piezométrica à cota aproximada de +6,5m, superior à do aquífero pliocénico e inferior ao nível da água das formações subjacentes, "margo-gresosas" e "gresos-margosas" (conforme resultados de ensaios realizados em 1971 na zona do sapal do estuário do Sado);
- Furos com artesianismo repuxante, principalmente os profundos, no Miocénico, nos concelhos do Seixal, Montijo, Almada, Barreiro, Moita, Setúbal e Palmela.

O sistema aquífero é recarregado pela água das precipitações atmosféricas (Figura 3) e por água que se infiltra nos leitos das linhas de águas na parte mais elevada dos seus percursos na bacia. Como já foi afirmado, alguns autores admitem que o sistema aquífero terciário também pode receber recarga lateral proveniente das formações do Maciço Calcário Estremenho e dos calcários de Ota e Alenquer (PNUD, 1980; GESTÁGUA, 1996; Simões, 1998).

A questão das fronteiras é primordial na definição do funcionamento, na conceptualização e na modelação do sistema aquífero. As fronteiras do sistema aquífero na península de Setúbal, com excepção da fronteira sul são constituídas por massas de água salgada dos estuários do Tejo e do Sado e do oceano. A interacção destes limites com o sistema aquífero não são fáceis de estabelecer e os modelos numéricos já realizados escolhem localizações diferentes para as fronteiras com o oceano e os estuários. Como resultado desta e de outras diferenças, cada modelo fornece resultados muito distintos.

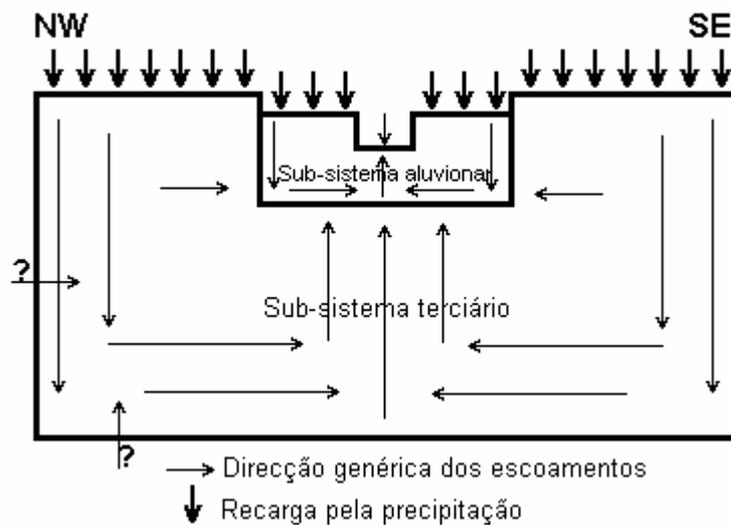


Figura 3 – Modelo conceptual de fluxo do Sistema Aquífero Tejo-Sado.

Actualmente, devido à exploração do sistema aquífero terciário, em muitas áreas da bacia, o sentido do fluxo está invertido, nomeadamente na parte central, onde o potencial hidráulico no sistema aluvionar é superior ao potencial hidráulico na parte superior do sistema aquífero terciário.

A carta de isopiezas da Figura 4 dá uma aproximação à configuração geral actual do escoamento na área da Península de Setúbal.

O mapa foi elaborado com dados recolhidos em <http://snirh.inag.pt>, contém valores respeitantes a vários anos e as características dos piezómetros são desconhecidas, pelo que certamente medem valores em unidades hidrogeológicas distintas do sistema aquífero. De qualquer modo, o mapa revela que nas zonas dos concelhos do Seixal e Montijo há depressões claras da cota piezométrica, com valores negativos. Nas áreas menos pressionadas pela exploração, como são as zonas mais periféricas da Bacia, a superfície piezométrica ainda aparenta a configuração que teria em regime natural com o escoamento a fazer-se das áreas marginais da bacia para a sua zona central.

A água dos vários escoamentos interage com diferentes tipos litológicos da bacia sedimentar sob condições de pressão, temperatura, tempo de contacto e estados de saturação variáveis que explicam a evolução das características físico-químicas da água ao longo dos escoamentos e as diferentes fácies hidrogeoquímicas que se encontram.

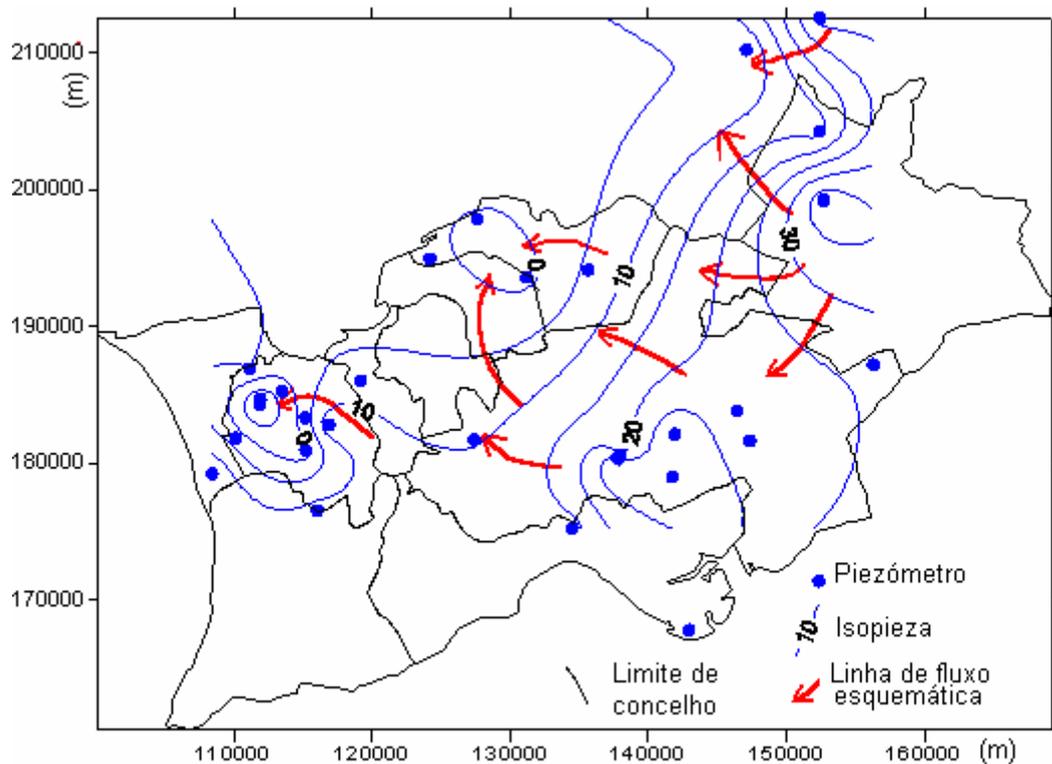


Figura 4 - Configuração aproximada da superfície piezométrica (consultar o texto sobre a metodologia) na área da Península de Setúbal.

Parâmetros de produtividade dos furos de pesquisa e captação de água subterrânea

As considerações que se seguem são baseadas na base de dados de furos, disponibilizada pela CCDR-LVT. Considerar-se-ão: a *zona norte da AML (sub-região da Grande Lisboa)* que inclui a Orla Ocidental, o Miocénico de Lisboa e, no extremo leste, o “Sistema Aquífero do Tejo e Sado” e a *zona sul da AML (sub-região da Península de Setúbal)* com o “Sistema Aquífero do Tejo e Sado” e as formações mesozóicas da Arrábida (Figura 5).

Na AML, a distribuição da profundidade dos furos é representada na Figura 6. Esta revela a elevada concentração de furos em toda a AML com particular densidade no sistema aquífero do Tejo-Sado/Margem Esquerda (*zona sul da AML*).

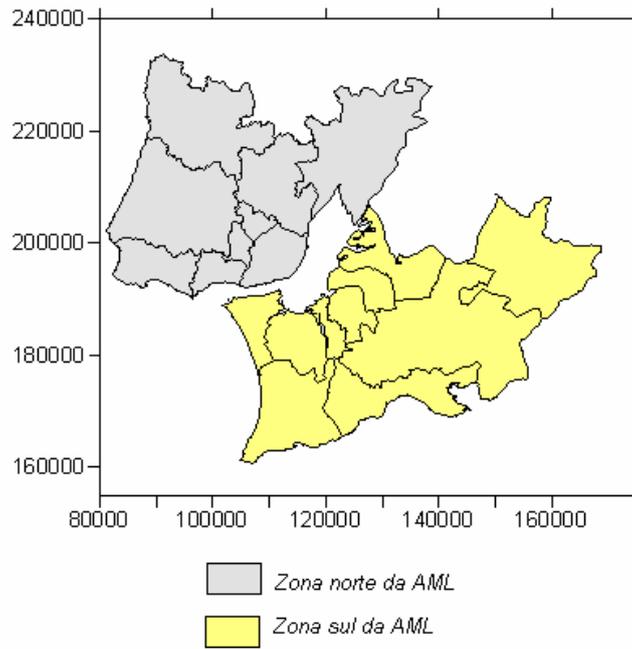


Figura 5 – Zonas em que se subdividiu a AML

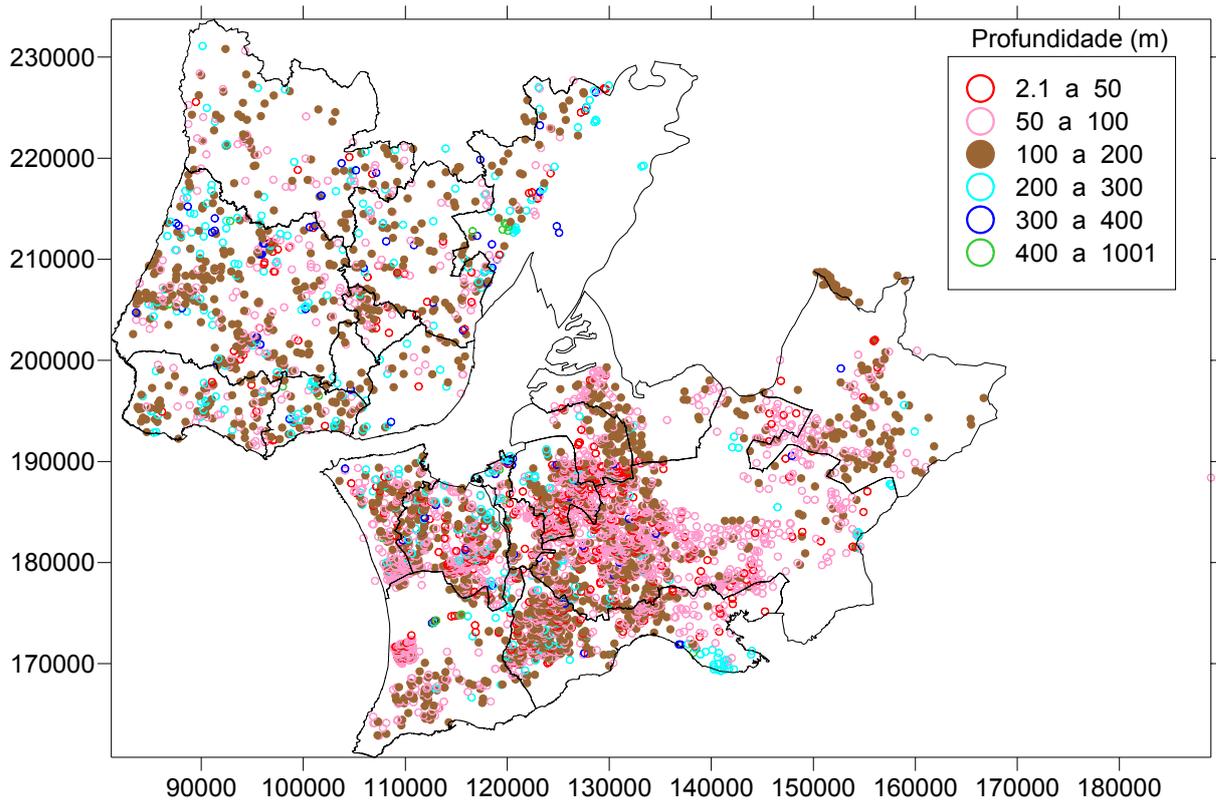


Figura 6 - Distribuição da profundidade dos furos na AML

No quadro 5, mostram-se as estatísticas sumárias da profundidade dos furos localizados na AML. O quadro inclui medidas da tendência central, medidas da

variabilidade e medidas da forma. As medidas da forma indicam que há um significativo afastamento de uma distribuição normal nas três amostras.

A média, mediana, primeiro e terceiro quartil e valor máximo da profundidade são maiores na *zona norte da AML*.

Quadro 5 - Estatísticas da profundidade dos furos localizados na AML

	AML	<i>Zona norte da AML</i>	<i>Zona sul da AML</i>
Nº valores	5441	1078	4363
Média	105,0	143,1	95,6
Mediana	85,0	124,0	80,0
Desvio padrão	68,5	90,1	58,2
Coef variação (%)	65,2	62,9	61,0
Mínimo	2,1	8,8	2,1
Máximo	1000,0	1000,0	602,0
Amplitude	997,9	991,3	599,9
Q1	66,0	82,0	60,0
Q3	122,0	180,0	108,0
Assimetria	91,0	40,9	70,0
Achatamento	301,1	136,3	155,9

A comparação da profundidade os furos das duas zonas permite ainda concluir: (1) há diferença significativa estatisticamente entre valores das médias para o nível de confiança de 95%; (2) há diferença significativa entre os desvios padrão para o nível de confiança de 95%; (3) o teste de Kruskal-Wallis para a mediana permite concluir que há diferença significativa entre as medianas para o nível de confiança de 95%.

Na AML, a distribuição do valor do caudal de ensaio dos furos é representada na figura 7. Esta revela maior produtividade dos furos localizados no sistema aquífero do Tejo-Sado/Margem Esquerda (*zona sul da AML*) e na *zona norte* quando localizados no “Sistema Aquífero do Tejo e Sado”. No extremo SW da zona sul, os caudais mais baixos respeitam a furos localizados na bordadura da bacia terciária, em formações miocénicas, paleogénicas e mesozóicas da Arrábida.

Os valores do caudal dos furos reflectem não só as características do conjunto captação/aquífero mas também as necessidades do utilizador. Dito de outro modo, o dimensionamento dos furos, tanto em profundidade como em diâmetro, depende do caudal que se pretende obter, ressaltando o limite das potencialidades aquíferas do sistema. Assim, os furos destinados aos abastecimentos públicos de vilas e cidades, de unidades industriais importantes e de agricultura extensiva apresentam valores que são estatisticamente mais elevados que nas áreas rurais de minifúndio e/ou de abastecimentos de aldeias e moradias.

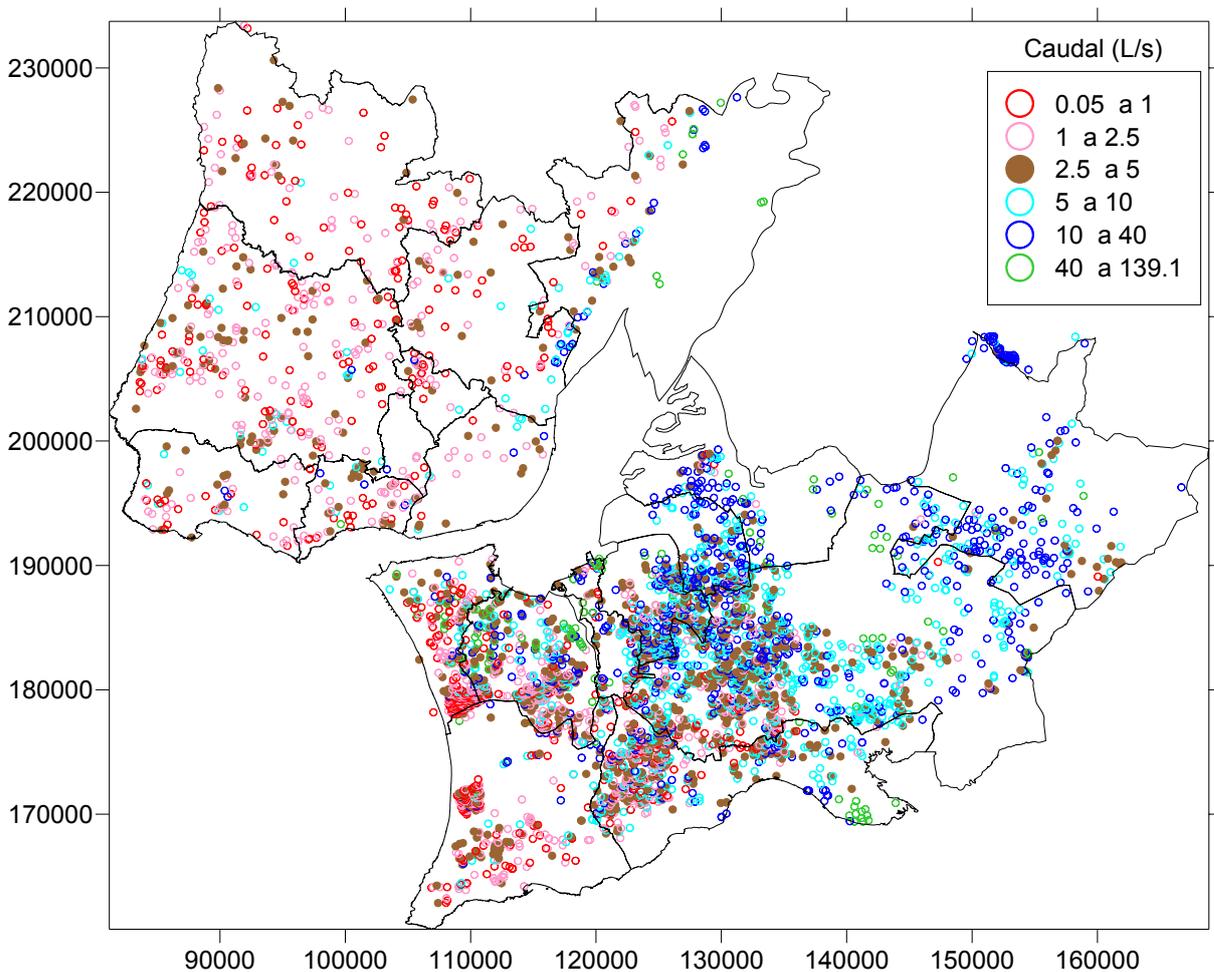


Figura 7 - Distribuição do valor do caudal dos furos na AML

No quadro 6, mostram-se as estatísticas sumárias do caudal de ensaio dos furos localizados na AML. A tabela inclui medidas da tendência central, medidas da variabilidade e medidas da forma. As medidas da forma indicam que há um significativo afastamento de uma distribuição normal nas três amostras.

A média, mediana, primeiro e terceiro quartil e valor máximo do caudal de ensaio são maiores na *zona sul da AML*.

Quadro 6 - Estatísticas do caudal de ensaio dos furos localizados na AML

	AML	Zona norte da AML	Zona sul da AML
Nº valores	4789	753	4036
Média	7,6	3,7	8,3
Mediana	3,3	1,7	4,2
Desvio padrão	12,0	7,8	12,5
Coef variação (%)	158,9	211,1	151,1
Mínimo	0,1	0,1	0,1
Máximo	139,0	71,5	139,0
Amplitude	139,0	71,4	139,0
Q1	1,4	1,0	1,7
Q3	8,3	3,3	9,7
Assimetria	111,0	62,4	97,9
Achatamento	281,5	197,6	239,0

A comparação do caudal de ensaio dos furos das duas zonas permite ainda concluir: (1) há diferença significativa estatisticamente entre valores das médias para o nível de confiança de 95%; (2) há diferença significativa entre os desvios padrão para o nível de confiança de 95%; (3) o teste de Kruskal-Wallis para a mediana permite concluir que há diferença significativa entre as medianas para o nível de confiança de 95%.

Na AML, a distribuição do valor do caudal específico dos furos é representada na figura 8. Esta revela maior caudal específico dos furos localizados no sistema aquífero do Tejo-Sado/Margem Esquerda (*zona sul da AML*) e na *zona norte* quando localizados no “Sistema Aquífero do Tejo e Sado”. No extremo SW da zona sul, os caudais mais baixos respeitam a furos localizados na bordadura da bacia terciária e em formações mesozóicas da Arrábida.

O caudal específico (q) é definido pela relação $q = Q/s$, sendo Q o caudal de bombeamento e s o rebaixamento provocado pela extracção de Q . Este parâmetro é muitas vezes correlacionável com a transmissividade, dependendo das propriedades transmissivas do aquífero e também do caudal extraído e das características construtivas dos furos.

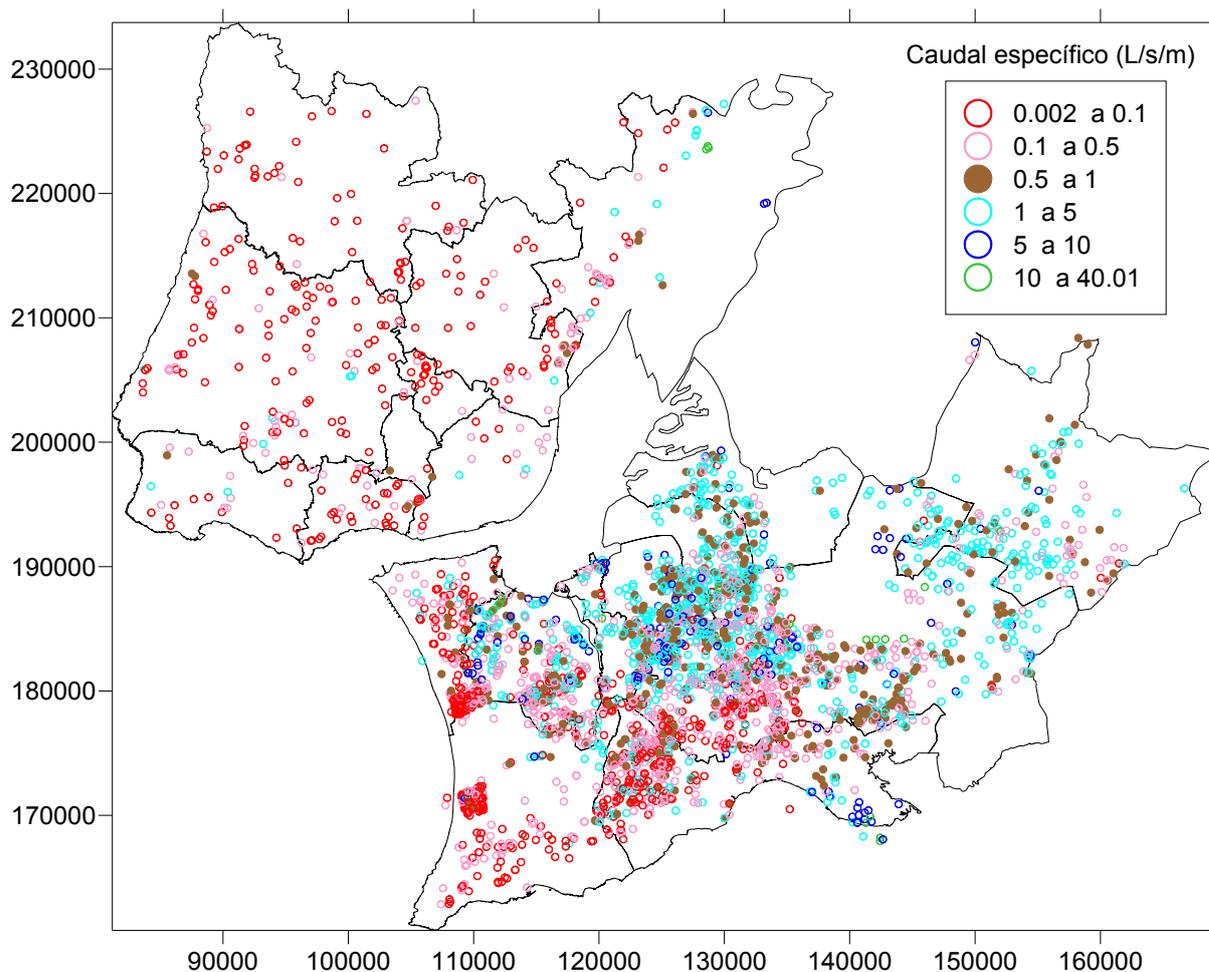


Figura 7 - Distribuição do valor do caudal específico dos furos na AML

As áreas onde os furos apresentam maior caudal específico correspondem a formações mais transmissivas. Isto é, as formações do “Sistema Aquífero do Tejo e Sado” são bastante mais transmissivas que as formações mesozóicas da Orla Ocidental e da Arrábida e as formações ígneas (“rochas duras”) do maciço eruptivo de Sintra.

Relembra-se que os valores apresentados são representativos dos furos considerados e não podem ser tomados como produtividade absoluta dos aquíferos ou unidades hidrogeológicas uma vez que, regra geral, não captam em toda a espessura do aquífero. Representam valores que, para a mesma tipologia de furos, permite caracterizar de forma relativa as características transmissivas das várias unidades hidrogeológicas.

No quadro 7, mostram-se as estatísticas sumárias do caudal específico dos furos localizados na AML. A tabela inclui medidas da tendência central, medidas da

variabilidade e medidas da forma. As medidas da forma indicam que há um significativo afastamento de uma distribuição normal nas três amostras.

A média, mediana, primeiro e terceiro quartil e valor máximo do caudal específico são maiores na *zona sul da AML*.

Quadro 7 - Estatísticas do caudal específico dos furos localizados na AML

	AML	Zona norte da AML	Zona sul da AML
Nº valores	3701	391	3310
Média	1,2	0,4	1,2
Mediana	0,4	0,1	0,5
Desvio padrão	2,1	1,3	2,2
Coef variação (%)	185,4	343,7	176,7
Mínimo	0,003	0,004	0,0
Máximo	40,0	12,3	40,0
Amplitude	40,0	12,3	40,0
Q1	0,1	0,03	0,2
Q3	1,3	0,2	1,4
Assimetria	136,0	54,9	126,7
Achatamento	665,7	212,8	613,8

A comparação do caudal específico dos furos das duas zonas permite ainda concluir: (1) há diferença significativa estatisticamente entre valores das médias para o nível de confiança de 95%; (2) há diferença significativa entre os desvios padrão para o nível de confiança de 95%; (3) o teste de Kruskal-Wallis para a mediana permite concluir que há diferença significativa entre as medianas para o nível de confiança de 95%.

A profundidade do nível hidrostático (NHE; Figura 9) é muito variável entre os dados disponíveis na base de dados. Entre outras causas salientam-se: a localização topográfica; os valores medidos pertencem a furos localizados em diferentes unidades aquíferas; na mesma unidade aquífera captam em sub-unidades distintas; as datas de medição estendem-se por um largo intervalo de anos e pelas quatro estações do ano. Apesar do referido, da figura 9 podem-se extrair algumas conclusões sobre as tendências gerais: (1) na zona central do vale do Tejo (sistemas aquíferos aluvionar e terciários) os furos têm o NHE mais próximo da superfície; (2) na *zona norte* da AML

em geral a profundidade do NHE é maior; (3) na zona sul da AML, à medida que se caminha para as zonas marginais da Bacia do Terciária do Tejo, a profundidade do NHE aumenta; (4) há áreas na parte baixa da *zona sul* onde o NHE é relativamente profundo devido à exploração do sistema aquífero.

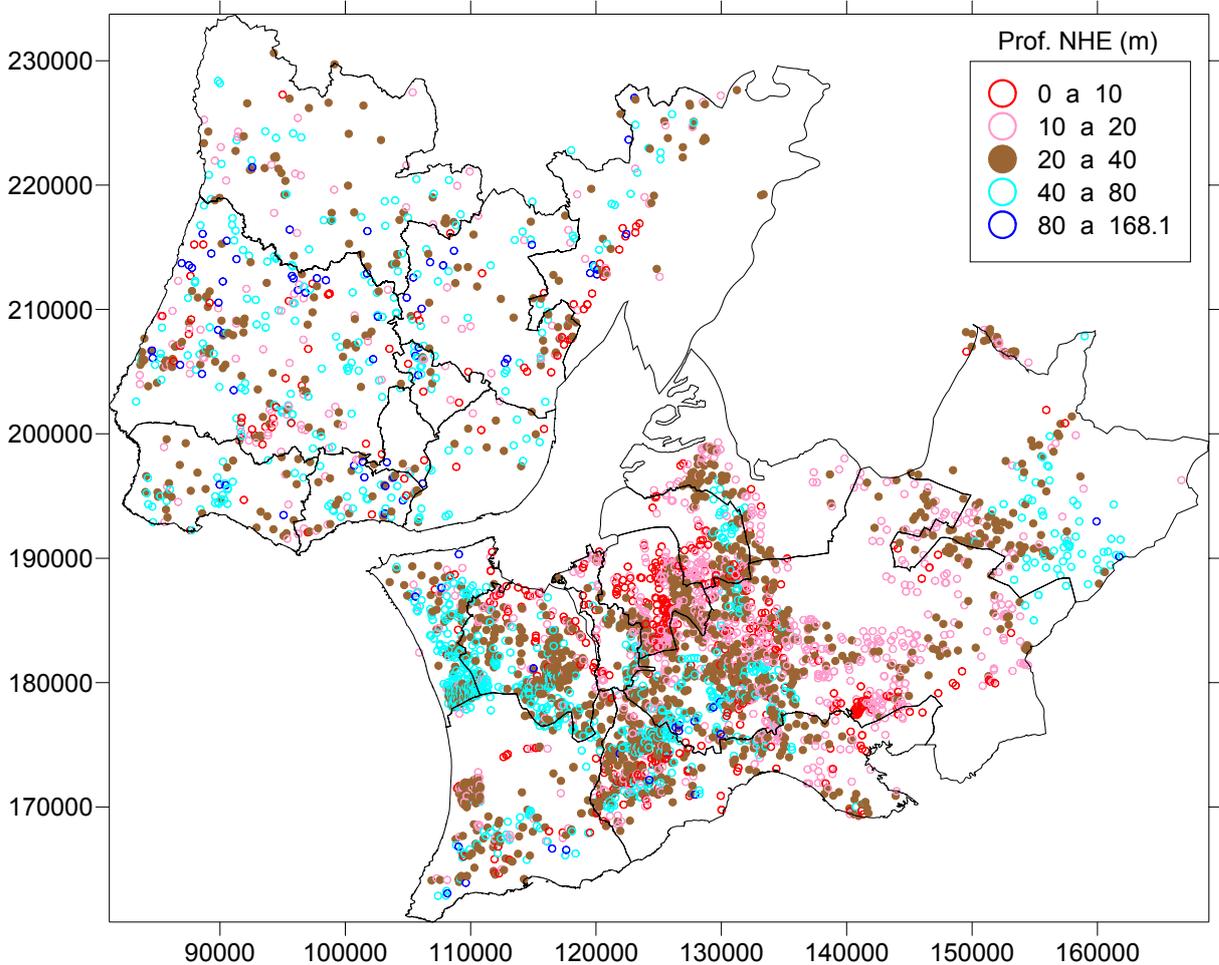


Figura 9 - Distribuição da profundidade do nível hidrostático (NHE) dos furos na AML

No quadro 8, mostram-se as estatísticas sumárias da profundidade do NHE dos furos localizados na AML. O quadro inclui medidas da tendência central, medidas da variabilidade e medidas da forma. As medidas da forma indicam que há um significativo afastamento de uma distribuição normal nas três amostras.

A média, mediana, primeiro e terceiro quartil e valor máximo da da profundidade do NHE são maiores na *zona norte da AML*.

Quadro 8 - Estatísticas da profundidade do NHE dos furos localizados na AML

	AML	Zona norte da AML	Zona sul da AML
Nº valores	4722	752	3970
Média	28,8	36,3	27,4
Mediana	25,0	30,1	24,0
Desvio padrão	18,8	25,3	16,9
Coef variação (%)	65,2	69,8	61,8
Mínimo	0,0	0,0	0,0
Máximo	168,0	168,0	134,0
Amplitude	168,0	168,0	134,0
Q1	15,0	18,0	15,0
Q3	40,0	50,0	36,0
Assimetria	35,1	14,0	23,6
Achatamento	40,9	12,8	13,9

A comparação do caudal específico dos furos das duas zonas permite ainda concluir: (1) há diferença significativa estatisticamente entre valores das médias para o nível de confiança de 95%; (2) há diferença significativa entre os desvios padrão para o nível de confiança de 95%; (3) o teste de Kruskal-Wallis para a mediana permite concluir que há diferença significativa entre as medianas para o nível de confiança de 95%.

Factores que condicionam a recarga das águas subterrâneas

A recarga das águas subterrâneas pode ser definida, num sentido geral, como o fluxo descendente de água que atinge a superfície freática e é acrescentada à zona saturada de água subterrânea. Pode ocorrer naturalmente com origem nas precipitações atmosféricas, na infiltração nos rios e canais, por exemplo, e como fenómeno induzido pelo homem através da irrigação e da recarga artificial de aquíferos. Em zonas urbanas, as perdas das redes de abastecimento de água podem ser uma contribuição muito importante para a recarga dos aquíferos.

O conceito de recarga, que será utilizado neste documento, inclui o fluxo descendente de água resultante das precipitações atmosféricas que atinge a superfície freática e é acrescentada à da zona saturada de água subterrânea (aquífero).

Na área de estudo, a recarga das águas subterrâneas faz-se principalmente pela infiltração directa das águas de precipitação no terreno. Presume-se que, em menor

escala, a recarga pode ocorrer pelo leito dos rios através das aluviões, nomeadamente no rio Tejo e seus afluentes.

O processo de recarga em geral é dificultado pelas condições de aridez que provocam défice hídrico expressivo e pelo carácter argiloso e siltoso das formações porosas ou compacto das rochas duras da zona vadosa.

Em situações similares de litologia do meio não saturado, quanto maior a profundidade da superfície freática maior será o tempo de trânsito das águas de infiltração até ao aquífero, o que pode influenciar a recarga efectiva.

Rushton (1988) *in* Simmers (1990) apresenta uma lista com os vários factores que afectam a recarga:

- à superfície do terreno: topografia, precipitação (volume, intensidade, duração e distribuição espacial), escoamento superficial, armazenamento nas depressões, evapotranspiração real, tipo de vegetação;
- irrigação: tipo e programa, preparação do terreno, perdas e desperdícios;
- rios: que atravessam a área de estudo, rios que se formam e saem da área de estudo, rios influentes e efluentes;
- solo: tipo, profundidade, propriedades hidráulicas, variabilidade espacial do solo e com a profundidade das raízes das plantas, fendas de retracção e expansão de minerais argilosos (*swelling*);
- zona não saturada entre o solo e o aquífero: mecanismos através da zona não saturada, zonas com diferentes valores de condutividade hidráulica;
- aquífero: capacidade do aquífero para aceitar a água, variações das condições do aquífero com o tempo.

Assim, uma distinção clara deve ser feita conceptualmente e para propósitos de modelação, entre a quantidade de água potencial disponível para recarga a partir da zona correspondente ao solo e a recarga subterrânea efectiva como foi antes definida.

Rushton (1988) *in* Simmers (1990) mostra que as duas quantidades podem diferir, devido à influência da zona não saturada ou por falta de capacidade de encaixe (armazenamento) do aquífero para o valor potencial ou disponível.

O conceito de recarga e os métodos de avaliação são largamente analisados por Oliveira (2004). Utilizando o conceito de volume de controlo e a lei da conservação da massa, este autor analisa o balanço de massa (balanço hídrico) para os vários compartimentos em que subdivide a coluna do meio natural onde ocorre o ramo subterrâneo do ciclo hidrológico:

- “o compartimento superior formado pela água de superfície (acima da superfície do terreno);

- um compartimento intermédio onde ocorre evapo(trans)piração a que se dá a designação geral de solo para traduzir a espessura de terreno sujeita a evapo(trans)piração;
- outro compartimento intermédio constituído pela zona vadosa abaixo do solo e que ocorre em profundidade até ao nível freático;
- o compartimento inferior constituído pela zona saturada”.

A distinção conceptual, e para propósito de modelação, da zona correspondente ao solo e a recarga subterrânea efectiva é bem evidente ao analisar-se o balanço hidrológico da camada de solo, considerando que o nível freático se encontra sempre abaixo da sua base, utilizado nos balanços hídricos sequenciais, e o balanço hídrico tomando o volume de controlo acima da zona saturada.

Utilizando a formulação de Oliveira (2004), o balanço hídrico sequencial a nível do solo, representado na figura 10 tem a equação seguinte:

$$\Delta A_I = A_{I \text{ fim}} - A_{I \text{ início}} = (I_s + E_{Ie} + H_{Ie}) - (I_p + E_{Is} + ETR) \quad \text{(Equação 1)}$$

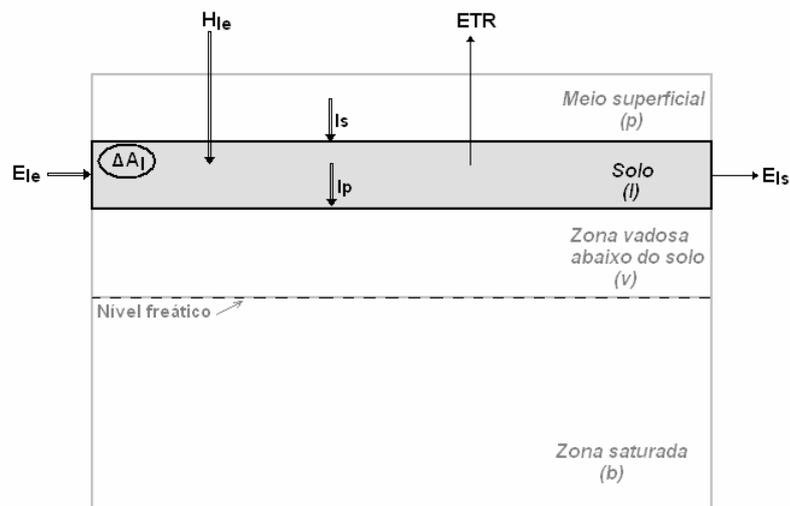


Figura 10 – Balanço hidrológico da camada de solo considerando que o nível freático se encontra sempre abaixo da base do solo (adaptado de Oliveira, 2004).

Tomando para volume de controlo os compartimentos acima da fronteira onde se define a recarga efectiva dos aquíferos (Figura 11) o balanço hídrico toma a expressão:

$$R = P + E_{pe} + E_{le} + E_{ve} + H_{ve} + H_{pe} + H_{le} + D - E_{vp} - E_{ps} - E_{ls} - E_{vs} - H_{ps} - ETR - \Delta A_p - \Delta A_l - \Delta A_v \quad \text{(Equação 2)}$$

Substituindo as componentes do balanço que correspondem ao valor de I_p na base do solo obtém-se a equação:

$$R = I_p + E_{ve} + H_{ve} - E_{vs} - \Delta A_v \quad \text{(Equação 3)}$$

Os índices presentes nas equações e na figuras representativas dos balanços têm o significado seguinte:

- P = precipitação, H = acções de origem humana, ETR = evapotranspiração, E = escoamento, Is = infiltração superficial, Ip = infiltração profunda, R = recarga, D = descarga, ΔA = variação do armazenamento.
- Os sub-índices têm o significado seguinte: p = superficial, l = solo, v = zona vadosa, e = entrada, s = saída.
- As setas significam: seta dupla = entrada, seta simples = saída.

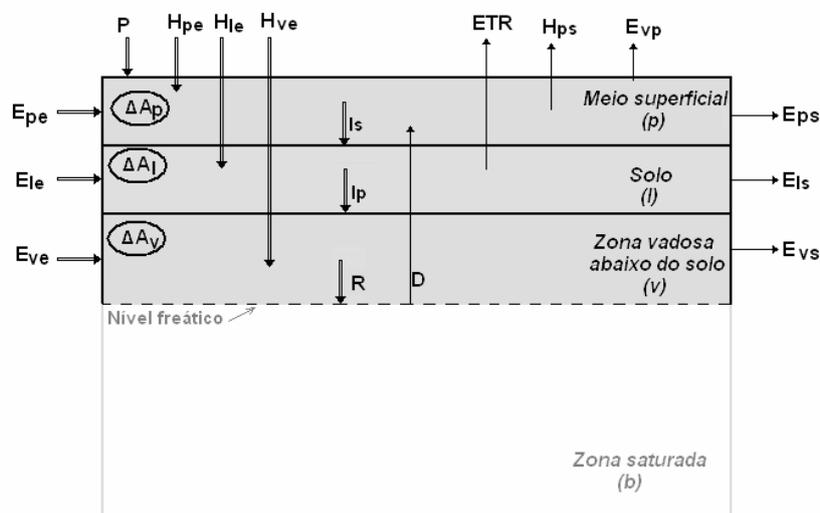


Figura 11 – Recarga tomando o volume de controlo acima da zona saturada (adaptado de Oliveira, 2004).

Segundo Rushton (2003) há duas alternativas metodológicas para a avaliação da redução da recarga devido à presença da zona vadosa: (1) utilizar um *factor* de

recarga para corrigir a recarga potencial conforme a natureza geológica da zona vadosa (trata-se de um método paramétrico, subjectivo); (2) usar a lei de Darcy para calcular o caudal que passa através da zona vadosa, multiplicando a estimativa da condutividade hidráulica vertical pelo gradiente hidráulico vertical.

O primeiro método é aplicável quando há dados sobre a espessura e a litologia da zona vadosa simultaneamente com informação acerca do escoamento superficial (*runoff*). Rushton (2003) propõe os factores de recarga típicos que se apresentam no quadro 9.

Quadro 9 – Factores de recarga típicos

Espessura/Natureza da zona vadosa	Areia	Areia argilosa	Argila arenosa	Argila
0 a 3 m	1,00	0,90	0,20	0,02
3 a 10 m	1,00	0,80	0,10	0,01
>10 m	1,00	0,60	0,03	0,00

A aplicação da lei de Darcy é ilustrada na Figura 12, no caso de um aquífero aluvionar recoberto por materiais de baixa permeabilidade.

Alguns exemplos esquemáticos tomados de ocorrências geológicas e hidrogeológicas na AML complementam os argumentos sobre a necessidade de distinção entre a quantidade de água potencial disponível para recarga a partir da zona correspondente ao solo e a recarga subterrânea efectiva.

Os exemplos que vão ser apresentados demonstram que o escoamento na zona vadosa é limitado por materiais menos permeáveis e a recarga no aquífero pode ter localização diferente da recarga a partir da base do solo e que, simultaneamente, é introduzido um atraso no tempo da recarga efectiva.

A figura 13 é a ilustração esquemática da intersecção de um aquífero suspenso pela superfície topográfica. É o mecanismo dominante e responsável por muitas das nascentes identificadas no plano da Bacia Hidrográfica do Tejo. O caudal e a perenidade da descarga (nascentes) dependem da extensão e volume do aquífero suspenso.

A ocorrência de um aquífero suspenso mostra que a água infiltrada à superfície é maior que aquela que se pode escoar verticalmente e que no caso (b) da Figura 12 a recarga aumenta com a bombagem do aquífero principal.

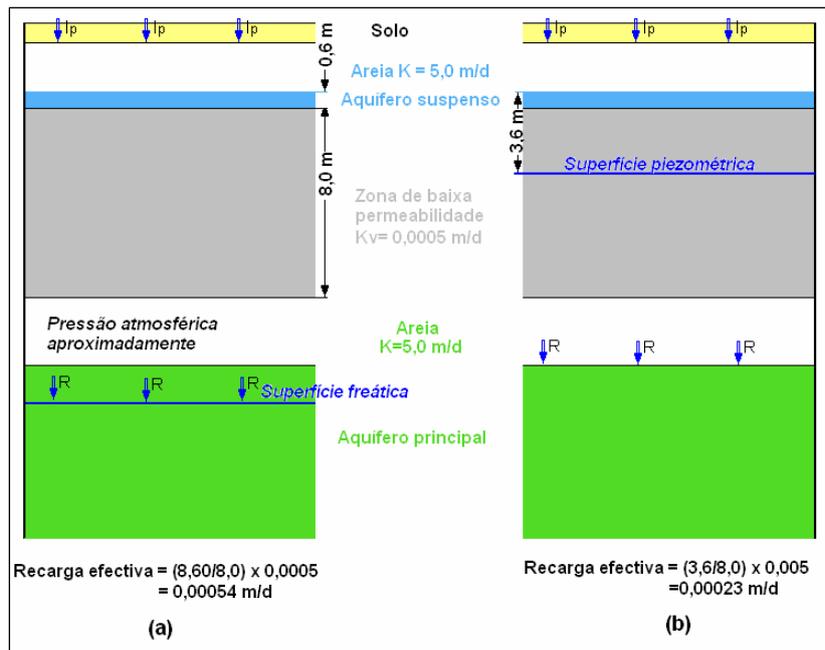


Figura 12 – Esquema demonstrando o efeito de camadas de baixa permeabilidade na zona vadosa na limitação da recarga dos aquíferos: (a) superfície freática no aquífero inferior (b) aquífero inferior confinado.

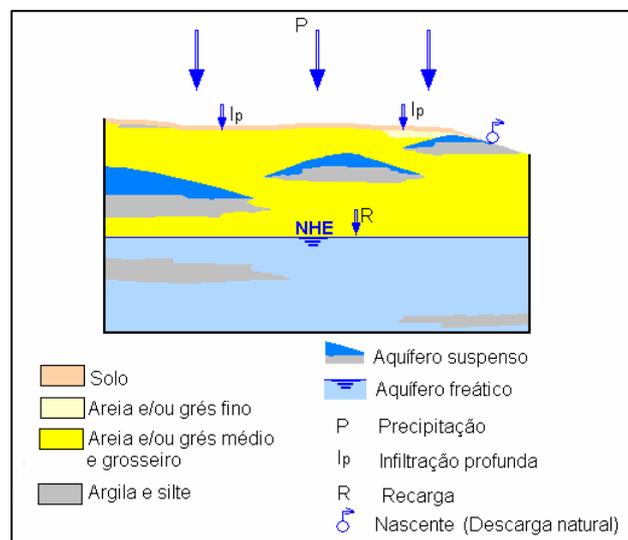


Figura 13 – Ilustração esquemática da descarga de aquífero suspenso, em que $R < I_p$

A Figura 14 esquematiza a situação mais frequente na relação entre o rio Tejo e o sistema aquífero aluvionar, a montante de Espadanal, onde na parte superior do

sistema aquífero dominam areias e materiais areno-argilosos. O rio é efluente e drena o aquífero. Embora $I_p \approx R$, a drenagem do rio diminui as disponibilidades hídricas subterrâneas, isto é, funciona como uma recarga negativa.

O exemplo esquematizado na Figura 15 é de uma situação inversa à anterior. Observa-se na época de águas altas no rio e conduz ao armazenamento de água no sistema aquífero por *bank storage* e transmissão da recarga para zonas mais afastadas das margens do rio. Na prática, a recarga do sistema aquífero nestes períodos de águas altas é superior ao valor de I_p .

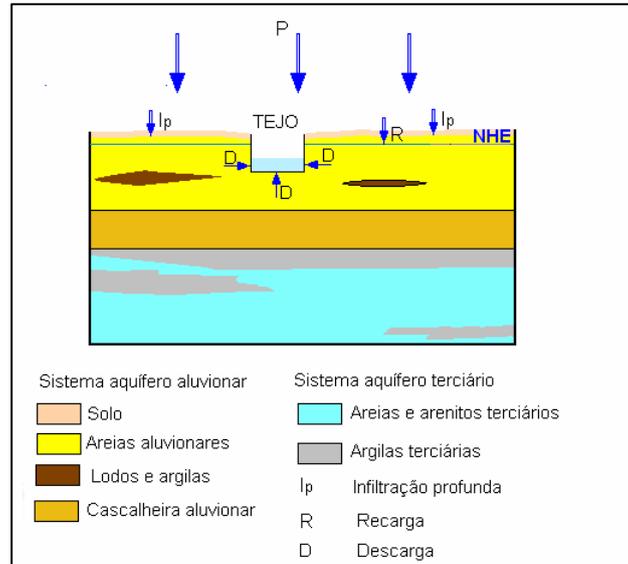


Figura 14 – Drenagem do Sistema Aquífero Aluvionar pelo rio Tejo.

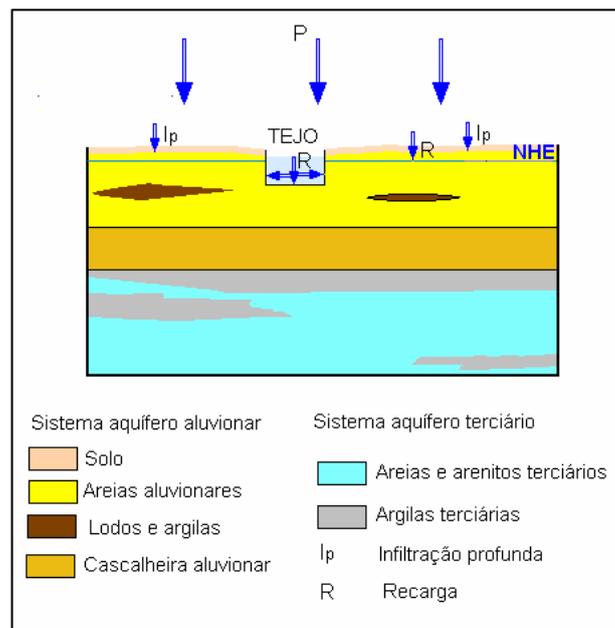


Figura 15 - Recarga do aquífero sendo a recarga efectiva maior que I_p por acréscimo de água de rio influente.

Outra situação que ocorre no Sistema Aquífero Aluvionar do Tejo, a jusante do Espadanal, e engloba toda a área do estuário na AML, é esquematizada na Figura 16. Cerca de três a quatro dezenas de metros de camadas de lodos e argilas com algumas intercalações de areias lodosas recobre a cascalheira de base (aquífero aluvionar) e a parte do sistema aquífero terciário da margem direita incluído na AML. Nestas circunstâncias a água das chuvas encharca e empapa o solo e evapora-se ou é drenada por valas superficiais. Tanto os valores da recarga superficial (I_p) como da recarga efectiva do aquífero são reduzidos.

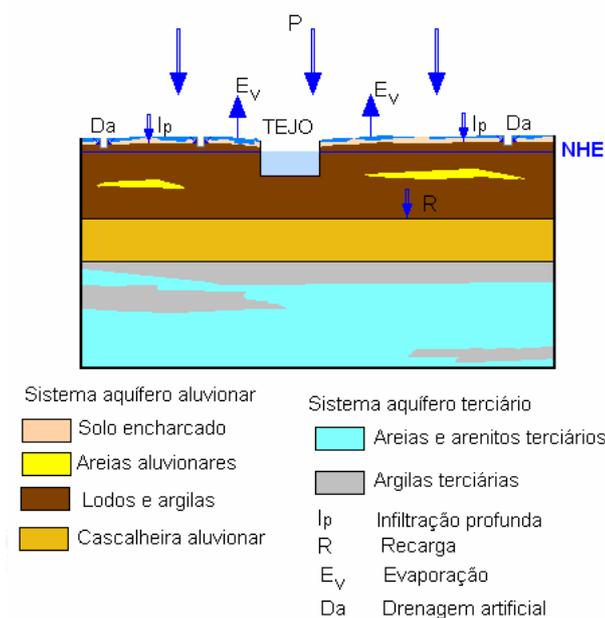


Figura 16 – Esquematização da recarga das águas subterrâneas na zona do estuário do rio Tejo.

Na Figura 17 esquematiza-se o mecanismo da recarga da água subterrânea nas rochas ígneas do maciço de Sintra e do Complexo Vulcânico de Lisboa (designadas muitas vezes por rochas duras ou por rochas fracturadas ou fissuradas). Em termos gerais, podem-se considerar como materiais com escassa aptidão hidrogeológica, pobres em recursos hídricos subterrâneos.

Trata-se de meios geológicos com permeabilidade em geral baixa, onde o escoamento e o armazenamento da água se fazem predominantemente nas fracturas. A condutividade hidráulica ou permeabilidade por fracturas depende, entre outros factores, da abertura e do tipo de enchimento.

A circulação nestes tipos litológicos é, na maioria dos casos, relativamente superficial, condicionada pela espessura da camada de alteração e pela rede de fracturas resultantes da descompressão dos maciços.

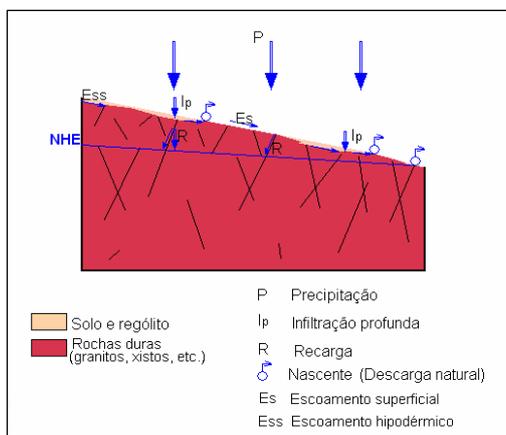


Figura 17 – Esquematisação do mecanismo de recarga em rochas fracturadas ou fissuradas.

A circulação faz-se sobretudo numa camada superficial, constituída por rochas alteradas ou mais fracturadas, devido à descompressão; os níveis freáticos acompanham de forma muito esbatida a topografia e o escoamento dirige-se em direcção às linhas de água, onde se dá a descarga.

Devido ao elevado contraste entre a permeabilidade do solo e do rególito e a permeabilidade da rocha subjacente, o escoamento sub-superficial ou hipodérmico tem a componente principal ao longo da superfície de descontinuidade daqueles meios.

O valor baixo da porosidade efectiva das fracturas e a concentração das chuvadas não permite muitas vezes o encaixe (armazenamento) da água potencialmente disponível para a infiltração profunda. Os níveis freáticos são normalmente muito sensíveis às variações observadas na precipitação.

Dados disponíveis sobre a recarga

Os elementos disponíveis sobre a recarga de água subterrânea na zona de jurisdição da CCDR de Lisboa e Vale do Tejo são de duas naturezas:

- a) Valores calculados a partir balanço sequencial diário no compartimento solo, utilizando o modelo BALSEC. Estes valores, em representação digital georeferenciada, são apresentados sob a forma de valores do parâmetro R (recarga profunda de aquíferos, *net recharge*, no original) do índice de

vulnerabilidade DRASTIC (Aller *et al.*, 1987). Na realidade, trata-se do valor de I_p na base do compartimento solo. A representação cobre as áreas dos Planos de Bacia Hidrográfica do Tejo, das Ribeiras do Oeste e do Sado (dados fornecidos pela CCDR-LVT).

- b) Valores de recarga nos sistemas aquíferos, utilizando uma metodologia em que o valor da precipitação anual média é multiplicado por um índice que reflecte a litologia e a geomorfologia do sistema aquífero e a produtividade das descargas naturais subterrâneas (dados recolhidos da bibliografia).

A distribuição apresentada dos valores calculados a partir do balanço sequencial diário no compartimento solo (Equação 1), utilizando o modelo BALSEC, assemelha-se muito à da precipitação atmosférica.

Apresenta algumas particularidades, que se designarão por contradições, para que os valores apresentados possam ser considerados como o valor da recarga efectiva das Equações 2 e 3.

Por exemplo, na área de jurisdição da CCDR-LVT, as áreas do Maciço Hespérico (granitóides, xistos e gneisses e rochas duras afins) pertencentes à sub-região do Médio Tejo apresentam índice de recarga de 8 e 9, valor muito elevado que é incompatível com as características destas rochas. Como segundo exemplo, pode-se considerar o valor do índice da recarga apresentado para os arenitos do Cretácico inferior do sistema aquífero de Ourém, que apresenta o valor 9 idêntico ao do sistema aquífero do Maciço Calcário Estremenho, e superior ao valor considerado para os sistemas aquíferos terciários do Tejo (margem Esquerda e margem Direita e sistema aquífero Aluviões do Tejo). Quanto às formações paleogénicas, regra geral muito pouco permeáveis, também apresentam índice de recarga máximo. Estas discrepâncias entendem-se porque os autores consideraram como recarga efectiva (R) o valor da recarga potencial (I_p).

As mesmas contradições ressaltam no mapa de “recarga profunda de aquíferos” apresentado no relatório do LNEC (Relatório 68/94 – GIAS) denominado “Síntese da caracterização e do mapeamento das águas subterrâneas em Portugal” onde praticamente toda a zona a norte do rio Tejo, com excepção de parte de Trás-os-Montes (Granitos, Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico e rochas duras afins) é considerada com o índice máximo de recarga (valor 9). Na zona NW de Portugal, em rochas graníticas, atingem-se valores de recarga potencial média superiores a 2000 mm/ano, valor que não pode ser considerado como de recarga das águas subterrâneas.

Vermeulen *et al.* (1993) entre as desvantagens deste método considera:

- “o declive não é incluído no cálculo do escoamento superficial (*surface runoff*);
- o método calcula a infiltração profunda e não conta com o efeito da possibilidade de camadas perturbarem (*disturbing layers*) o escoamento abaixo da zona de evapotranspiração. Exemplo: uma camada confinante pode provocar uma quantidade importante de escoamento sub-superficial (*subsurface runoff*) que é calculado como recarga do aquífero”.

Do exposto ressalta que o valor calculado da recarga, pelo método do balanço sequencial ao nível do solo, representa um valor potencial que é diferente do valor da recarga efectiva que atinge a superfície freática e que na aplicação da metodologia DRASTIC tem sido considerada erradamente como “recarga profunda de aquíferos” (*net recharge*, no original).

No Plano Nacional da Água (MAOT, 2002) apresenta-se a distribuição dos valores das Disponibilidades Hídricas Subterrâneas (DHS) de Portugal Continental resultantes da aplicação de métodos como o de balanços hídricos a nível do solo, o de balanços geoquímicos como o de cloretos, o de decomposição de hidrogramas e ainda métodos expeditos baseados em critérios puramente litológicos.

Os valores de DHS apresentam-se em $\text{hm}^3/\text{ano}/\text{km}^2$, tendo-se utilizado para o efeito um valor de recarga média anual e a área de afloramento do aquífero ou formação hidrogeológica. Isto é, os valores apresentados correspondem aos valores de recarga anual expressos em m/ano.

Os dois métodos mostram algumas divergências importantes entre as quais os valores calculados das DHS/recarga em aquíferos cársicos (Maciço Calcário Estremenho, Sicó-Alvaiázere e Ota-Alenquer) e nas formações cristalinas do Maciço Hespérico.

Almeida *et al.* (2002) fazem a delimitação e a caracterização dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. Incluídas na caracterização e nas secções dedicadas ao balanço hídrico de cada sistema, encontram-se estimativas de valores médios da recarga pelas precipitações atmosféricas. Os valores são estimados a partir da precipitação anual média em função da litologia e da geomorfologia, da produtividade das descargas naturais subterrâneas, da concentração de cloretos da água, da produtividade e rendimento dos furos de captação e da decomposição de hidrogramas.

Para os aquíferos incluídos na área da AML, os valores estimados transcrevem-se no Quadro 10.

Quadro 10- Estimativas dos valores médios dos sistemas aquíferos da área de estudo
(Almeida *et al.*, 2000)

Unidade hidrogeológica	Classificação do INAG	Denominação	Tipo	Valor médio da Recarga (mm/ano)
Orla Ocidental	O28	Pisões-Atrozela	Cársico	220
Bacia Tejo-Sado	T1	Margem Direita (não aflorante na AML)	Detrítico	130-180
	T3	Margem Esquerda		160
	T7	Aluviões do Tejo na AML		<50

5.2. Metodologia adoptada para o cálculo da recarga efectiva

Tendo por fundamento o atrás exposto, nomeadamente:

- a distinção clara que deve ser feita conceptualmente, e para propósitos de modelação, entre a quantidade de água potencial disponível para recarga a partir da zona correspondente ao solo e a recarga subterrânea efectiva como foi antes definida;
- os factores que condicionam o escoamento na zona vadosa;
- os elementos disponíveis, nomeadamente sobre a recarga potencial (I_p);

vai-se utilizar um método paramétrico de cálculo de um índice de infiltração efectiva.

O índice corresponde à média ponderada de 3 parâmetros:

1. **Recarga potencial** (I_p) calculada a nível do solo, utilizada na determinação do índice de vulnerabilidade à poluição, e de que se dispõe de cartografia dos valores calculados por balanço sequencial diário (Quadro 11). A cartografia disponível considera os valores deste parâmetro utilizados no cálculo do valor DRASTIC.

Quadro 11 – Recarga potencial ao nível do solo

Recarga potencial (mm/ano)	<51	51-102	102-178	178-254	>254
Índice	1	3	6	8	9

2. **Declive da superfície topográfica (D).** O declive da superfície topográfica intervém na medida que promove o escoamento lateral (hipodérmico ou sub-superficial) ao nível do contacto do solo ou do rególito com a rocha subjacente. Aos declives maiores correspondem geralmente vales mais profundos e intersecção da superfície topográfica com maior espessura da zona vadosa, a que corresponde maior probabilidade de drenar aquíferos suspensos e, em geral, escoamentos sub-superficiais. Considerar-se-ão também os índices utilizados na metodologia DRASTIC (Quadro 12).

Quadro 12 – Declive da superfície topográfica

Declive (%)	<2	2-6	6-12	12-18	>18
Índice	10	9	5	3	1

3. **Litologia e estrutura da zona vadosa (ZV).** Como se viu este é o factor mais importante que condiciona a recarga efectiva e a diferenciação com o conceito de recarga potencial. Este parâmetro tomará valores de 1 a 10 e reflecte a natureza e a permeabilidade vertical da zona vadosa nas formações hidrogeológicas da AML (Quadro 13). É um índice que, tal como em todas as metodologias paramétricas, tem um carácter subjectivo baseado na experiência pessoal do signatário e de outros técnicos que foram convidados a pronunciar-se. Indica-se o valor utilizado e entre parêntesis o intervalo de variação.

Quando a zona vadosa é areia grosseira limpa ou calcário muito carsificado o valor da recarga efectiva é igual ao da recarga potencial (I_p) e o índice toma o valor 10. Para zonas vadosas de muito baixa permeabilidade, como lodos e argilas, toma o valor 1. Outra situação limite que toma o valor 1 é quando a superfície freática no aquífero principal tem a mesma cota que a superfície da água no solo.

O índice de recarga efectiva (IR_{ef}) toma a forma de uma média ponderada, calculado através da seguinte expressão:

$$IR_{ef} = (1 \times Ip + 1 \times D + 3 \times ZV) / 5$$

(Equação 4)

Ip representa a recarga potencial (parâmetro R do índice DRASTC tal como foi calculado para as bacias hidrográficas do Tejo, das ribeiras do Oeste e do Sado), D é o declive da superfície topográfica e ZV representa o índice da litologia e estrutura da zona vadosa.

IR_{ef} toma o valor mínimo de 1 e o valor máximo de 9,8. Os valores calculados são agrupados em 10 classes (de 1 a 10): a atribuição da classe corresponde ao arredondamento do valor do IR_{ef} para o inteiro mais próximo; a classe 1 diz respeito à situação de recarga efectiva mínima e a classe 10 indica a situação hidrogeológica com maior capacidade de recarga efectiva (Figura 18). Na Figura 18 estão igualmente representados os limites dos sistemas aquíferos ou de parte de outros sistemas aquíferos incluídos na área da AML.

Para a identificação e cartografia, à escala regional, das áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos (Anexo 3) foi aplicada a seguinte metodologia:

- (i) À partida, apenas foram considerados os sistemas aquíferos, identificados pelo INAG, pertencentes à AML (T1, T3 e T7 da Bacia Sedimentar do Tejo e O28 da Orla Sedimentar Ocidental), pelo que, as áreas com índices de recarga efectiva elevados, desde que não coincidam com os afloramentos dos sistemas aquíferos referidos, foram excluídas;
- (ii) para efeitos de inclusão na REN foram seleccionadas: a) as classes 8 e 9 do Índice de Recarga Efectiva (IR_{ef}), independentemente do declive; b) as classes 6 e 7 do IR_{ef} , apenas em terrenos com declive < 6%;
- (iii) em seguida, cruzaram-se os afloramentos de (i) e (ii);
- (iv) de forma a melhorar visualmente os resultados à escala regional, foram eliminadas todas as manchas com áreas inferiores a um hectare, consideradas pouco relevantes a esta escala de apresentação.

Quadro 13 – Índices atribuídos à zona vadosa das várias litologias presentes na AML

Litologia da zona vadosa	Índice
Aluviões (lodos e argila)	1
Aluviões (arenosos)	7 (6-8)
Arenitos de Ulme	6 (3-6)
Argilas de Tomar	5
Belasiano	3,5 (3-4)
Brechas vulcânicas	3
Calcários do Dogger	6
Camadas de Alfeite	6 (5-7)
Complexo de Benfica	3
Complexo Vulcânico de Lisboa	2
Cretácico inferior da Arrábida	4 (3-5)
Cretácico inferior de Sintra-Cascais	5 (3-5)
Cretácico inferior orla ocidental	5 (3-5)
Cretácico médio	6 (4-6)
Depósitos arenosos da Estremadura	4
Dunas	8 (8-10)
Filões e chaminés vulcânicas	2
Formação de Alcácer do Sal	7 (6-8)
Formação da Marateca	6 (5-7)
Formação de Dagorda	1
Gabros e outras rochas básicas	3
Granitos	2
Jurássico inferior	6
Jurássico superior	4 (3-5)
Miocénico de Lisboa	4 (3-5)
Planos de água	0
Sienitos	2
Terraços arenosos	6 (6-8)
Terraços, areias e cascalheiras	6 (6-8)
Titoniano da Orla Ocidental (Sistema aquífero Atrozela)	6

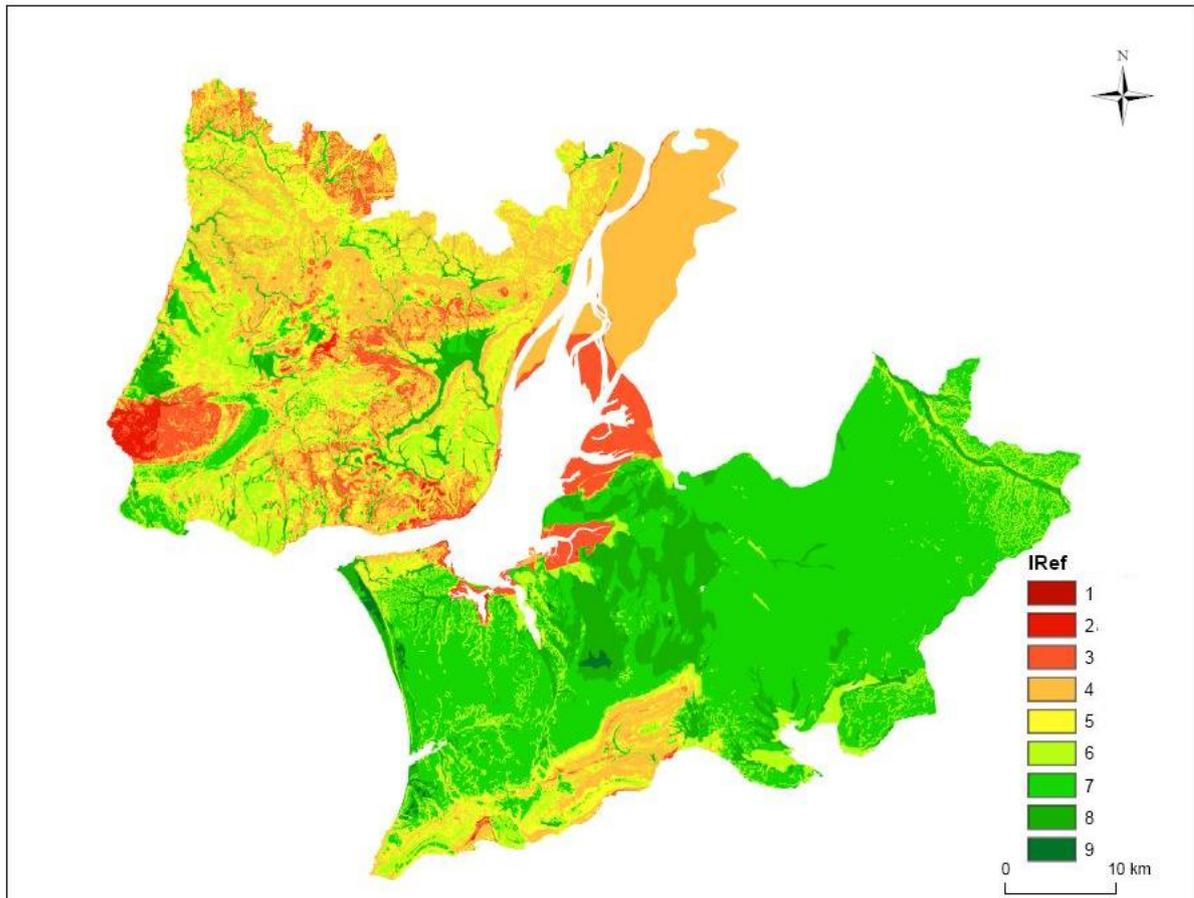


Figura 18 – Índice de recarga efectiva.

5.3. Definição regional das áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos

Do ponto de vista das áreas de protecção e recarga de aquíferos, a AML apresenta um grande contraste entre as sub-regiões da Grande Lisboa (zona norte da AML) e da Península de Setúbal (zona sul da AML). Esta última tem uma importância estratégica vital, a nível nacional, do ponto de vista dos recursos hídricos subterrâneos, uma vez que se estende pela Bacia Sedimentar do Tejo.

De facto, cerca de 39 % da área da AML é área estratégica de protecção e recarga de aquíferos. Dos 18 concelhos que a constituem, 6 não dispõem, nos respectivos territórios, de qualquer sistema aquífero (Quadro 14). Na situação oposta encontram-se os concelhos com áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos que ocupam mais de metade do respectivo território: Alcochete, Almada, Barreiro, Moita, Montijo, Palmela e Seixal; e com quase metade, os concelhos de Sesimbra e Setúbal (Anexo 3).

O concelho de Vila Franca de Xira, cuja superfície está coberta por aluviões com grande espessura de lodos na área das lezírias, embora se estenda pelos três sistemas aquíferos do Tejo não faz parte da área estratégica de protecção e recarga dos aquíferos da AML. Os nove concelhos da Península de Setúbal abrangem apenas parte do sistema aquífero Tejo/Margem Esquerda (T3).

Quadro 14 – Distribuição geográfica dos sistemas aquíferos por concelho na AML

Concelhos	Nº de sistemas aquíferos	Classificação do INAG	Denominação	Tipo de aquífero
Alcochete	1	T3	Margem esquerda do Tejo	Detrítico
Almada	1	T3	Margem esquerda do Tejo	Detrítico
Amadora	0	--	--	--
Barreiro	1	T3	Margem esquerda do Tejo	Detrítico
Cascais	1	O28	Pisões-Atrozela	Cársico
Lisboa	0	--	--	--
Loures	0	--	--	--
Mafra	0	--	--	--
Moita	1	T3	Margem esquerda do Tejo	Detrítico
Montijo	1	T3	Margem esquerda do Tejo	Detrítico
Odivelas	0	--	--	--
Oeiras	0	--	--	--
Palmela	1	T3	Margem esquerda do Tejo	Detrítico
Seixal	1	T3	Margem esquerda do Tejo	Detrítico
Sesimbra	1	T3	Margem esquerda do Tejo	Detrítico
Setúbal	1	T3	Margem esquerda do Tejo	Detrítico
Sintra	1	O28	Pisões-Atrozela	Cársico
Vila Franca de Xira	3	T1	Margem Direita Tejo (não aflorante)	Detrítico
		T3	Margem Esquerda Tejo (não aflorante)	Detrítico
		T7	Aluviões do Tejo	Detrítico

Para que a protecção das águas subterrâneas seja eficaz é necessário que as medidas para a sua gestão integrada sejam aplicadas pelos concelhos sobre a supervisão da autoridade de gestão dos recursos hídricos territorialmente competente. Na Figura 19 apresenta-se a delimitação das áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos.

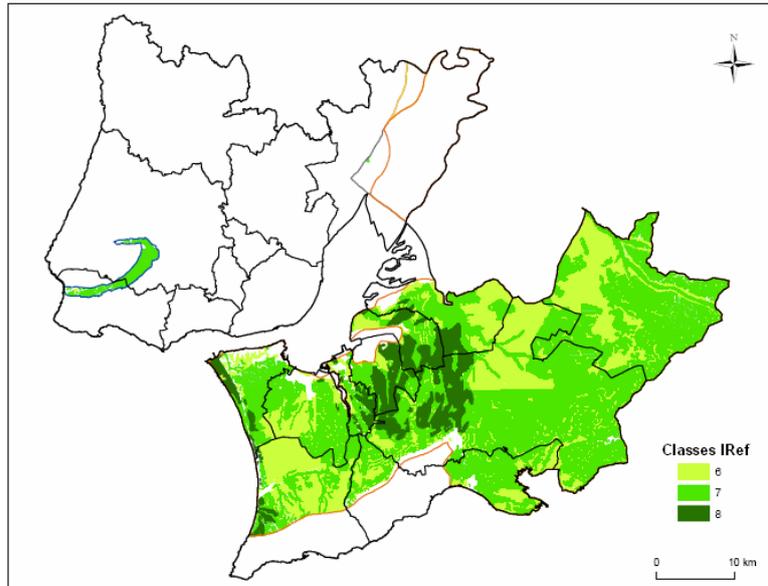


Figura 19 - Áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos na AML

5.4. Recomendações para a delimitação da REN municipal

Como se disse, a área da AML compreende unidades aquíferas que não foram incluídas em sistemas aquíferos individualizados, porque as características hidráulicas não o justificam ou pela reduzida dimensão ou volume das formações aquíferas.

Um sistema aquífero representa uma unidade hidrogeológica de importância local e/ou regional de onde se pode retirar água em condições técnico-económicas aceitáveis. Significa isto que tem capacidade de armazenamento e de transferência de massa e energia para além de trocas físico-químicas entre a matriz do reservatório e a água subterrânea. Em certas circunstâncias, o reservatório desempenha igualmente uma acção hidrobiológica.

Assim, para que o ciclo hidrológico prossiga no ramo subterrâneo é necessário que a água se infiltre à superfície e recarregue os aquíferos.

O índice de recarga que aqui se apresenta é delimitado à escala regional pelo que as equipas dos PDM não o podem ampliar para a escala municipal; ou seja, a cartografia geológica a considerar, a esta escala (1:25 000 ou 1:50 000), permitirá definir com maior rigor os afloramentos e limites litológicos e, como tal, as áreas estratégicas de protecção e recarga dos aquíferos a integrar na REN. Dito isto, propõem-se as recomendações seguintes:

(i) Por princípio, todas as áreas de afloramento dos sistemas aquíferos, definidos pelo INAG, são zonas de recarga de unidades hidrogeológicas onde as Disponibilidades Hídricas Subterrâneas têm importância estratégica regional e, nalguns casos, nacional (sistemas aquíferos da Bacia do Tejo), pelo que devem ser obrigatoriamente consideradas na delimitação desta componente da REN à escala municipal.

(ii) As áreas com valores de IR_{ef} de 8 (valor máximo calculado), com poucas exceções, a escala maior (1/25.000 ou 1/50.000), devem ser consideradas REN quanto ao parâmetro recarga profunda de aquíferos.

(iii) As zonas com IR_{ef} 6 a 7 correspondem a afloramentos dos grandes aquíferos portugueses (Bacia do Tejo/Margem Direita (em pequena extensão) e Bacia do Tejo/Margem Esquerda). Nestes sistemas aquíferos a escala maior (1/25.000 ou 1/50.000) será possível distinguir zonas de afloramento de litologias diversas, umas arenosas, outras areno-argilosas e outras argilosas. Declive elevado (>6 %), a presença aflorante de argilas e de nascentes de aquíferos suspensos são indicadores de áreas de menor recarga efectiva dos aquíferos, que a essa escala poderão não ser incluídas na REN no que respeita ao parâmetro recarga profunda de aquíferos.

(v) As zonas com IR_{ef} 5 não incluídas em sistemas aquíferos, por princípio, podem não ser incluídas na REN quanto ao parâmetro recarga profunda de aquíferos. Deverão sê-lo no caso de afloramentos em zonas carbonatadas com carsificação, onde se identifiquem perdas concentradas de águas superficiais, ou que sejam zona de recarga de nascentes com interesse regional ou municipal.

(vi) As zonas com IR_{ef} 4 ou inferior, por princípio, não devem ser consideradas REN quanto a este parâmetro. Nesta categoria, incluem-se as aluviões do Tejo que a jusante de Espadanal (Azambuja) apresentam algumas dezenas de metros de lodos e argilas por vezes com intercalações de areias lodosas, que recobrem o aquífero da base, constituído por areia com seixo e calhau. A escala maior (1/25.000 ou 1/50.000), as zonas com exocarso que incluam locais de infiltração concentrada de água (algares e sumidouros), devem ser incluídas na REN.

III - ÁREAS DE PREVENÇÃO DE RISCOS NATURAIS

1. Zonas adjacentes

As zonas adjacentes são áreas contíguas à margem que como tal seja classificada por um acto regulamentar, por se encontrar ameaçada pelo mar ou pelas cheias. (...) A delimitação das zonas adjacentes é feita desde o limite da margem até uma linha convencional, definida caso a caso no diploma de classificação, que corresponde à linha alcançada pela maior cheia, com período de retorno de 100 anos, ou à maior cheia conhecida, no caso de não ser possível identificar a anterior (alínea a, Secção III, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

Dada a exiguidade da escala regional (1:200 000) esta componente não foi considerada.

2. Zonas ameaçadas pelo mar não classificadas como zonas adjacentes nos termos da Lei da Titularidade dos Recursos Hídricos

2.1. Metodologia utilizada

As zonas ameaçadas pelo mar são áreas contíguas à margem das águas do mar que, em função das suas características fisiográficas e morfológicas, evidenciam elevada susceptibilidade à ocorrência de inundações por galgamento oceânico. (...) A delimitação das zonas ameaçadas pelo mar deve incluir as áreas susceptíveis de serem inundadas por galgamento oceânico e contemplar todos os locais com indícios e ou registos de galgamentos durante episódios de temporal (alínea b, Secção III, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

Para a identificação e cartografia das áreas afectadas por galgamentos oceânicos foi utilizada a fotografia aérea digital (célula de 0,5 m), georeferenciada e ortorectificada, obtida em Setembro de 2004.

Este item da REN é particularmente difícil de detectar e cartografar à escala regional, uma vez que os galgamentos oceânicos são, quase sempre, muito circunscritos ao longo da linha de costa; além disso, os seus vestígios dependem do tempo ocorrido desde a última situação de tempestade no mar e podem desaparecer da paisagem pela intervenção humana. Contudo, através da utilização das fotografias aéreas digitais, foram seleccionados, para a detecção dos galgamentos, os troços costeiros constituídos por praias: (i) sem arribas para o interior; (ii) com dunas para o interior e

(iii) com faixa terrestre de protecção costeira. Nestes troços foi possível identificar alguns locais com indícios de galgamentos oceânicos particularmente relevantes.

2.2. Definição regional das zonas ameaçadas pelo mar

Os locais afectados por galgamentos oceânicos situam-se, essencialmente, em linhas de costa baixas e arenosas, com praias estreitas, ou na embocadura de cursos de água, situação que favorece este tipo de fenómeno. Estes locais são visíveis em todos os concelhos do litoral da AML (Mafra, Sintra, Cascais, Almada, Sesimbra e Setúbal), mas são particularmente graves e numerosos no concelho de Almada (Anexo 4).

2.3. Recomendações para a delimitação da REN municipal

Na detecção das zonas ameaçadas pelo mar, propõem-se as seguintes recomendações:

i) o levantamento destas situações deve obedecer ao exposto em CCDR-LVT (2009), ou seja, além da detecção das ocorrências recentes, através de ortofotomapas de escala adequada, deve-se proceder, igualmente, ao levantamento de ocorrências anteriores e ao reconhecimento de campo.

ii) nos locais susceptíveis a galgamentos oceânicos deve-se propor uma faixa de protecção, a incluir na REN, adequada à largura e profundidade dos galgamentos.

3. Zonas ameaçadas pelas cheias não classificadas como zonas adjacentes nos termos da Lei da Titularidade dos Recursos Hídricos

3.1. Metodologia utilizada

As zonas ameaçadas pelas cheias compreendem a área contígua à margem de um curso de água que se estende até à linha alcançada pela cheia com período de retorno de 100 anos ou pela maior cheia conhecida, no caso de não existirem dados que permitam identificar a cheia centenária. (...) A delimitação das zonas ameaçadas pelas cheias deve incluir as áreas susceptíveis de inundação causadas por transbordo da água do leito de rios e cursos de água devido à ocorrência de caudais elevados, efectuada através de modelação hidrológica e hidráulica que permita o cálculo das

áreas inundáveis com período de retorno de pelo menos 100 anos, da observação de marcas ou registos de eventos históricos e de dados cartográficos e de critérios geomorfológicos, pedológicos e topográficos (alínea c, Secção III, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

Na AML existem dois grandes tipos de cheias, quanto à velocidade de progressão (Ramos e Reis, 2001): cheias rápidas (ou repentinas) e cheias lentas (ou progressivas). Estas últimas são típicas do Rio Tejo e estão muito dependentes da regularização introduzida pelas barragens (no caso do Vale do Tejo, essencialmente das barragens de Alcântara e Castelo do Bode). As cheias lentas influenciam não só o fundo do vale do Tejo, mas também os fundos de vale dos troços terminais dos seus afluentes, que o Tejo por vezes invade (neste caso, e em termos hidrológicos, são designadas como “cheias de jusante”).

As cheias rápidas influenciam bacias hidrográficas de pequena a média dimensão, podendo ser mortíferas, porque ocorrem repentinamente e são mais difíceis de prever. As pequenas e médias ribeiras afectadas por estas cheias são também as que, ou não têm dados hidrométricos, ou têm séries de registos muito curtas e, por isso, pouco fiáveis.

Neste contexto, utilizaram-se duas metodologias diferentes para a representação cartográfica das cheias à escala regional (Anexo 4). Para a delimitação das zonas ameaçadas pelas cheias (ZAC) do Vale do Tejo e troços terminais dos seus afluentes (que aqui designaremos por cheias do tipo 1) seguiu-se o disposto na Lei da Água (Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro), artigo 4.º, alínea ggg). Concretamente, foram utilizadas as cotas atingidas pela ponta de cheia de Fevereiro de 1979 (a maior cheia registada no século XX, no vale do Tejo). Para a cartografia das cheias nos restantes fundos de vale, foram representados os troços afectados pelas cheias, e não as ZAC propriamente ditas, nos casos de vales de fundo estreito, uma vez que a sua delimitação só é possível a uma escala 1:25.000 ou superior. Nos casos dos fundos de vale de fundo largo, foram cartografadas as ZAC, a partir da delimitação das respectivas planícies aluviais.

No mapa do Anexo 4, além das ZAC pertencentes às cheias do tipo 1, estão ainda diferenciados dois tipos de troços afectados pelas cheias:

(i) Troços mais extensos, coincidentes com os definidos na carta de riscos do PROT-AML, que utiliza critérios geomorfológicos (neste caso, a existência de planícies aluviais, construídas pelos cursos de água, cheia após cheia, com a deposição das aluviões). Este critério, que está de acordo com CCDR-LVT (2009) para as áreas não urbanas, define basicamente a cheia máxima provável (cheias do tipo 2).

(ii) Troços de menor extensão, que são afectados por cheias frequentes, ou seja, que ocorreram várias vezes no último século, e que, pela sua posição nos troços jusante dos cursos de água, atingem caudais mais elevados e, como tal, apresentam uma maior perigosidade (cheias do tipo 3). A definição destes troços foi feita a partir da metodologia que a seguir se descreve, ponderada com o conhecimento de campo da equipa responsável por este relatório.

A identificação das zonas ameaçadas por cheias baseou-se na integração de três tipos de factores:

- (i) valor da área de drenagem acumulada para cada célula, ou seja, número de células que drenam para um determinado ponto da bacia hidrográfica;
- (ii) valor do declive médio da área que drena para cada uma das células;
- (iii) valor médio da permeabilidade relativa da área que drena para cada uma das células.

Estes três parâmetros permitem a construção de um modelo simplificado, mas suficientemente eficaz à escala regional, em que estão presentes os principais factores geomorfológicos que identificam a presença de condições favoráveis à ocorrência de cheias. A área de drenagem fornece uma indicação do volume de água potencial acumulado em cada célula; a permeabilidade dá uma noção da importância da água temporariamente retida na bacia hidrográfica, que não contribui, portanto, para o escoamento directo; e o declive médio traduz o dinamismo (velocidade) do escoamento da água.

A não utilização das variáveis relativas à precipitação e à ocupação do solo tem, neste contexto regional, uma explicação evidente. Sendo a área da AML constituída por muitas e variadas bacias hidrográficas, com dimensões bastantes distintas, haveria a necessidade de incorporar informação pluviométrica com extensão temporal que, de alguma forma, tivesse relação com o tempo de concentração de cada uma dessas unidades. Sendo tal inviável, devido à inexistência desta informação para o conjunto da região da AML, e à desadequação desta metodologia a esta escala regional, optou-se por considerar esta variável com valor uniforme ao longo da área de estudo.

Por outro lado, a ocupação do solo é aqui assumida como uma variável que, embora interfira no comportamento dos caudais de ponta, deve ser tratada como uma componente do ordenamento e gestão das bacias hidrográficas. O modelo assume, assim, a inexistência do efeito do coberto vegetal, visto que a sua introdução, devido às grandes alterações a que esta variável está sujeita ao longo de curtos espaços de tempo (plantações, desmate, corte, incêndios, etc.), rapidamente introduziria desadequações nos resultados obtidos. Todavia, devido à existência de uma fracção importante do território da AML sujeita a impermeabilização, a ocupação do solo foi

utilizada para modificar os valores de permeabilidade relativa presentes no quadro 2. Deste modo, independentemente das formações geológicas presentes, foi atribuído um valor 0 de permeabilidade relativa às áreas com ocupação urbana contínua e o valor 1 às áreas com ocupação urbana descontínua.

Assim, a partir da integração dos três parâmetros (área de drenagem, declive médio e permeabilidade relativa média), devidamente padronizadas, foi obtida uma expressão empírica que identifica os troços afectados por cheias. Os resultados obtidos foram comparados e validados com base nas ocorrências de situações de cheias e inundações (troços e pontos críticos) conhecidas no território da AML.

3.2. Definição regional das zonas ameaçadas pelas cheias

Na AML destacam-se, pela extensão que ocupam (cerca 340 km²), as zonas ameaçadas por cheias lentas dos Vales do Tejo e Sado e troços terminais dos seus afluentes. De todos os concelhos, salienta-se Vila Franca de Xira, em que mais de metade do seu território se encontra em área inundável pelas cheias lentas do Tejo (Anexo 4).

As cheias rápidas ocupam cerca de 40 km² na AML. Os concelhos mais afectados são Loures e Odivelas, que têm cerca de 10% do seu território em área inundável por cheias rápidas (Bacia do Rio Trancão; Anexo 4). À escala regional, existem cerca de 460 km de troços fluviais com susceptibilidade de serem afectados por cheias rápidas, sendo que, destes, cerca de 180 km são frequentemente afectados por estas cheias (Anexo 4).

No Quadro 15 indicam-se os tipos de cheias que afectam cada concelho e sintetizam-se, também para cada concelho, os cursos de água frequentemente afectados por cheias (cheias do tipo 3 e/ou do tipo1), que é possível individualizar à escala regional (1:200.000). As designações dos cursos de água estão de acordo com D.G.R.A.H. (1981) – *Índice hidrográfico e classificação decimal dos cursos de água de Portugal continental*.

3.3. Recomendações para a delimitação da REN municipal

A definição das ZAC concelhias deverá obedecer aos critérios de delimitação propostos em CCDR-LVT (2009). Como tal, a metodologia a aplicar na definição das ZAC, nos termos referidos naquele documento, não é mesma. Assim, e citando:

“(i) em situações de risco, quando possa ser posta em causa a segurança de pessoas e bens, designadamente, aglomerados populacionais, áreas de implantação de actividades económicas, travessias viárias ou outras infra-estruturas hidráulicas, a delimitação da zona ameaçada pelas cheias deverá ser sempre apoiada em modelação hidrológica e hidráulica, a realizar para a secção ou secções do curso de água associadas a esse risco;

ii) nas áreas onde não se perspetive a existência de risco para pessoas e bens, a delimitação das zonas ameaçadas pelas cheias pode resultar apenas da representação da cota da maior cheia conhecida, determinada a partir de marcas de cheia, registos vários e dados cartográficos disponíveis, e/ou da aplicação de critérios geomorfológicos, pedológicos e topográficos”.

Quadro 15 – Concelhos afectados pelos vários tipos de cheias* na AML

Concelhos	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Cursos de água afectados por cheias frequentes (cheias do tipo 3 e / ou do tipo 1)
Alcochete	x	x		Rio Tejo, R ^a de Vale de Palmela, R ^a da Asseisseira, R ^a do Vale dos Vinte e Um
Almada		x		
Amadora		x	x	R ^a de Carenque
Barreiro	x		x	Rio Tejo, R ^a da Vala Real
Cascais		x	x	R ^a das Vinhas, R ^a de Caparide
Lisboa		x	x	R ^a de Alcântara
Loures	x	x	x	Rio Tejo, Rio Trancão, R ^a de Alpriate, R ^a de Fanhões, R ^a de Loures, R ^a de Odivelas-Póvoa
Mafra		x	x	Rio Lizandro, R ^a de Pedrulhos, R ^a do Sobral, R ^a do Cuco
Moita	x	x		Rio Tejo, R ^a da Moita
Montijo	x	x		Rio Rejo, Vala Real, R ^a do Vale Cobrão, R ^a das Lavoeiras
Odivelas		x	x	R ^a de Odivelas-Póvoa
Oeiras		x	x	Rio Jamor, R ^a da Laje, R ^a de Barcarena, R ^a de Algés
Palmela	x	x		Rio Sado, R ^a da Marateca, R ^a do Vale do Cão
Seixal	x	x	x	Rio tejo, R ^a da Vala Real
Sesimbra		x		
Setúbal	x	x	x	Rio Sado, R ^a do Livramento, R ^a de Corva
Sintra		x	x	R ^a de Colares, Rio Jamor, R ^a de Carenque, R ^a de Barcarena
Vila Franca de Xira	x	x	x	Rio Tejo, Rio Sorraia, Rio Grande da Pipa, R ^a dos Silveiros, R ^a de Alpriate

* Cheias de: tipo 1 - cheias lentas dos rios Tejo e Sado; tipo 2 - cheias rápidas de perigosidade média; tipo 3 - cheias rápidas de perigosidade elevada.

4. Áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo

4.1. Metodologia utilizada

As áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo são as áreas que, devido às suas características de solo e de declive, estão sujeitas à perda excessiva de solo por acção do escoamento superficial. (...) A delimitação das áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo deve considerar de forma integrada o declive e a erodibilidade média dos solos resultante da sua textura, estrutura e composição (alínea d, Secção III, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

Uma das inovações do novo Decreto-Lei da REN, é a inclusão, neste instrumento de ordenamento territorial, das “áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo”. A inclusão destas áreas na REN visa, essencialmente, três objectivos: (i) conservar e gerir um dos recursos naturais mais importantes do País; (ii) manter o equilíbrio dos processos morfogénéticos e pedogenéticos; (iii) contribuir para a regulação do ciclo hidrológico, promovendo a infiltração em detrimento do escoamento superficial.

O solo é constituído por proporções variáveis de matéria mineral sólida, matéria orgânica, água e substâncias dissolvidas e ar, ocupando estes dois últimos constituintes os espaços intersticiais entre as partículas terrosas e os seus agregados. O solo é um sistema dinâmico, formado por processos naturais, e que pode ser mais ou menos modificado pela acção humana. Como a formação do solo é muito lenta, pode ser considerado, à escala humana, como um recurso não renovável. Este facto, por si só, justifica a importância da sua inclusão na Reserva Ecológica Nacional.

Os processos que levam à degradação do solo pertencem, basicamente, a quatro tipos: (i) erosão através da água (erosão hídrica do solo); (ii) erosão através do vento (erosão eólica); (iii) deterioração física; (iv) deterioração química. Destes quatro tipos de processos, o mais importante, em Portugal, é a erosão hídrica.

O cálculo do risco de erosão hídrica do solo, no âmbito da REN, coloca essencialmente duas questões que têm implicações directas nos resultados obtidos: (i) qual o modelo que se deve adoptar para o cálculo dessa erosão; (ii) e, na sequência da questão anterior, sabendo que todas as áreas estão sujeitas a algum tipo de erosão, qual o valor limite de risco, acima do qual essas áreas devem ser integradas na REN.

Antes de mais é importante explicitar que, quando nos referimos à erosão hídrica, se considerarmos a movimentação de partículas do solo por acção da escorrência laminar da água da precipitação, é possível utilizar um modelo de previsão da erosão

do solo, tal como a Equação Universal de Perda do Solo (Wischmeier & Smith, 1978), uma das suas variantes, ou outros modelos tais como o PESERA (Kirkby et al, 2004), em uso crescente na Europa. Não está previsto, portanto, o efeito da erosão linear resultante da concentração da água à superfície. O risco de erosão hídrica do solo depende de vários factores, a saber: (i) precipitação (tamanho das gotas de água, intensidade, frequência, duração, velocidade e ângulo de incidência); (ii) características do escoamento superficial; (iii) propriedades do solo (textura, coerência, estrutura e permeabilidade); (iv) vegetação (grau de cobertura, tipo de vegetação); (v) topografia (declive, comprimento das vertentes, convergência ou divergência do escoamento); (vi) das práticas agrícolas (rotação de culturas, terraceamento, estabilização dos sulcos e ravinas, culturas para cobrir o solo, modo de lavar a terra).

No âmbito da REN, é mais correcto calcular a erosão potencial, ou seja, aquela que ocorreria sem influência da ocupação do solo e sem a intervenção das práticas agrícolas. Deste modo, são definidas áreas com diferentes sensibilidades à erosão hídrica, tendo por base a intensidade da precipitação, as propriedades dos solos e as características topográficas. As áreas mais sensíveis devem, assim, ser objecto de atenção particular, promovendo a ocupação do solo e as práticas agro-florestais mais adequadas a uma diminuição da degradação do solo.

Contudo, e respeitando o novo Decreto-Lei, de todos estes factores foram apenas considerados para a definição das “áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo” a integrar na REN, os que, independentemente da variação da precipitação e do escoamento superficial, do coberto vegetal e das práticas agrícolas ao longo do tempo, se mantêm relativamente fixos (à escala humana), ou seja, a topografia (declive) e o tipo de solo. O cálculo do risco de erosão hídrica do solo baseou-se, assim, no declive e nas características dos solos (textura, estrutura e percentagem em matéria orgânica), que se encontram sintetizadas nos valores de erodibilidade (K).

O mapa de declives foi obtido a partir de um Modelo Numérico de Elevação (MNE) elaborado com base nas curvas de nível da Carta Militar de Portugal (1/25.000), o qual foi classificado, de acordo com o critério utilizado pelo IHERa (1999), e seguindo a proposta de Monturiol e col. (1978), em 5 categorias, mas em que se procedeu à junção dos valores entre 0 e 5% numa única classe (Quadro 16).

A informação relativa aos solos foi obtida a partir da Carta de Solos de Portugal (1/25.000), tendo-se procedido à sua classificação em valores de erodibilidade de acordo com os valores definidos em diversos trabalhos do INAG (Pimenta, 1998; Pimenta, 1999), os quais foram obtidos para os solos estudados por Cardoso (1965) e, por semelhança, para outros tipos de solos. Para solos da AML, que não constam

dos referidos estudos, foram obtidos os valores por analogia com os solos com características similares, tendo por base as características texturais e a maior ou menor presença de elementos húmicos, e as alterações introduzidas pela pedregosidade.

A partir dos valores de erodibilidade de cada solo, foi obtido um valor médio ponderado por mancha, tendo por base a proporção do tipo de solos presente em cada uma dessas manchas. Estes valores finais foram, posteriormente, agrupados em 3 classes, tal como se refere em Monturiol e col. (1978) e de acordo com o critério definido pelo IHERa para a Carta de Capacidade de Uso do Solo, mas tendo como base a classificação de Presant e Acton (1984), amplamente difundida na bibliografia científica da especialidade, a qual estabelece 5 classes ($\leq 0,15$; $0,15-0,30$; $0,30-0,40$; $0,40-0,50$; $>0,50$). No entanto, de forma a respeitar a metodologia anteriormente referida, baseada em 3 classes, agruparam-se as duas inferiores (negligenciável e fraca) na classe de erodibilidade fraca ($\leq 0,30$) e subdividiu-se a classe $0,40-0,50$ nas adjacentes, que passaram a constituir as classes moderada e elevada (Quadro 16).

Do cruzamento dos dois parâmetros – erodibilidade do solo e declive do terreno –, com base nas respectivas classes presentes no Quadro 16, obtiveram-se cinco classes de risco de erosão do solo (Re).

Quadro 16 – Factores da erosão hídrica do solo e respectivas classes utilizados na definição das áreas a integrar na REN

DECLIVES	ERODIBILIDADE		
	Er1: fraca ($\leq 0,30$)	Er2: moderada ($0,30 - 0,45$)	Er3: elevada ($> 0,45$)
D1: [0 - 5 %]	Re 1/2	Re 1/2	Re 1/2
D2:]5 - 8%]	Re 2	Re 3	Re 4
D3:]8 - 15%]	Re 3	Re 4	Re 5
D4:]15 - 25%]	Re 4	Re 5	Re 5
D5: > 25%	Re 5	Re 5	Re 5

Valores de erodibilidade (K) em unidades métricas

Para a delimitação da componente da REN “áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo” apenas foram consideradas as classes Re5 (risco muito elevado) e Re4 (risco elevado). Assim:

- (i) integram a REN todas as áreas pertencentes à classe Re5;
- (ii) a fim de aumentar a compacidade das manchas de Re5, consideraram-se, para efeitos de inclusão na REN, as áreas pertencentes à classe Re4 contíguas às de Re5;
- (iii) de forma a melhorar visualmente os resultados à escala regional, foram eliminadas todas as manchas com áreas inferiores a 1 hectare (16 células), consideradas pouco relevantes a esta escala de apresentação, bem como as células de Re4 isoladas (Anexo 5).

4.2. Definição regional das áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo

A aplicação da metodologia utilizada, à escala regional, permite observar que as áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo atingem cerca de 16% da AML (Anexo 5). A erosão hídrica do solo apresenta um contraste muito acentuado entre a AML Norte e a AML Sul, afectando em especial os concelhos da margem norte do Tejo bem como as áreas ocupadas pela Cadeia da Arrábida e pelas colinas de Almada, na margem sul. Este contraste deve-se, essencialmente, ao maior encaixe da rede hidrográfica na margem norte, que favorece o desenvolvimento de vertentes mais longas e declivosas. Os concelhos mais afectados, ou seja, que possuem entre 40 a 50% da sua área com elevado risco de erosão hídrica do solo, são: Mafra, Loures e Odivelas (Anexo 5).

Segundo a Convenção das Nações Unidas sobre Desertificação (1994), a degradação do solo consiste na redução ou perda da produtividade biológica ou económica da terra, devido aos sistemas de utilização desta ou a um processo ou combinação de processos, quer naturais quer resultantes da actividade humana. Quando a degradação do solo ocorre em áreas áridas, semi-áridas e sub-húmidas secas pode conduzir a uma situação ambiental muito grave: a desertificação. Na AML existem áreas que, do ponto de vista hidroclimático, são sub-húmidas secas e, mesmo semi-áridas, e que, como tal, podem sofrer um risco de desertificação. Este fenómeno deve ser tido em conta pelos concelhos da AML Sul com áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo.

4.3. Recomendações para a delimitação da REN municipal

Como se referiu anteriormente, o cálculo desta componente da REN à escala regional seguiu algumas simplificações, nomeadamente a utilização apenas das curvas de nível com equidistância de 10 m (e não de pontos cotados), a atribuição de valores genéricos de erodibilidade a vários solos não estudados na bibliografia, por analogia com as propriedades dos solos sujeitos a estudos e, ainda, uma simplificação da informação de forma a adequá-la à escala regional.

Por isso, é expectável e desejável que os trabalhos desenvolvidos à escala municipal se baseiem em documentos de maior pormenor e com mais informação, nomeadamente:

i) construção de Modelos Numéricos de Elevação (MNE) a partir de informação em escalas 1/25.000 a 1/10.000, com utilização de curvas de nível, vértices geodésicos e pontos cotados, corrigidos e devidamente validados, de forma a proporcionar o cálculo mais fidedigno dos valores de declive nos respectivos concelhos;

ii) utilização de informação adicional acerca das características dos solos, sempre que esta esteja disponível, de forma a obter, de forma mais aproximada, os valores de erodibilidade, em particular para os solos que não foram sujeitos a estudos e que não constam das tabelas publicadas pelo INAG, anteriormente referidas.

(iii) a identificação das áreas de elevado risco de erosão hídrica deverá sempre ter em conta a utilização da classe Re4, de forma a aumentar a contiguidade e compacidade das manchas da classe Re5; em alguns casos, quando as manchas de Re4, mesmo quando isoladas, tiverem dimensão suficiente (área superior a 1ha) e forem consideradas importantes no âmbito municipal (por exemplo, se coincidirem com áreas relevantes do ponto de vista natural), poderão, também, ser integradas na REN.

Adicionalmente aos aspectos anteriores, deve ser ponderada, sempre que possível, a utilização de modelos mais complexos para o cálculo da erosão hídrica potencial, que incorporem maior número de parâmetros que os utilizados no presente trabalho.

Por outro lado, é bom não esquecer que, num contexto de alterações climáticas (com tendência de empobrecimento acentuado dos solos e de incremento das situações de risco de cheias), deve ser aplicado o princípio da precaução, pelo que as áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo devem ser espaços de preservação em que as actividades florestais de uso intensivo devem ser fortemente desincentivadas.

5. Áreas de instabilidade de vertentes

5.1. Metodologia utilizada

As áreas de instabilidade de vertentes são as áreas que, devido às suas características de solo e subsolo, declive, dimensão e forma da vertente ou escarpa e condições hidrogeológicas, estão sujeitas à ocorrência de movimentos de massa em vertentes, incluindo os deslizamentos, os desabamentos e a queda de blocos. (...) Na delimitação de áreas de instabilidade de vertentes devem considerar-se as suas características geológicas, geomorfológicas e climáticas (alínea e, Secção III, Anexo 1, do DL n.º 166/2008).

A inclusão destas áreas na REN visa: (i) a estabilidade dos sistemas biofísicos; (ii) a salvaguarda face a fenómenos de instabilidade e de risco de ocorrência de movimentos de massa e de perda de solo; (iii) a prevenção da segurança de pessoas e bens.

Esta componente da REN substitui as antigas “zonas declivosas” do DL nº 93/90, que incluíam “áreas com riscos de erosão” e “escarpas e respectivas faixas de protecção”. Estas áreas acabaram por ser delimitadas, na maioria dos casos, através do regime transitório da REN, ou seja, “encostas com declive > 30%” e “escarpas e abruptos de erosão com desnível >15m e respectiva faixa de protecção”. Contudo, na prática, verificou-se que estes limites não salvaguardavam áreas com riscos de erosão elevados, porque não consideravam factores condicionantes decisivos para a instabilidade de vertentes, como por exemplo, as características do substrato geológico.

O novo diploma veio colmatar esta falha indicando que “na delimitação de áreas de instabilidade de vertentes deve considerar-se as suas características geológicas, geomorfológicas e climáticas”.

Os movimentos de massa em vertentes, classificados de acordo com o tipo de mecanismos de deslocação, incluem desabamentos (quedas), tombamentos (balançamentos), deslizamentos (escorregamentos), escoadas (fluxos), expansões laterais e movimentos complexos. Estes tipos de instabilidades de vertente têm uma incidência diferente nas duas unidades morfoestruturais presentes na AML (Orla Mesocenozóica Ocidental e Bacia Cenozóica do Tejo e Sado).

Os terrenos da Orla Mesocenozóica Ocidental ocupam praticamente toda a Margem Norte da AML e, ainda, parte dos concelhos de Sesimbra, Setúbal e Palmela. Nesta unidade, os movimentos de massa são controlados fundamentalmente pela litologia,

estrutura geológica e condições hidrogeológicas, enquanto o declive é um factor secundário. Neste contexto, destacam-se 3 unidades litológicas mais susceptíveis à instabilidade das vertentes, nomeadamente a deslizamentos: (i) sequências de margas, argilas, areias e arenitos do Cretácico superior; (ii) sequências de calcários e margas do Cretácico médio; (iii) sequências margo-calcárias do Jurássico superior.

Os terrenos da Bacia Cenozóica do Tejo e Sado dominam na Margem Sul da AML. Nestes terrenos, os movimentos de massa têm uma distribuição relativamente circunscrita, condicionada simultaneamente pelo declive e pela litologia. Os terrenos de idade miocénica constituem a unidade litológica mais problemática, pela elevada susceptibilidade a deslizamentos superficiais e profundos, que afectam principalmente perfis de alteração, depósitos coluviais e depósitos de antigos movimentos de massa. Na parte superior das vertentes, onde o declive é mais forte, têm origem movimentos de desabamento e tombamento.

Os movimentos de massa em vertentes ocorridos na AML, num passado recente, foram maioritariamente desencadeados pela precipitação. As chuvas intensas e concentradas desencadeiam deslizamentos superficiais, frequentemente com evolução para escoada, e movimentos associados ao trabalho de sapa dos cursos de água. As chuvas abundantes e prolongadas no tempo têm sido responsáveis pelo desencadeamento de deslizamentos rotacionais, translacionais e movimentos complexos com planos de ruptura mais profundos.

Ao contrário do que seria desejável, a avaliação das áreas susceptíveis à instabilidade das vertentes na AML não pode basear-se num inventário de movimentos de massa ocorridos no passado na região. Com efeito, tal inventário regional não existe e a extensão do território envolvido (superior a 2900 km²) inviabiliza a sua realização num período de tempo curto. Deste modo, a avaliação do perigo de movimentos de massa em vertentes na AML foi efectuada com base numa abordagem indirecta, a partir do cruzamento dos dois principais factores condicionantes da instabilidade das vertentes: litologia e declive. A litologia reflecte as propriedades de resistência mecânica dos terrenos, nomeadamente os seus parâmetros de coesão e ângulo de atrito interno, e o declive controla directamente as tensões tangenciais que se verificam nas vertentes. Acresce que estas duas variáveis, combinadas, condicionam o regime hidrológico dos terrenos, pelo controlo da permeabilidade e da taxa de infiltração.

A litologia foi obtida a partir da Carta Geológica de Portugal, na escala 1/25.000. Após a validação das correcções, os vários tipos geológicos foram agregados em seis grandes conjuntos litológicos que têm expressão espacial relevante na AML: (i) depósitos superficiais, (ii) rochas carbonatadas compactas, (iii) rochas sedimentares detriticas (grés, conglomerados), (iv) rochas sedimentares plásticas (margas, argilas),

(v) rochas graníticas e afins e (vi) rochas vulcânicas. Os declives foram obtidos a partir do modelo numérico de elevação (MNE) construído a partir da altimetria na escala de 1:25.000.

Para cada unidade litológica foi definido o limiar crítico de declive (em graus), acima do qual é expectável a ocorrência de fenómenos de instabilidade, independentemente da respectiva tipologia (Quadro 17). Estes limiares são suportados por bibliografia de referência especializada (e.g. Sidle et al, 1985) e foram estabelecidos com base no conhecimento empírico da instabilidade das vertentes da região. Numa fase final, procedeu-se a uma generalização dos resultados, baseada na definição de unidades cartográficas de dimensão mínima equivalente a 0,5 hectares (Anexo 6).

Quadro 17 – Limiares de declive críticos considerados para a identificação das áreas susceptíveis à instabilidade de vertentes na AML

Litologia	Declive (graus)
Depósitos superficiais	10
Rochas carbonatadas compactas	25
Rochas sedimentares detríticas (grés, conglomerados)	15
Rochas sedimentares plásticas (margas, argilas)	10
Rochas graníticas e afins	25
Rochas vulcânicas	20

5.2. Definição regional das áreas de instabilidade de vertentes

As áreas susceptíveis à instabilidade de vertentes na AML atingem cerca de 9% do total da região e encontram-se essencialmente no sector NW da AML e no sector Sul, correspondente à Cadeia da Arrábida (Anexo 6). Estas áreas distribuem-se pelos terrenos da Orla Sedimentar Ocidental, especialmente nas formações detríticas do Jurássico superior e do Cretácico (Belasiano).

Os concelhos mais afectados são: Mafra (34% do total do território concelhio), Loures (20%), Setúbal (13%), Odivelas (12%) e Vila Franca de Xira (11%). No extremo oposto encontram-se Alcochete e Moita onde a área ocupada é insignificante (<0,1% do território concelhio).

5.3. Recomendações para a delimitação da REN municipal

A identificação das áreas susceptíveis à instabilidade de vertentes, à escala municipal, deve ser efectuada por especialistas, no pressuposto de que: (i) os movimentos de vertente já ocorridos no território podem ser reconhecidos, classificados e cartografados; (ii) as condições que determinam os movimentos (factores de instabilidade) podem ser identificadas, registadas e utilizadas para construir modelos preditivos; e (iii) a ocorrência de futuros movimentos de vertente pode ser inferida possibilitando o zonamento do território em classes de susceptibilidade. Assim:

(i) A avaliação da susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massa em vertente deve ser efectuada na escala de 1:10 000 e inclui as seguintes etapas: (i) inventário, determinação da tipologia e análise dos movimentos de vertente já verificados no território, com recurso a análise de fotografia aérea e ortofotomapas, devidamente validada com trabalho de campo; (ii) identificação e cartografia dos factores de pré-disposição (condicionantes) responsáveis pelo aparecimento ou aceleração dos movimentos (e.g., declive, exposição e curvatura das vertentes, litologia, geomorfologia, solos; uso do solo, etc); e (iii) interpretação dos factores com recurso a modelos de relação espacial.

(ii) Os modelos a utilizar para a predição das áreas susceptíveis à ocorrência de movimentos de vertente devem ser: (i) determinísticos (baseados em leis físicas e mecânicas, como a conservação da massa e energia ou o equilíbrio das forças), (ii) heurísticos de base empírica (baseados na atribuição de *scores* a um conjunto de factores de instabilidade passíveis de representação cartográfica), ou (iii) estatísticos (baseados em funções paramétricas empíricas que correlacionam espacialmente os movimentos de vertente passados e presentes com os factores que condicionam a instabilidade).

A qualidade dos modelos de delimitação das áreas de instabilidade de vertentes deve ser demonstrada pela aplicação de procedimentos de validação (e.g., taxa de sucesso).

(iii) Devem integrar a REN as vertentes classificadas como mais susceptíveis, independentemente do modelo utilizado na avaliação. A área a integrar na REN deve ser a suficiente para garantir a inclusão de uma fracção nunca inferior a 70% das áreas identificadas como instabilizadas.

IV - SÍNTESE DA REN REGIONAL DA AML

1. Metodologia adoptada

O mapa síntese da REN regional da AML, na escala 1:200 000 (Anexo 7) foi obtido a partir da junção das diferentes componentes da REN, discriminadas nos vários pontos constituintes deste trabalho (segundo o DL n.º 166/2008) e cartografadas nos Anexos 1 a 6. Dada a multiplicidade de componentes representadas e, nalguns casos, da sobreposição de várias delas na mesma área, e a fim de evitar uma representação cartográfica de difícil leitura, a construção do mapa síntese seguiu a seguinte metodologia, em ambiente SIG:

(i) as componentes lineares da REN (como os cursos de água, por exemplo) sobrepõem-se às componentes areais (como as áreas de protecção e recarga de aquíferos, por exemplo);

(ii) nos casos em que se sobrepõem componentes da REN lineares (como por exemplo, os cursos de água e respectivos leitos e os troços fluviais afectados por cheias) privilegiou-se a componente do risco, o mesmo se aplicando às componentes areais (ZAC do Tejo e área estratégica de protecção e recarga do aquífero aluvionar do Tejo, por exemplo);

(iii) nos casos em que se sobrepõem componentes de risco areais (como por exemplo, áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo e de instabilidade de vertentes) privilegiou-se o risco mais mortífero (neste caso, a instabilidade de vertentes);

(iv) dada a exiguidade da escala do mapa síntese, as componentes da REN pertencentes às áreas de protecção do litoral foram representadas com os respectivos limites mas com a mesma cor;

(v) Resumindo, a sobreposição dos vários níveis de informação, no mapa síntese, obedeceu à seguinte ordem de representação cartográfica:

1.º limites administrativos (limite regional da AML e limites concelhios) e sedes de concelho;

2.º zonas ameaçadas pelo mar (ZAM) e pelas cheias (ZAC);

3.º cursos de água e respectivas margens;

4.º áreas de instabilidade de vertentes;

5.º áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo;

6.º áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos;

7.º áreas de protecção do litoral.

2. Definição da REN bruta regional

A área emersa da AML atinge cerca de 2935 km². Considerando a sobreposição das componentes da REN regional, apenas em território emerso, verifica-se que as áreas de REN atingem cerca de 71% do território da AML (Anexo 7). De todas as componentes da REN regional distinguem-se, pela sua importância territorial, as “Áreas Estratégicas de Protecção e Recarga de Aquíferos” que abrangem, como já foi referido, 39% do território regional (Figura 16). Esta situação era expectável, uma vez que a AML (juntamente com o OVT) possui uma grande parte dos extensos sistemas aquíferos da Bacia Sedimentar do Tejo, de importância estratégica não só nacional, mas também ibérica, pelas importantes reservas de água subterrânea que encerram.

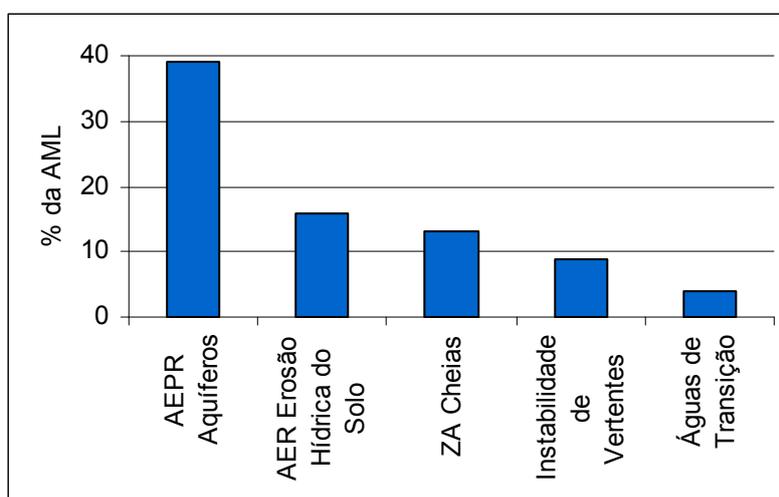


Fig. 16 – Principais componentes da REN da AML pela extensão que ocupam.

A seguir às “Áreas Estratégicas de Protecção e Recarga de Aquíferos” seguem-se, pela área que ocupam, as áreas de “elevado risco de erosão hídrica do solo”, com 16% do território da AML; as zonas ameaçadas por cheias (ZAC), com 13%; e as áreas de instabilidade de vertentes (que se sobrepõem em grande parte às de elevado risco de erosão hídrica do solo) com 9% (Figura 16).

Das “Áreas de protecção do litoral” pertencentes à REN destacam-se, pela área ocupada, as águas de transição, com 4% (Figura 16), que se encontram ao longo dos vales inferiores do Tejo e do Sado.

A distribuição geográfica das cinco componentes da REN mais importantes da AML é distinta (Anexo 7). Enquanto a AML Norte é afectada essencialmente por riscos ligados à instabilidade das vertentes, à erosão hídrica do solo e às cheias rápidas; a

AML Sul possui uma parte importante da área estratégica de protecção e recarga do grande aquífero T3 - Margem esquerda do Tejo. Por sua vez, o fundo do Vale inferior do Tejo é afectado pelas cheias lentas deste rio, sendo também aí que se encontram a maior parte das águas de transição.

A gestão das áreas de REN, através da utilização dos sistemas de informação geográfica, é muito facilitada, uma vez que facilmente se sabe quantas e quais são as componentes da REN que se sobrepõem, em cada unidade de área (célula). Naturalmente que, quantas mais componentes da REN se sobrepuserem, maior é o desafio da sua gestão estratégica. Uma vez que a REN tem a dupla função de proteger recursos e minimizar riscos naturais, o quadro de referência regional da AML, qua agora se apresenta, permite fazer a gestão integrada das várias componentes da REN, entre os diversos municípios, aplicando os princípios da coordenação, harmonização e continuidade espacial, referidos na Introdução a este trabalho.

Lisboa, 18 de Fevereiro de 2010

Os autores:

Catarina Ramos

José Luís Zêzere

Eusébio Reis

J. Lopo de Mendonça

Bibliografia

Aller, L., Bennett, T., Lehr, J., Petty, R. & Hackett, G. (1987) - *DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings*. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory. E.P.A..Ada, Oklahoma, USA.

Almeida, C.; Mendonça, J.J.L.; Jesus, M.R. & Gomes, A.J. (2000) - *Sistemas aquíferos de Portugal Continental*. Centro de Geologia da Fac. Ciências Univ. Lisboa, Instituto da Água, vol. II e III.

Azevedo, M.T.G.F.M. (1982) - *O sinclinal de Albufeira - evolução pós-miocénica e reconstrução paleogeográfica*. Dissertação de doutoramento. Universidade de Lisboa. 302 p.

Azevedo, T. M.; Martins, J. M. B. & Ubaldo, M. L. (1994) - *Interpretação do estudo microfauístico de dados de sondagem relativos ao limite Oligocénico/Miocénico no sinclinal de Albufeira (a sul de Lisboa)*. Actas II Congr. Gr. Esp. Terciario, Univ. Zaragoza, pp. 47-50.

Barbosa, B. P. (1995) - *Alostratigrafia e Litostratigrafia das Unidades Continentais da Bacia Terciária do Baixo Tejo*. Relações com o Eustatismo e a Tectónica, PhD -Thesis Univ. Lisbon. 253 pp.

Cabral, J. (1995) - Neotectónica em Portugal Continental. *Memórias do Instituto Geológico e Mineiro*, Memória 31, Lisbon, 265 pp.

Cabral, J.; Moniz, C.; Terrinha, P.; Matias, L.; & Ribeiro, P. (2000) - *Analysis of seismic reflection profiles in the neotectonic characterization of the Lower Tagus Valley area*. XXVII General Assembly of the European Seismological Commission, Lisbon University, 10-15 September 2000, Book of Abstracts and Papers, SSC1-07-P, 72.

Cardoso, J. V. C (1965) – *Os solos de Portugal, sua classificação, caracterização e génese – a Sul do rio Tejo*, Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa.

Carvalho, A. M. G; Ribeiro, A. & Cabral, J. (1983-85) - Evolução paleogeográfica da bacia cenozóica do Tejo-Sado, *Bol. Soc. Geol. Portugal*, XXIV, pp. 209-212.

CCDR-LVT (2009) - “*Reserva Ecológica Nacional. Documento de apoio à delimitação. Fichas técnicas por tipologia de área (Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de Agosto)*”, Comissão de Coordenação Regional de Lisboa e Vale do Tejo, Janeiro de 2009, Lisboa.

Costa, M., Silva, R. & Vitorino, J. (2001) – *Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima da costa portuguesa*. 2^{as}. Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. Associação Internacional de Navegação. Sines. CD-ROM. 20p.

Cowell, P. J., Hanslow, D. J. & Meleo, J. F. (1999) -*The Shoreface*. In Short, A. D. (Ed.) *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex. 379p.

GESTÁGUA (1996) - *Plano director de desenvolvimento do sistema de abastecimento da EPAL - Avaliação das disponibilidades - Origens subterrâneas*. Consórcio PROCESL, Compagnie Generale de Eaux Portugal, Profabril. Lisboa.

Hallermeier, R. (1981). *Seaward Limit of Significant Sand Transport by Waves: An Annual Zonation for Seasonal Profiles*. Coast. Eng. Tec. Aid (81-2). CERC. Virginia. 23p.

Hesp, P. & Hilton, M. J. (1996) - *Nearshore-Surfshore System Limits and the Impacts of Sand Extraction*. Journal of Coastal Research, 12 (3), pp 726-747. Fort Lauderdale (Florida), ISSN 0749-0208.

IHERA (1999) – *Notícia explicativa da Carta de Solos de Portugal e da Carta de Capacidade de Uso do Solo*, Direcção de Serviços dos Recursos Hídricos e Aproveitamentos Hidroagrícolas, Divisão de Solos, Lisboa, 28 p.

Jäger, S. (1994) – *Modelling Regional Soil Erosion Susceptibility using the Universal Soil Loss Equation and GIS*, in Rickson, R. J. (Ed.) *Conserving Soil Resources. European Perspectives*, CAB International, pp. 161-177.

Kirkby, M. J. e Jones, R. I. A. et al. (2004) – *Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: the PESERA Map*, European Soil Bureau – Research Report n.º 16, European Commission.

Kraus, N.C., Larson, M. & Wise, R. (1998) – *Depth of closure in Beach – Fill Design*. Coastal Engineering Technical Note (CETN II-40; 3/98). U.S army Engineer Waterways Experiment Station. 13p.

Kullberg, M. C.; Kullberg, J. C. & Terrinha, P. (2000) - *Tectónica da Cadeia da Arrábida*. In: *Tectónica das regiões de Sintra e, Arrábida, Mem. Geociências, Museu Nac. Hist. Nat. Univ. Lisboa*, 2, pp. 35-84.

Manuppella, G., Antunes, M.T., Ramalho, M.M., Rey, J. (1999) - *Notícia explicativa da Folha 38-B - Setúbal*. Instituto Geológico e Mineiro. Lisboa. 143 p.

MAOT (2002) - *Plano Nacional da Água – Volumes I e II*. Ministério do Ambiente e ordenamento do Território, Lisboa

Mendonça, J.J.L. (1996) – *Características hidráulicas do aquífero terciário do Tejo e do Sado na região de Vila Franca de Xira*. *Recursos Hídricos*, n.º 17, pp. 53-66.

Monturiol, F. e colaboradores (1978) – *Cartografia edafológica y capacidad de uso de los suelos de la franja costera de la provincia de Santander*. CDIS, Santander, y CDIS, Madrid.

Oliveira, M.M. (2004) – *Recarga de águas subterrâneas – métodos de avaliação*. Tese de Doutoramento, FCUL, 440p.

Pimenta, M. T. (1998) – *Caracterização da erodibilidade dos solos a Sul do rio Tejo*, Instituto Nacional da Água (INAG), Lisboa.

Pimenta, M. T. (1999) – *Directrizes para a aplicação da Equação Universal de Perda do Solo, Factor de Cultura C e Factor de Erodibilidade do Solo K*, Instituto Nacional da Água (INAG), Lisboa.

POOC de Sintra – Sado

http://www.icn.pt/downloads/list_poocs_icn/POOC_SINTRA_SADO_list.htm

POOC de Cidadela – S. Julião da Barra

<http://www.inag.pt/index.php?view=article&id=114>

PNUD (1980) - *Étude ses eaux souterraines de la péninsule de Setúbal (système aquifère Mio-Pliocène du Tejo et du Sado)*. Rapport final sur les résultats du projet, conclusions et recommandations. Programme des Nations Unies pour le Développement, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa.

Presant, E.W.; Acton, C.J. (1984) - *The Soils of the Regional Municipality of Haldimand-Norfolk*. Report No. 57, Ontario Institute of Pedology.

Ramos, C. & Reis, E. (2001) - "As Cheias no Sul de Portugal em Diferentes Tipos de Bacias Hidrográficas", *Finisterra, Revista Portuguesa de Geografia*, XXXVI, 71, Centro de Estudos Geográficos, U.L., p. 61-82.

Ramos, C.; Zêzere, J.L.; Reis, E.; Mendonça, J.L. (2008) – Reserva Ecológica Nacional do Oeste e Vale do Tejo. Quadro de Referência Regional. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo, Lisboa, Dezembro de 2008, 83p. + 7 mapas em anexo.

Ramos-Pereira, A. & Angelucci, D.E. (2004) – Formações dunares no litoral português, do final do Plistocénico e inícios do Holocénico, como indicadores paleoclimáticos e paleogeográficos. In Tavares, A. A.; Tavares, M.J. Ferro. & Cardoso, J.L. (Eds.) – *Evolução geohistórica do litoral português e fenómenos correlativos. Geologia, História, Arqueologia e Climatologia*. Universidade Aberta, p. 221-256.
<http://www.ceg.ul.pt/cardune>

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

Ribeiro, A.; Antunes, M.T.; Ferreira, M.P.; Rocha, P.B.; Soares, A.F.; Zbyszewski, G.; Almeida, F. Moitinho de; Carvalho, D. & Monteiro, J.H. (1979) - *Introduction à la Géologie Générale du Portugal*. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 114 pp.

Ribeiro, P.; Moniz, C. & Cabral, J. (2000) - *Study of active structures in the Lower Tagus Valley through satellite imagery analysis*. XXVII General Assembly of the of the European Seismological Commission (ESC), Lisbon University, 10-15 September 2000, Book of Abstracts and Papers, SSC1-07-P, 71.

Rushton, K.R. (2003) – *Groundwater hydrology – conceptual and computational models*. Willey, 416 p.

Side, R.; Pearce, A.; O'Loughlin, C. (1985) – *Hillslope Stability and Land Use*. American Geophysical Union, Water Resources Monograph 11, 140 p.

Simmers, I. (1990) – *Aridity, ground water recharge and water resources management*. In Groundwater recharge, a guide to understanding natural recharge - Lerner, D.N., Issar, A.S., Simmers, I (Coord). IAH, Vol. 8, pp. 1-20.

Simões, M.M.M. (1998) – *Contribuição para o conhecimento hidrogeológico do Cenozóico na Bacia do Baixo Tejo*. Tese de Doutoramento. Universidade Nova de Lisboa.

Teixeira, S. B. (1994) – *Dinâmica Morfossedimentar da Ria de Aveiro – Portugal*. Dissertação de Doutoramento. Departamento de Geologia da FCUL. 395p

Vermeulen, H., Lobo Ferreira, J.P., Oliveira, M.M. (1993) - *A method for estimating aquifer recharge in DRASTIC vulnerability mapping*. In “Desenvolvimento se um inventário das águas subterrâneas de Portugal “ Vol- 1, pp. 283-305. Cabral.

Wischmeier, W. H & Smith, D. D. (1978) – *Predicting Rainfall Erosion Losses - a guide to conservation planning*, Agriculture Handbook n.º 537, Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture.