

A ÁGUA SUBTERRÂNEA NOS ACTUAIS PLANOS HIDROLÓGICOS DE BACIA

METODOLOGIAS INOVADORAS, DIAGNÓSTICO, OBJECTIVOS E MEDIDAS DOS PLANOS DE GESTÃO DE REGIÕES HIDROGRÁFICAS PORTUGUESAS, COM ESPECIAL REALCE PARA O PGRH TEJO E O PBH OESTE

João Paulo LOBO FERREIRA

Doutor em Engenharia Civil, Investigador-Coordenador e Chefe do Núcleo de Águas Subterrâneas - LNEC/DHA, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Tel: 218 443 609, Email: lferreira@lnec.pt

Teresa E. LEITÃO

Doutora em Hidrogeologia, Investigadora Principal com Habilitação do Núcleo de Águas Subterrâneas - LNEC/DHA, Av. do Brasil, 101 P-1700-066 Lisboa, Tel: 218 443 802, Email: leitao@lnec.pt

Manuel MENDES OLIVEIRA

Doutor em Hidrogeologia, Investigador Auxiliar do Núcleo de Águas Subterrâneas - LNEC/DHA, Av. do Brasil, 101 P-1700-066 Lisboa, Tel: 218 443 436, Email: moliveira@lnec.pt

RESUMO

Abordam-se aspectos específicos relativos às águas subterrâneas nos Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) de Portugal, finalizados em 2011. A consulta pública decorre por seis meses, tendo-se iniciado entre Julho e Novembro de 2011. Os documentos estão disponíveis na internet em <http://www.arhtejo.pt/web/guest/pgrh-participacao-publica> para a ARH Tejo (Tejo e Ribeiras do Oeste), <http://www.arhalentejo.pt> para a ARH Alentejo (Guadiana, Sado e Mira), <http://www.arhnorte.pt> para a ARH Norte (nomeadamente para os rios internacionais Minho, Lima e Douro), <http://www.arhcentro.pt> para a ARH Centro (nomeadamente para os rios Vouga e Mondego), e <http://planogestaorh8.arhalgarve.pt> para a ARH Algarve (ribeiras do Algarve).

Neste artigo apresenta-se um conjunto de metodologias e de abordagens desenvolvidas ao longo da elaboração dos PGRH, que incluem o desenvolvimento de diversos projectos laterais aos PGRH, nomeadamente os em desenvolvimento pelo LNEC para as ARH Norte e Centro, sobre modelos de dados.

Destacam-se os novos paradigmas para a elaboração dos PGRH, nomeadamente a análise por massas de águas subterrâneas, o desenvolvimento de modelos conceptuais 3-D e a obtenção de novos dados de qualidade em redes de monitorização optimizadas, além de se apresentarem metodologias específicas desenvolvidas (recarga de aquíferos, o Índice de Facilidade de Infiltração e o risco de poluição accidental associado a estradas), o modelo de dados, terminado com a exemplificação, para o PGRH Tejo, do diagnóstico, dos objectivos e das medidas.

Da análise da recarga destaca-se um método de avaliação das grandes variações modeladas para a recarga de aquíferos em 2071-2100 com base nos valores esperados de aumento da temperatura e diminuição da precipitação no sistema aquífero de Torres Vedras (PBH Oeste).

Palavras-chave: Águas subterrâneas, planos de gestão de recursos hídricos, recarga de aquíferos, modelos de dados, alterações climáticas.

1. INTRODUÇÃO

A componente das águas subterrâneas (Lote 2, formado pelo consórcio Hidroprojecto/LNEC/ICCE) do Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas que integram a Região Hidrográfica do Tejo (cf. Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a) e Plano da Bacia Hidrográfica das ribeiras do Oeste (cf. Lobo-Ferreira *et al.*, 2011b) foi desenvolvida, desde o início, em ambiente SIG. Em paralelo, o LNEC desenvolveu para a ARH Centro e para a ARH Norte, o modelo de dados, bem como uma análise relativa aos sistemas aquíferos abrangidos pelas áreas geográficas das bacias hidrográficas dos Rios Mondego, Vouga e Lis.

Neste artigo destacam-se os novos paradigmas para a elaboração dos PGRH, nomeadamente a análise por massas de águas subterrâneas, o desenvolvimento de modelos conceptuais 3-D e a obtenção de novos dados de qualidade em redes de monitorização optimizadas (o consórcio avaliou a representatividade das redes de monitorização da qualidade utilizando o método do Índice de Representatividade (IR, cf. Grath *et al.*, 2001). Apresentam-se também as metodologias específicas desenvolvidas (recarga de aquíferos, o Índice de Facilidade de Infiltração e o risco de poluição accidental associado a estradas), o modelo de dados. O artigo termina com a exemplificação, para o PGRH Tejo, do diagnóstico, dos objectivos e das medidas.

2. NOVOS PARADIGMAS PARA ELABORAÇÃO DOS PGRH

2.1 Análise por massas de águas subterrâneas

Exemplificando para o PGRH Tejo, a área do Plano abrange três unidades hidrogeológicas, que coincidem com as três unidades estruturais: Maciço Antigo, Orla Ocidental, e Bacia do Tejo-Sado. Ao todo foram considerados por Lobo-Ferreira *et al.* (2011a) quinze massas (Figura 1).

Das quinze massas de água listadas (Figura 1), doze haviam sido identificadas como sistemas aquíferos em Almeida *et al.* (2000). As três massas de água que não foram identificadas como sistemas aquíferos foram “Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Tejo”, “Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo”, e “Bacia do Tejo-Sado Indiferenciado da Bacia do Tejo”. Estas três massas de água agregam todas as formações geológicas que não foram consideradas como sistemas aquíferos, respectivamente nas unidades hidrogeológicas do Maciço Antigo, da Orla Ocidental e da Bacia do Tejo-Sado.

2.2 Desenvolvimento de modelos conceptuais 3-D

Para a realização do modelo conceptual das massas de águas subterrâneas do PGRH Tejo e do PBH Oeste foi efectuado o levantamento e a digitalização no programa HydroGeoAnalyst de cerca de 1600 logs de captações de abastecimento cujos processos se encontravam arquivados na ARH Tejo.

Na Figura 2 apresenta-se um exemplo desses logs, para o sistema aquífero de Torres Vedras (PBH Oeste). A junção da informação dos logs permite a visualização do modelo conceptual. No exemplo do sistema aquífero de Torres Vedras a informação das sondagens mostra um sistema aquífero constituído pela alternância de areias e argilas, podendo genericamente definir-se pelas unidades que se apresentam nos cortes W-E e SSW-NNE da Figura 3. Assim as unidades areníticas estão separadas da superfície por uma unidade argilosa e a unidade de alternâncias de grés e argilas estão separadas da superfície por, pelo menos, duas unidades argilosas, sendo a segunda de espessura significativa na zona central do sistema aquífero. Na unidade de alternâncias de grés e argilas (unidade 5) o sector central e leste do sistema aquífero (cf. Corte SSW-NNE da Figura 3) tem uma forte componente argilosa que define várias sub-unidades mais gresosas; por seu lado o sector sul parece dominado por uma significativa ausência destes espessos níveis de argilas (cf. Corte W-E), admitindo-se que seja de natureza predominantemente mais arenosa.

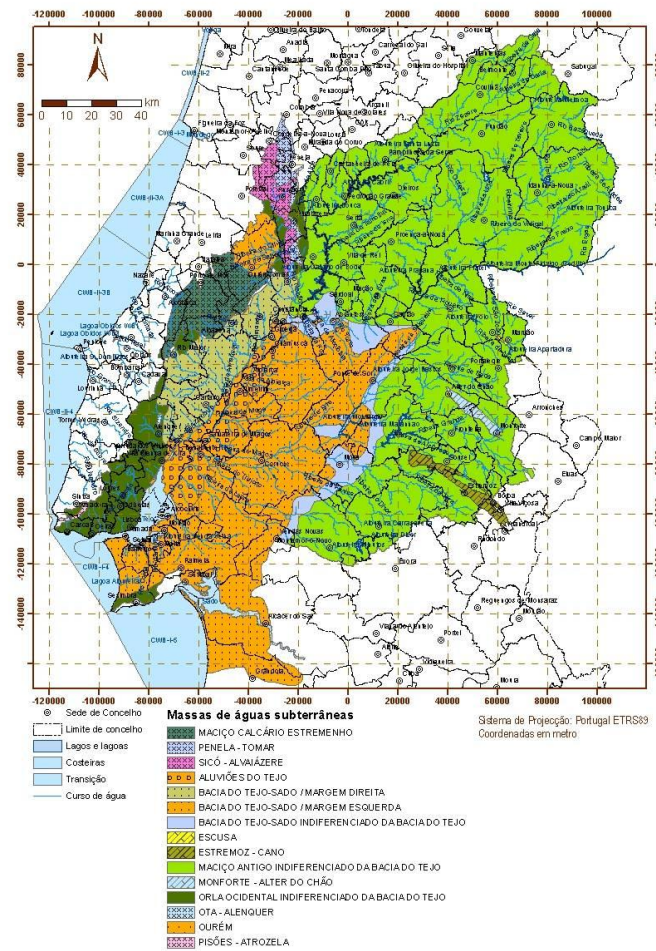


Figura 1 – Massas de água subterrânea do Plano de Gestão de Região Hidrográfica do Tejo (Fonte: Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a)

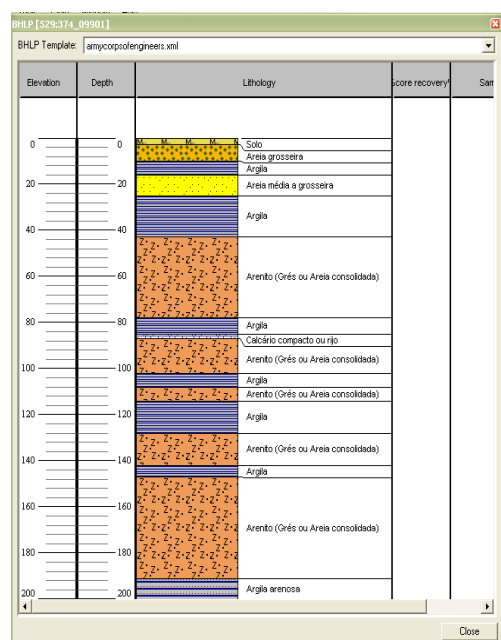


Figura 2 - Log da captação 529_374 do sistema aquífero de Torres Vedras (Fonte: Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a)

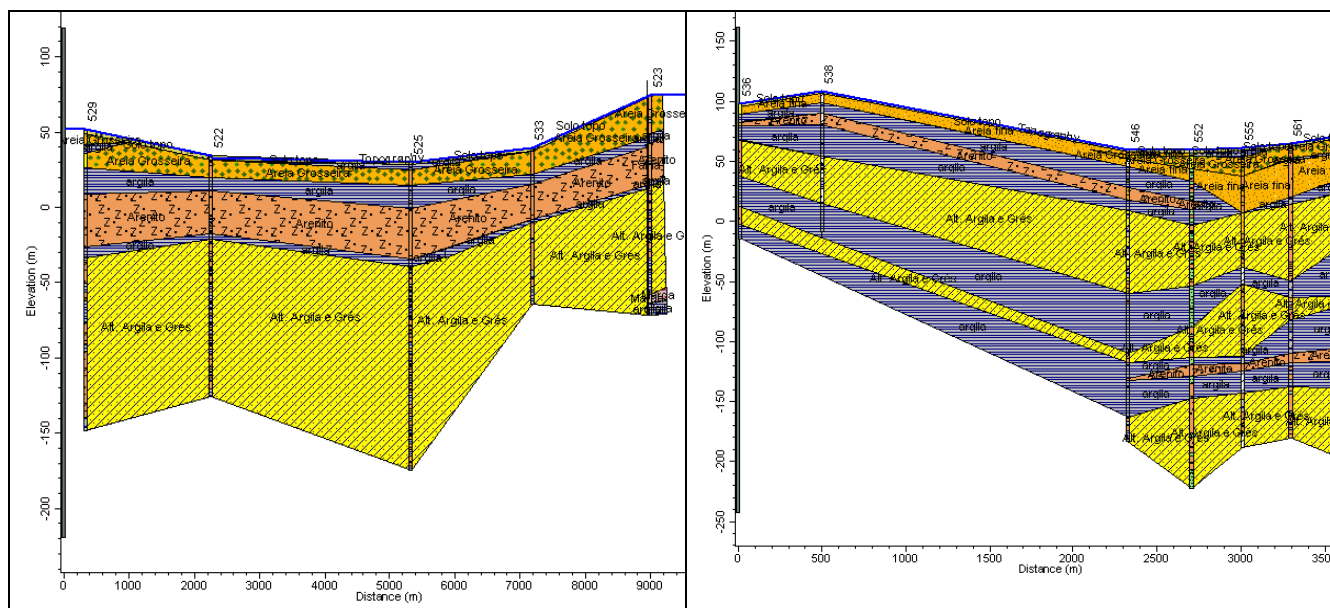


Figura 3 - Corte W-E e corte SSW-NNE no sistema aquífero de Torres Vedras (Fonte: Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a)

2.3 Obtenção de novos dados de qualidade em redes de monitorização optimizadas

No que respeita à monitorização, e de acordo com o previsto no Programa de Trabalhos para a ARH Tejo, foi programada a realização das campanhas de recolhas de amostras de água e respectivas análises químicas após a selecção proposta pela ARH Tejo, tendo-se incluído as análises biológicas. A primeira campanha, composta por 270 pontos da rede base e 34 pontos da rede SP (substâncias perigosas), iniciou-se pela recolha da amostragem em Junho de 2010 e terminou em Agosto de 2010 (época seca). Por proposta do Consórcio, elaborado pelo parceiro ICCE, a 2.ª campanha foi realizada em Fevereiro de 2011 (época húmida), por forma a incidir já sobre uma rede optimizada (cf. Figura 4) tendo em consideração o seu índice de representatividade.

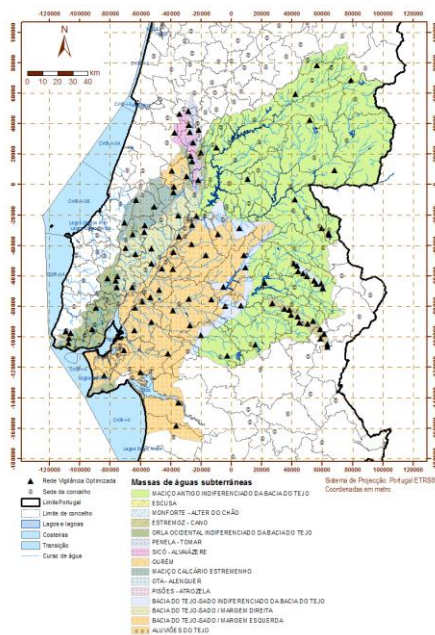


Figura 4 - Rede monitorização de vigilância da qualidade das massas de águas subterrâneas após optimização (Fonte: Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a)

Para avaliação da representatividade das redes de monitorização da qualidade utilizou-se o método do Índice de Representatividade (IR), como recomendado pelo documento técnico de apoio à implementação da Directiva-Quadro da Água, “The EU Water Framework Directive: Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results” (Grath *et al.*, 2001).

3. METODOLOGIAS ESPECÍFICAS

3.1 Recarga de aquíferos em cenários de alterações climáticas

A recarga de águas subterrâneas foi calculada através do modelo matemático BALSEQ_MOD (Oliveira, 2004, 2006), que modela de uma forma sequencial diária a precipitação, a infiltração no solo, o aumento do armazenamento no solo devido a essa infiltração, o escoamento directo que se produz por a capacidade de infiltração do solo ser inferior à precipitação, a evapotranspiração da água do solo e a água que se infiltra abaixo da base do solo (infiltração profunda) quando o teor de humidade do solo é superior ao valor da sua capacidade de campo e a água drena por acção da gravidade. A água de infiltração profunda é utilizada como um estimador da recarga da zona saturada mais próxima da superfície. O modelo BALSEQ_MOD tem como antecedentes o modelo BALSEQ desenvolvido por Lobo Ferreira (1981, 1982) para a estimativa da recarga de águas subterrâneas na ilha de Porto Santo, localizada no arquipélago da Madeira.

Foi desenvolvido para a ARH Centro o cálculo da recarga de águas subterrâneas por infiltração da água da chuva nas áreas correspondentes aos aquíferos dessa região, através do modelo do balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD. Foi concluído em Junho de 2011 o 1.º relatório da Componente 4, contendo a determinação da recarga de águas subterrâneas dos aquíferos da Região Hidrográfica do Centro (cf. Martins *et al.*, 2011).

O método utilizado na determinação da recarga incorpora vários factores, nomeadamente a precipitação diária, a evapotranspiração de referência mensal (ET_o), tipo e características dos solos aflorantes e tipo de coberto vegetal, e a ocupação de solo.

Para a corrida do modelo criaram-se séries de precipitação diária para cada massa de água, de 30 anos, a partir dos registos das estações udométricas existentes na região de estudo, colmatando as lacunas de dados através de métodos estatísticos. Foram também calculadas séries de evapotranspiração de referência, velocidade do vento e humidade mínima relativa para o mesmo período da série de precipitação diária.

Os tipos de solos existentes em cada aquífero foram deduzidos a partir das formações geológicas aflorantes, tendo por base cartografia geológica a várias escalas. A cada tipo de solo foram atribuídos parâmetros característicos, como condutividade hidráulica, capacidade de campo, porosidade, etc., sendo esta informação sobreposta à ocupação do solo.

Estes dados de ocupação de solo procuram descrever o tipo de cultura existente sendo-lhe atribuídos um conjunto de parâmetros culturais característicos. A ocupação do solo tem por base a cartografia CORINE para a região de Portugal continental, tendo sido utilizada também fotografia aérea.

Os dados de saída resultantes da corrida do modelo incluem valores médios anuais de precipitação, evapotranspiração real, escoamento directo e recarga para a série temporal de entrada.

Esta mesma metodologia fora já seguida nos estudos do PGRH Tejo e PBH Oeste.

Com base nas análises de possíveis alterações climáticas para Portugal, correu-se o modelo BALSEQ_MOD para situações esperadas de variação da precipitação e de subida de temperatura para o período 2071-2100.

Esta análise foi feita também para a situação atual e para 2050. Em Oliveira *et al.* (2012), noutra comunicação também apresentada ao 11.º Congresso da Água da APRH, desenvolve-se este tema,

exemplificando os resultados da metodologia referida para o sistema aquífero de Torres Vedras, que está a ser modelado para o PBH Oeste. Procedeu-se à análise da variação da precipitação média considerando dois cenários distintos: um que aplica o factor corretivo a todos os dados de uma série actual de 30 anos (1979-2009), e outro que retira o mesmo volume de precipitação apenas às precipitações mínimas da série, de acordo com a metodologia apresentada por Oliveira e Lobo-Ferreira (2007). É impressionante a redução potencial esperada para a recarga do aquífero (Cenário 1), que se pode observar na Figura 5.

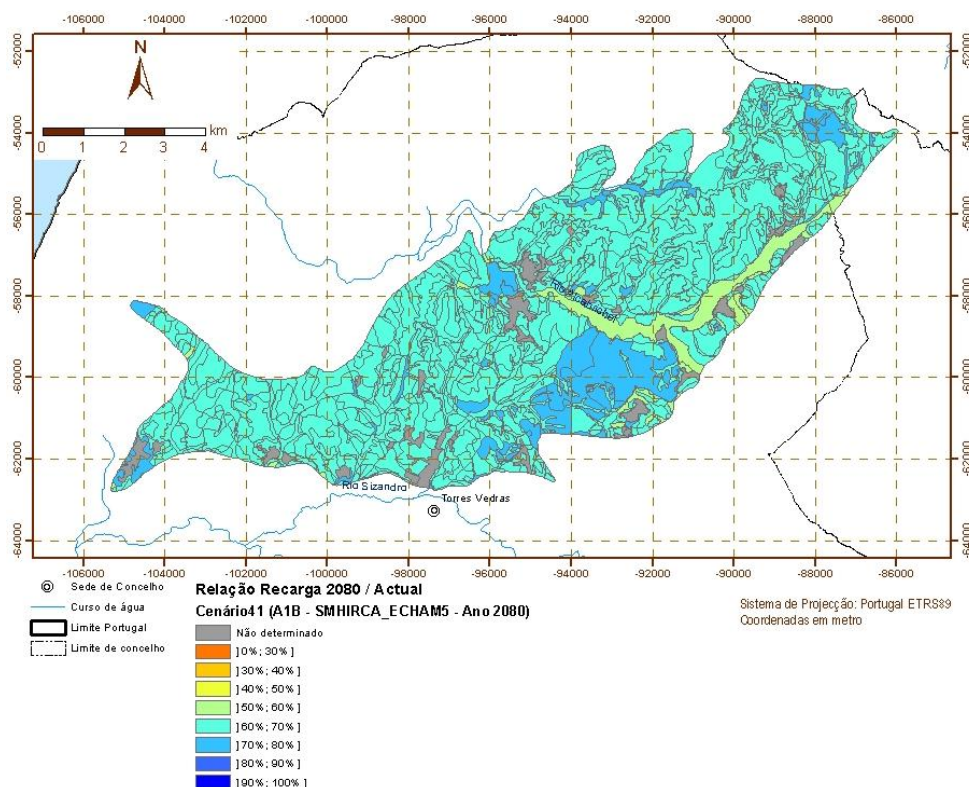


Figura 5 – Relação entre a recarga média anual atual e a esperada para o Cenário 41 em 2071-2101 do sistema aquífero de Torres Vedras (Modelo SMHIRCA_ECHAM5, precipitação com correcção constante e evapotranspiração de referência actual). (Fonte: Lobo-Ferreira *et al.*, 2012)

3.2 Índice de Facilidade de Infiltração

O índice de facilidade de infiltração, desenvolvido por Oliveira e Lobo Ferreira (2002) requer a caracterização de quatro factores. O primeiro factor é geológico, e só por si pode fazer o IFI assumir o seu valor máximo (se for uma área carsificada ou muito fracturada). Caso não assuma o valor máximo, então são caracterizados outros três factores: tipo de solo (A, B, C ou D), declive do terreno (<2%, 2-6%, 6-12%, 12-18%, >18%), quantidade máxima de água armazenável no solo e que pode ser utilizada para a evapotranspiração - AGUT (dez classes de 50 mm de intervalo, desde < 50 mm a > 450 mm). A cada classe é atribuído um índice entre 1 e 10, que no final se somam para produzir o IFI. O índice máximo (IFI = 30) significa as condições mais favoráveis para a infiltração e é obtido para um solo tipo A, declive do terreno <2% e AGUT < 50mm. Identificadas as zonas com IFI elevado (mais favoráveis à infiltração), estas deverão ser validadas com observações de campo, informações de residentes acerca do comportamento destas áreas durante a ocorrência de chuva, ou outro tipo de informação.

Tendo em vista a definição das zonas especiais de protecção para a recarga de aquíferos esta metodologia de definição das áreas de infiltração máxima foi aplicada às massas de águas subterrâneas onde se situam, ou potencialmente se podem vir a situar, as captações de água destinadas ao consumo humano.

Poderiam eventualmente considerar-se como zonas especiais de protecção áreas que drenam para as massas de águas subterrâneas onde se possam implementar medidas que permitam uma maior infiltração no solo, como por exemplo, alterar a ocupação do solo para permitir uma maior recarga.

A caracterização das zonas de máxima infiltração inclui:

a respectiva identificação e descrição;

o estado quantitativo das massas de águas subterrâneas influenciadas;

as condicionantes a serem consideradas para efeitos de licenciamento do seu uso ou ocupação;

as medidas que estejam previstas e o estado em que se encontram:

programadas;

em implementação;

já implementadas.

Para condicionamento da utilização das áreas que constituam zonas de infiltração foi considerado o seguinte:

delimitação das zonas especiais de protecção para a recarga de aquíferos;

definição e aplicação de regras e limitações ao uso das zonas especiais de protecção para a recarga de aquíferos, condicionante do respectivo licenciamento;

tipificação dos condicionamentos de utilização das zonas especiais de protecção para a recarga de aquíferos;

programação de intervenções nas áreas de maior infiltração.

Na Figura 6 apresenta-se o Índice de Facilidade de Infiltração calculado para a área do PGRH Tejo.

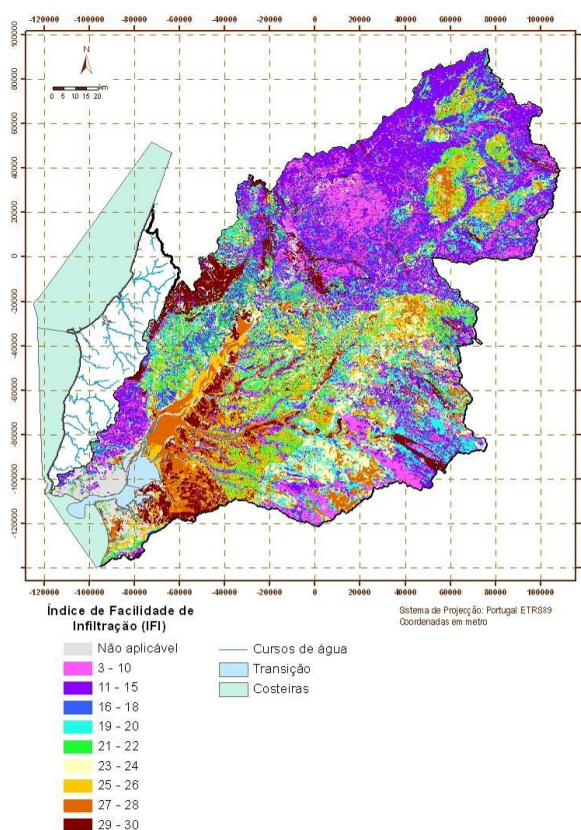


Figura 6 – Índice de Facilidade de Infiltração da área do PGRH Tejo (Fonte: Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a)

3.3 Risco de poluição accidental associado a estradas

Para o efeito da análise de risco de poluição accidental associado a estradas, simplificou-se o método referido em Leitão *et al.* (2005) tendo-se dividido a escala do índice IFI, anteriormente apresentado, em quatro classes de risco, respectivamente:

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

A Figura 7 apresenta a análise efectuada sobrepondo ao mapeamento IFI a rede de estradas, zonas de protecção de captações e nascentes hidrominerais e uma zona adjacente de 1 km aos eixos das estradas, permitindo classificar o risco de poluição accidental proveniente de estradas, para as águas subterrâneas, nas quatro classes acima referidas. Podem ser classificadas como “zonas em risco” as correspondentes às classes Alto e Muito Alto. Em Leitão *et al.* (2012), noutra comunicação também apresentada ao 11.º Congresso da Água da APRH, desenvolve-se este tema.

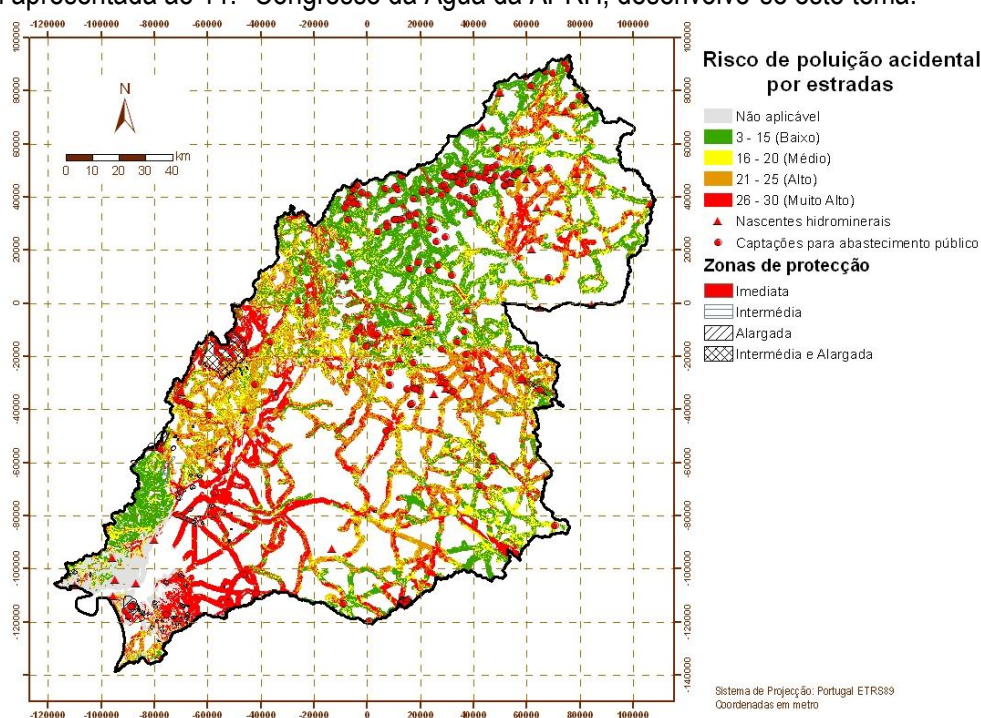


Figura 7 – Mapa do risco de poluição accidental associado a estradas (Fonte: Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a)

3.4 Ecossistemas Dependentes das Águas Subterrâneas (EDAS)

Elaborado pelo parceiro ICCE do consórcio Lote 2 do PGRH Tejo (Hidroprojecto/LNEC/ICCE), para a região do PGRH Tejo foram identificados como ecossistemas dependentes das águas subterrâneas (EDAS) as massas de águas superficiais associadas a massas de águas subterrâneas e os ecossistemas terrestres associados (zonas ripícolas) e foram identificados como ecossistemas terrestres dependentes de águas subterrâneas (ETDAS) as zonas húmidas resultantes da percolação ascendente difusa de água subterrânea (charcos temporários mediterrânicos). Os EDAS identificados (cf. Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a) encontram-se representados na Figura 8.

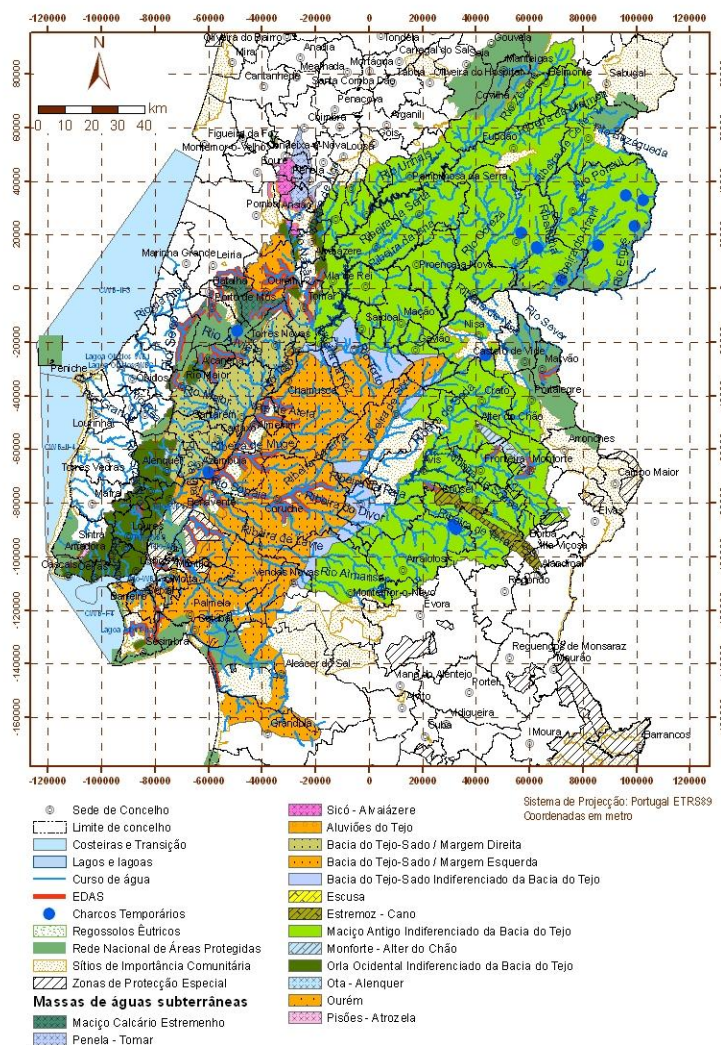


Figura 8 - Ecossistemas dependentes de águas subterrâneas (EDAS), representados nas coberturas cartográficas empregues para a elaboração do PGRH Tejo (Fonte: Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a)

4. MODELOS DE DADOS

A Directiva-Quadro da Água visa proteger as águas superficiais interiores, as águas de transição, as águas costeiras e as águas subterrâneas, e visa atingir determinados objectivos ambientais através da execução de programas de medidas especificados no Plano de Gestão das Regiões Hidrográficas (PGRH). Os sistemas de informação foram identificados pela ARH Centro como uma ferramenta de gestão dos recursos hídricos eficaz e eficiente, podendo contribuir para o cumprimento das metas a serem fixadas por estes PGRH. Como anteriormente se referiu, neste contexto, as ARHs do Norte, do Centro e do Tejo contrataram o LNEC para a realização de estudos destinados à concepção e desenvolvimento da especificação de informação geográfica de suporte ao planeamento e gestão de recursos hídricos, que incluiu a caracterização e modelação dos aspectos quantitativos e qualitativos das massas de águas subterrâneas, aplicáveis às regiões hidrográficas em estudo. O projecto para a ARH Centro está estruturado em quatro componentes, sendo a Componente 1 o Desenvolvimento e implementação da especificação de informação geográfica através de modelos de dados geográficos.

O objectivo da componente 1 é a definição e a implementação de um modelo de dados geográficos para as bases geográficas de referência e temáticas, de caracterização da rede hidrográfica, das massas de água superficiais e subterrâneas, e das respectivas zonas protegidas.

Esta componente foi dividida nas seguintes tarefas:

Tarefa 1.1 – Análise de requisitos dos modelos de dados geográficos;

Tarefa 1.2 – Especificação de informação geográfica através de modelos de dados;

Tarefa 1.3 – Implementação e validação do modelo de dados;

Tarefa 1.4 – Apoio à experimentação do sistema e à definição de estratégias para a sua manutenção.

O 2.º relatório da Componente 1 (Charneca *et al.*, 2011) define os requisitos para o desenvolvimento do modelo de dados geográficos (MDG) de suporte às acções de planeamento e gestão a executar pela ARH Centro.

O desenvolvimento do MDG suporta os produtos referentes às componentes de modelação qualitativa e quantitativa em aquíferos, que inclui a caracterização hidrogeológica da zona de jurisdição da ARH Centro, a caracterização das vulnerabilidades à poluição e à intrusão marinha, bem como a modelação de perímetros de protecção de captações de águas subterrâneas.

A Figura 9 exemplifica um diagrama de classes, neste caso referente às associações entre a classe *PontosAguaSubterranea* e os respectivos perímetros de protecção a captações de águas subterrâneas.

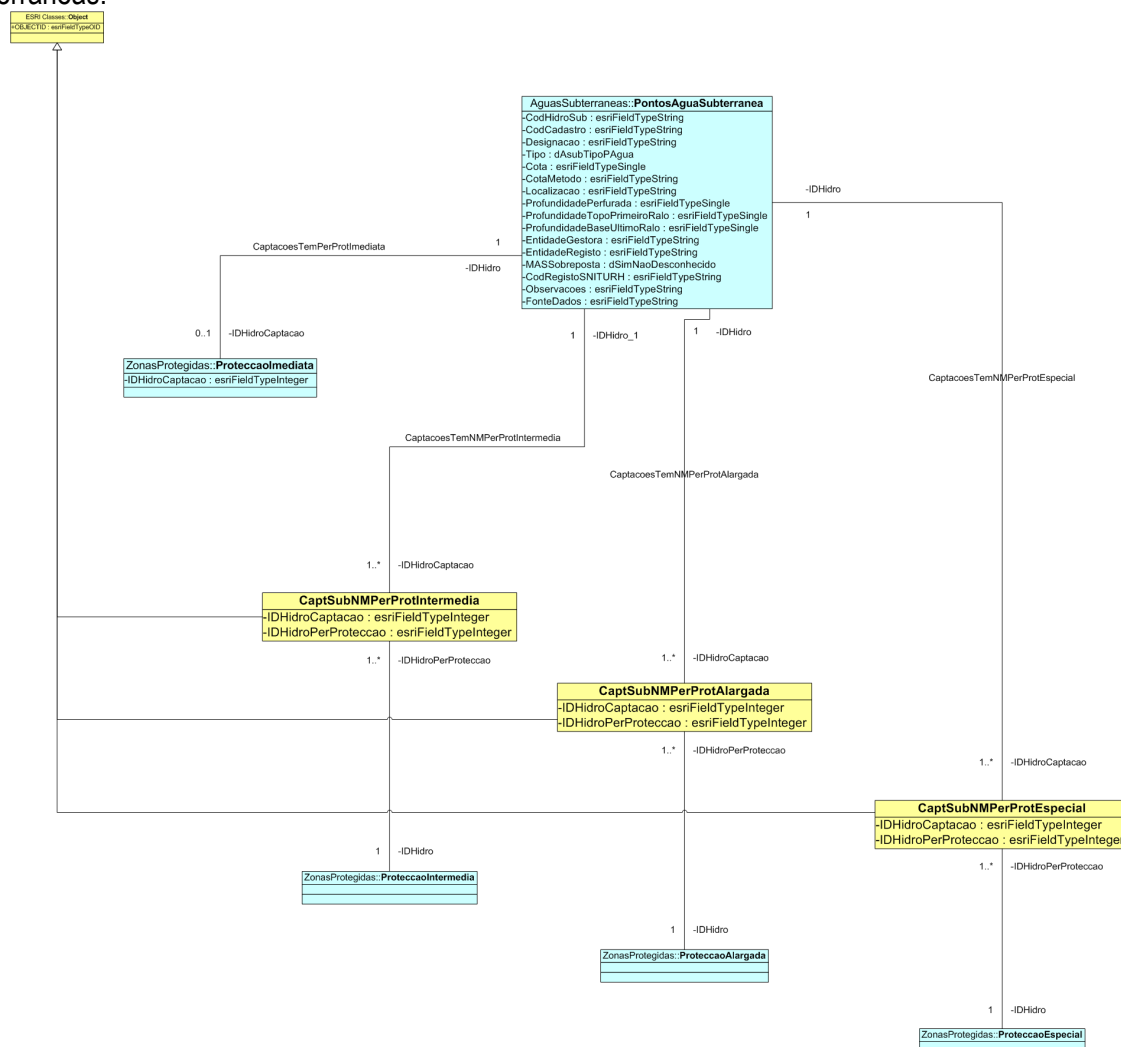


Figura 9 - Diagrama de classes referente às associações entre a classe *PontosAguaSubterranea* e os respectivos perímetros de protecção a captações de águas subterrâneas (Fonte: Charneca *et al.*, 2011)

5. DIAGNÓSTICO

5.1 Área Temática Qualidade da Água

Os resultados da análise das pressões e dos seus impactes na qualidade das águas subterrâneas da região do Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo (PGRH Tejo) que se apresentaram em Lobo-Ferreira *et al.* (2011a) permitem determinar um conjunto de cinco, das 15 massas de águas subterrâneas, em risco de não virem a cumprir os objectivos de qualidade da água definidos na Directiva-Quadro da Água (DQA).

Consideraram-se nessa situação as massas que se encontram em uma ou mais de três situações: (1) em estado químico medíocre; (2) com tendência estatisticamente significativa de subida de algum parâmetro cujo valor ultrapassou os 75% do valor limite regulamentar e (3) sujeita a pressões de elevado impacte em massas com elevada vulnerabilidade.

O estado químico foi avaliado aplicando todos os testes previstos na DQA apresentando-se na Figura 10 a síntese do estado químico geral e das tendências significativas e constantes das águas subterrâneas do PGRH Tejo. As massas de águas subterrâneas cujo estado é medíocre são: T7 - Aluviões do Tejo, A4 - Estremoz-Cano, O28 - Pisões-Atrozela, A3 - Monforte Alter do Chão. A massa T3 - Bacia Tejo-Sado Margem Esquerda, embora esteja em estado químico bom, apresenta tendência de subida de: NO_3^- e NH_4^+ cujos valores ultrapassaram os 75% do valor limite regulamentar, pelo que foi considerada em risco. Em Leitão *et al.* (2012), noutra comunicação também apresentada ao 11.º Congresso da Água da APRH, desenvolve-se este tema.

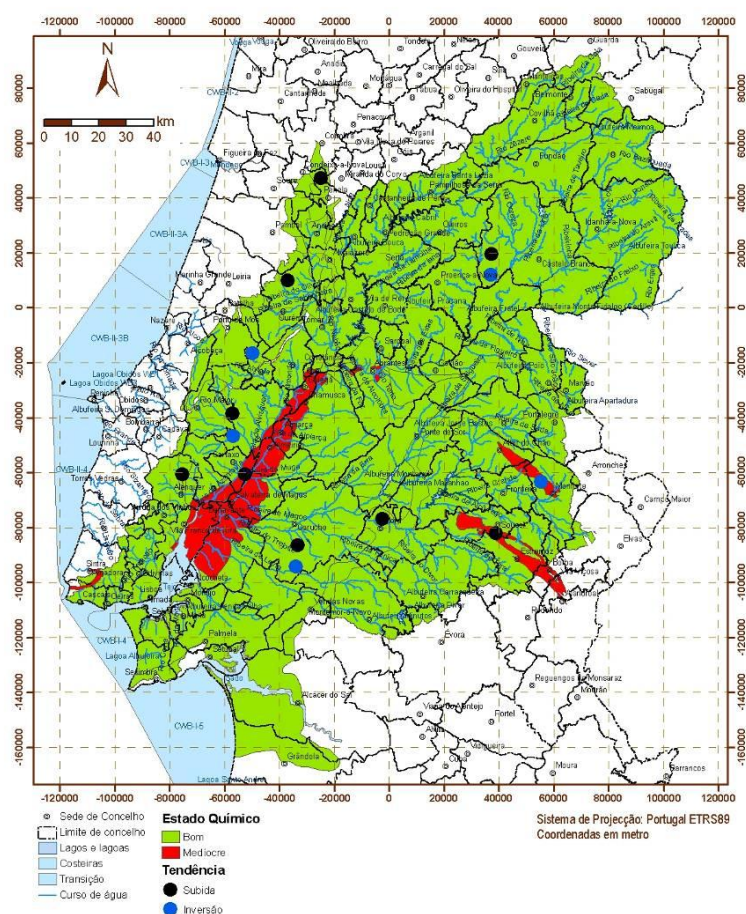


Figura 10 – Síntese do Estado Químico geral e das tendências significativas e constantes das águas subterrâneas do PGRH Tejo (Fonte: Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a)

5.2 Área Temática Quantidade de Água

Exemplificando a análise de tendência desenvolvida relativa à evolução do nível piezométrico apresenta-se o andamento observado no piezómetro 318/2, localizado no Maciço Calcário Estremenho. De acordo com o critério de análise de tendência que considera como valor crítico a tendência de descida de 100 mm/ano (= 0,274 mm/dia) para a piezometria máxima anual, não há tendência de descida, como se pode observar na Figura 11.

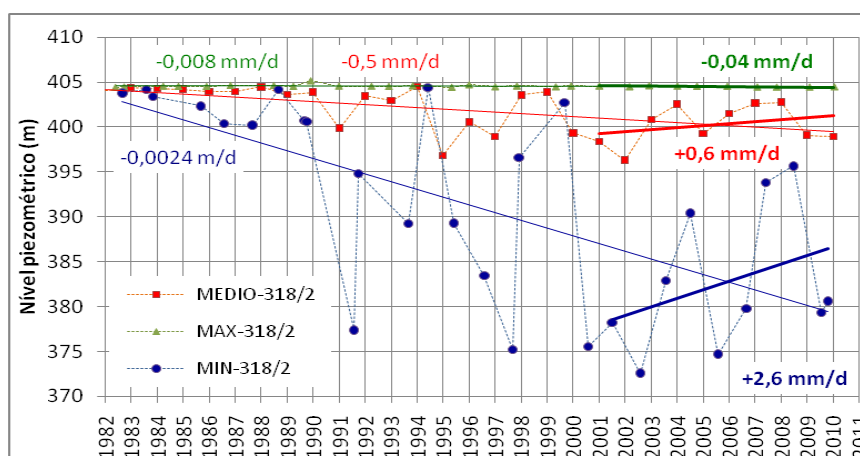


Figura 11 – Níveis piezométricos anuais máximos, mínimos e médios no piezómetro 318/2 (Maciço Calcário Estremenho), por ano hidrológico e respetivas tendências de evolução (Fonte: Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a)

A avaliação global das tendências de evolução dos níveis piezométricos ao longo do tempo mostrou algumas situações de descida nos casos das massas de águas subterrâneas: O15 - Ourém, T1 - Margem Direita, T3 - Margem Esquerda, e também na zona norte da massa de águas T7 - Aluviões do Tejo. A Figura 12 representa o resultado da avaliação das tendências de evolução dos níveis piezométricos máximos anuais, considerando-se como tendência de descida os casos em que a descida anual é superior a 100 mm/ano.

As taxas de exploração calculadas para as massas de água do PGRH Tejo variam entre 1,5% e 77%, de acordo com os resultados do balanço por massa de águas subterrâneas desenvolvidos em Lobo-Ferreira *et al.* (2011a). Para este balanço e para integrar a incerteza associada aos cálculos quer da recarga quer das extracções de água, optou-se por considerar o valor de recarga mais baixo calculado entre o modelo de balanço hídrico sequencial diário (BALSEQ_MOD) e o proposto pela ARH Tejo, e o valor mais elevado de extracções obtido pelo cálculo das necessidades e pela soma dos volumes inventariados.

De acordo com este balanço, optou-se por se classificar o estado quantitativo de todas as massas de águas subterrâneas do PGRH Tejo como “Bom”.

6. OBJECTIVOS

6.1 Área Temática Qualidade da Água

O principal objectivo dentro desta área temática é alcançar o bom estado das águas subterrâneas, para o que se deve assegurar a protecção, melhoria e recuperação de todas as massas de águas subterrâneas e inverter quaisquer tendências significativas persistentes para o aumento da concentração de poluentes que resulte do impacte da actividade humana, com vista a reduzir gradualmente os seus níveis de poluição.

De acordo com Lobo-Ferreira *et al.* (2011a) as massas de águas subterrâneas que presentemente não cumprem os objectivos de qualidade pretendidos, na área do PGRH Tejo são, conforme atrás referido, as seguintes: Monforte – Alter do Chão; Estremoz – Cano; Pisões – Atrozela e Aluviões do Tejo. A Bacia do Tejo-Sado Margem Esquerda também apresenta tendências estatisticamente significativas de subida dos nitratos e azoto amoniacal. Os objectivos propostos vão no sentido de assegurar a redução gradual da poluição das águas subterrâneas e evitar o agravamento da sua poluição. Estremoz-Cano (em 2021) e Aluviões do Tejo (em 2027), têm os seus objectivos ambientais prorrogados.

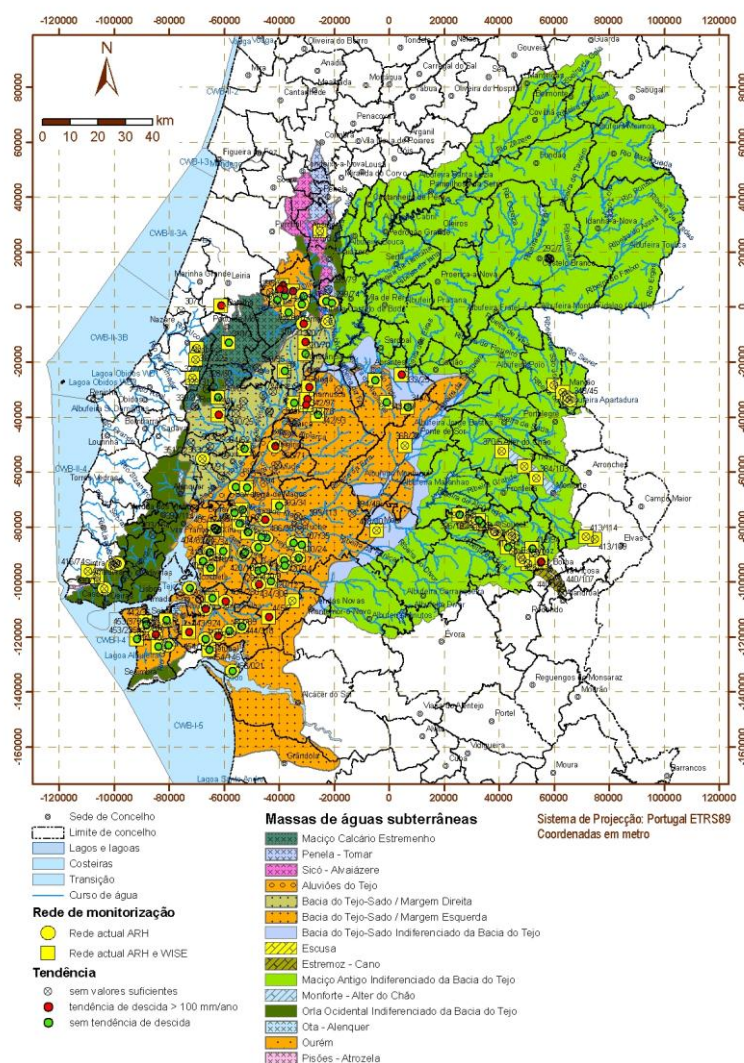


Figura 12– Evolução dos níveis piezométricos no PGRH Tejo por ponto de monitorização (Fonte: Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a)

Para os restantes massas de águas subterrâneas (Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Tejo, Escusa, Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo, Penela-Tomar, Sicó-Alvaiázere, Ourém, Maciço Calcário Estremenho, Ota-Alenquer, Bacia Tejo-Sado Indiferenciado da Bacia do Tejo e Bacia Tejo-Sado Margem Direita), os objectivos são evitar a continuação da degradação e proteger e melhorar o estado dos ecossistemas aquáticos e também dos ecossistemas terrestres e zonas húmidas directamente dependentes dos ecossistemas aquáticos, no que respeita às suas necessidades de água.

6.2 Área Temática Quantidade de Água

No PGRH Tejo, o principal objectivo dentro desta área temática é manter o bom estado das águas subterrâneas, garantindo o equilíbrio entre as extracções e as recargas das massas de águas.

Registam-se aparentes tendências de descidas piezométricas nalguns piezómetros pertencentes às massas de águas subterrâneas de: (1) Ourém, (2) Bacia Tejo-Sado Margem Direita, (3) Bacia Tejo-Sado Margem Esquerda, e (4) Zona norte das Aluviões do Tejo.

Dado que há algumas incertezas nas séries de dados disponíveis, quer devido à sua extensão quer devido à sua continuidade, e dado que não há massas de águas onde a relação extracções / recarga se aproxime de um valor considerado crítico para a manutenção do bom estado quantitativo das massas de águas subterrâneas, não se considera que estas massas de águas subterrâneas estejam em estado medíocre.

Assim, para estas massas de águas os objectivos vão no sentido de promover uma utilização sustentável de água, baseada numa protecção a longo prazo dos recursos hídricos disponíveis.

7. MEDIDAS

Lobo-Ferreira *et al.* (2011a) propuseram para o PGRH Tejo cerca de 60 medidas de base e cerca de 30 medidas suplementares, que visam respectivamente o cumprimento dos objectivos ambientais previstos na legislação em vigor e garantir uma maior protecção ou uma melhoria adicional das águas, sempre que tal seja necessário. No âmbito das medidas adicionais os locais considerados *a priori* de intervenção prioritária, devido à comprovada presença da contaminação, são os seguintes: (1) terrenos no Seixal, da antiga Siderurgia Nacional e outros na área da SPEL e antigos areeiros; (2) antiga zona industrial do Barreiro; e (3) área industrial de Alcanena.

8. CONCLUSÕES

Para facilitar a divulgação dos resultados alcançados nos Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) de Portugal, finalizados em 2011, abordaram-se alguns dos aspectos relativos às águas subterrâneas. A caracterização das Regiões Hidrográficas foi feita por massas de águas subterrâneas. Apresentaram-se as linhas de força de elaboração dos PGRH, destacando o desenvolvimento em ambiente SIG, o modelo de dados, os ecossistemas dependentes das águas subterrâneas (EDAS), a digitalização de logs, a monitorização e as novas campanhas de recolhas de amostras de águas subterrâneas feitas para o PGRH Tejo e o PBH Oeste. Apresentaram-se algumas metodologias desenvolvidas em Portugal (no LNEC), de que se destacaram a recarga de aquíferos (modelo BALSEQ_MOD), o Índice de Facilidade de Infiltração (IFI) e o risco de poluição acidental associado a estradas, baseado no índice IFI.

AGRADECIMENTOS

Projecto desenvolvido com o apoio do Plano de Investigação Programada do LNEC (2009-2012), no âmbito dos estudos do Núcleo de Águas Subterrâneas do Departamento de Hidráulica e Ambiente: "Gestão Quantitativa de Sistemas Aquíferos" (Proc. LNEC 0607/11/17760), "Gestão Integrada e Sustentável da Qualidade das Águas Subterrâneas" (Proc. 0607/11/17761), "Alterações Climáticas e Águas Subterrâneas" (Proc. 0607/11/17762).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, C., Mendonça, J.J.L., Jesus, M.R., Gomes, A.J. (2000) – Sistemas Aquíferos de Portugal Continental, Centro de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa e Instituto da Água.

Charneca, N., Oliveira, M. M., Oliveira, A. (2011) - "Modelação de dados geográficos e modelação matemática dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos para o planeamento e gestão dos recursos

hídricos sob jurisdição da ARH do Centro, I.P. - Relatório 2: Modelo lógico de dados geográficos de suporte ao planeamento e gestão de recursos hídricos". Relatório 163/2011 - NTI/NAS, 182 pp.

Grath, J., Scheidleder, A., Uhlig, S., Weber, K., Kralik, M., Keimel, T., Gruber, D. (2001) - "The EU Water Framework Directive: Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results. Final Report". Austrian Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management (Ref.: 41.046/01-IV1/00 and GZ 16 2500/2-I/6/00), European Commission (Grant Agreement Ref.: Subv 99/130794), in kind contributions by project partners. Vienna. 63pp.

Leitão, T.E., Barbosa, A. E., Telhado, A. (2005) - Proposta de uma metodologia para a identificação de zonas hídricas sensíveis aos poluentes rodoviários. In 7.º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Évora, 30 Maio a 2 de Junho 2005.

Leitão, T.E., Nunes, L., Silva, D. e Lobo-Ferreira J.P. (2012) - "Estado Químico das Massas de Águas Subterrâneas nas Áreas dos Planos de Bacia do Tejo e das Ribeiras do Oeste". Comunicação apresentada no 11.º Congresso da Água, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), Porto, Fev. 2012, 15 pp.

Leitão, T.E., Lobo-Ferreira J.P., Leal, G., Oliveira, M.M., Henriques, M.J. e Igreja, A. (2012) - "Avaliação do Risco de Poluição Acidental nas Áreas dos Planos de Bacia do Tejo e das Ribeiras do Oeste". Comunicação apresentada no 11.º Congresso da Água, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), Porto, Fev. 2012, 15 pp.

Lobo-Ferreira, J.P. (1981, 1982) – "Mathematical Model for the Evaluation of the Recharge of Aquifers in Semiarid Regions with Scarce (Lack) Hydrogeological Data". Proceedings of Euromech 143/2-4 Setp. 1981, Rotterdam, A.A. Balkema (Ed. A. Verruijt & F.B.J. Barends). Também: Memória N° 582, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1982.

Lobo Ferreira, J.P., Vaz Pinto, I., Monteiro, J.P., Oliveira, M.M., Leitão, T.E., Nunes, L., Novo, M.E., Salvador, N., Nunes, J.F., Leal, G., Pombo, S., Silva, M.F., Igreja, A., Henriques, M.J., Silva, D., Oliveira, L., Martins, T., Martins, J., Braceiro, A., Henriques, R.S., Martins, R. (2011a): Plano de gestão da Região Hidrográfica do Tejo - Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos (Versão de Agosto de 2011). Consórcio Hidroprojecto/LNEC/ICCE. Rel. LNEC 289/2011 – NAS, 1056 pp.

Lobo Ferreira, J.P., Vaz Pinto, I., Monteiro, J.P., Oliveira, M.M., Leitão, T.E., Nunes, L., Novo, M.E., Salvador, N., Pombo, S., Silva, M.F., Igreja, A., Nunes, J.F., Leal, G., Henriques, M.J., Silva, D., Oliveira, L., Martins, T., Martins, R., Monte, M., Martins, J., Braceiro, A., Henriques, R.S., Quaresma, M. (2011b): Plano das bacias hidrográficas das Ribeiras do Oeste - Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos (Versão de Agosto de 2011). Consórcio Hidroprojecto/LNEC/ICCE. Rel. LNEC 290/2011 – NAS, 597pp.

Oliveira, M.M., Novo, M.E., Oliveira, L.S., Lobo-Ferreira JP (2012) - "Estudo do Impacto das Alterações Climáticas na Recarga do Sistema Aquífero de Torres Vedras". Comunicação apresentada no 11.º Congresso da Água, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), Porto, Fev. 2012, 15 pp.

Martins, T., Oliveira, M. M., Lobo-Ferreira, J. P (2011) - "Modelação da Recarga dos Sistemas Aquíferos da Região Hidrográfica do Centro". Relatório Final, Lisboa, LNEC, Relatório n.º 208/2011, 117pp.

Oliveira, M.M. (2004, 2006) – "Recarga de águas subterrâneas: Métodos de avaliação". Doutoramento em Geologia (Hidrogeologia), Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia, 440 pp., 2004. Também: Teses e Programas de Investigação - TPI 42, ISBN 972-49-2093-3, Editora LNEC, 2006.

Oliveira, M.M., Lobo-Ferreira, J.P.C. (2002) – "Proposta de uma Metodologia para a Definição de Áreas de Infiltração Máxima". Comunicação apresentada no 6º Congresso da Água: A água é D'ouro, organizado pela Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), realizado no Centro de Congressos da Alfândega, Porto, Mar. 2002, 16 pp.

Oliveira, M.M., Novo, M.E., Lobo-Ferreira, J.P. (2007) – "Models to predict the impact of the climate changes on aquifer recharge". In Lobo-Ferreira, J.P., Vieira, J. (eds) - Water in Celtic Countries: Quantity, Quality and Climate Variability, IAHS Red Books, London, IAHS Publication 310, ISBN 978-1-901502-88-6, pp. 103-110.