



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE
Núcleo de Águas Subterrâneas
Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

Proc. 0607/1/15892

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DAS MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO DE IMPACTES AMBIENTAIS IMPLEMENTADAS EM PORTUGAL

Recursos Hídricos e Solos

Relatório Final Sectorial

Estudo realizado para a Estradas de Portugal, S. A.

Lisboa • Maio de 2008

I&D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 199/2008 – NAS



MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES
Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P.

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE
Núcleo de Águas Subterrâneas
Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DAS MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO DE IMPACTES AMBIENTAIS IMPLEMENTADAS EM PORTUGAL

Recursos Hídricos e Solos

Relatório Final Sectorial

Lisboa, Maio de 2008

Estudo realizado para a Estradas de Portugal, S.A.

Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal

Relatório Final - Componente Recursos Hídricos e Solos

RESUMO

O presente relatório foi elaborado para a Estradas de Portugal, S.A. (adiante designada por EP, S.A.) no âmbito do Estudo *Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal*, desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e pela Universidade de Évora. Corresponde ao Relatório Final da componente Recursos Hídricos e Solos. Integra uma compilação de todo o trabalho desenvolvido ao longo do período de vigência do estudo, pelo que inclui as actividades efectuadas e apresentadas em relatórios anteriores bem como a nova componente realizada nos últimos meses relativa à monitorização de águas superficiais, subterrâneas e solos.

O relatório foi estruturado nos seguintes cinco capítulos: Capítulo 1 – Introdução; Capítulo 2 – Metodologia Adoptada e Estradas Analisadas; Capítulo 3 – Monitorização de Recursos Hídricos e Solos; Capítulo 4 – Directrizes para a Definição e o Planeamento de Programas de Monitorização de Recursos Hídricos e Solos e Capítulo 5 – Síntese Conclusiva.

Nos capítulos 2 e 3 é efectuada a análise e a interpretação dos resultados dos programas de monitorização efectuados em Portugal, tendo em vista os seguintes aspectos:

- Inventariação da informação disponível na EP relativamente aos resultados dos programas de monitorização dos recursos hídricos e solos na envolvente de estradas, bem como da demais documentação proveniente de outros estudos, e sua introdução na Base de Dados MIA.mdb (Oliveira *et al.* 2005), construída no âmbito deste estudo;
- Análise da evolução dos impactes ambientais nas fases de construção e de exploração visando a identificação das causas subjacentes à maior ou menor eficácia dos sistemas de minimização de impactes.

Por fim, o Capítulo 4 apresenta um conjunto de directrizes para a definição e a programação de planos de monitorização de recursos hídricos e de solos na área envolvente a estradas.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se às Eng.^{as} Luísa Vales Almeida e Cidalisa Patrício da Estradas de Portugal, S.A. todo o apoio dado às equipas do LNEC na identificação e separação dos volumes dos projectos relevantes para consulta no âmbito deste Estudo.

Agradece-se ao Prof. Manuel Oliveira da Silva e ao Eng. Pedro Santos Coelho a disponibilização, em suporte digital, dos dados de monitorização da A2, durante a fase de construção, relativos aos recursos hídricos subterrâneos e superficiais, respectivamente.

Agradece-se ao Eng.^o Davide Santos da EAHS a amabilidade com que disponibilizou os ficheiros digitais correspondentes ao relatório de monitorização da A22/IC4 – Via do Infante de Sagres.

ÍNDICE DO TEXTO

Capítulo 1:	Introdução	1
Capítulo 2:	Metodologia Adoptada e Estradas Analisadas	2
Capítulo 3:	Monitorização de Recursos Hídricos e Solos	4
3.1	Análise dos resultados de programas de monitorização de águas subterrâneas e solos	4
3.2.1	A1, Bacia de Fátima	4
3.2.2	A2, S. Bartolomeu de Messines – VLA	9
3.2.3	A6, Nó de Borba	17
3.2.4	A23/IP2, Ligação à Covilhã	23
3.2.5	IP4, Vila Real – Vila Verde	25
3.2.6	EN10, Recta do Cabo	26
3.2	Análise dos resultados de programas de monitorização de águas superficiais	29
3.3.1	A2, Almodôvar - São Bartolomeu de Messines	29
3.3.2	A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA	34
3.3.3	A2, Castro Verde - Almodôvar	38
3.3.4	A6, Nó de Borba	43
3.3.5	A10, Bucelas - Arruda dos Vinhos	46
3.3.6	A22/IC4, Alcantarilha - Guia	48
3.3.7	A23/IP2, Ligação à Covilhã	49
3.3.8	A24/IP3, Vila Real - Régua (IP4)	49
Capítulo 4:	Directrizes para a Definição e o Planeamento de Programas de Monitorização de Recursos Hídricos e de Solos	53
4.1	Introdução	53
4.2	Monitorização das águas subterrâneas	54
4.2.1	Objectivos da monitorização	54
4.2.2	Parâmetros a analisar	56
4.2.3	Locais a monitorizar	57
4.2.4	Frequência de monitorização	60
4.2.5	Técnicas e métodos de monitorização e equipamento necessário	61
4.2.6	Conservação das amostras	68
4.3	Amostragem de solos	70
4.3.1	Parâmetros a analisar	70
4.3.2	Locais a monitorizar	70
4.3.3	Metodologias de colheita de solos	71
4.3.4	Procedimentos para a separação de um volume representativo de amostra	71
4.3.5	Valores de referência para a análise da qualidade dos solos	72
4.3.6	Equipamento para a recolha de solos	73
4.3.7	Conservação das amostras	74
4.4	Monitorização das águas superficiais	76
4.4.1	Objectivos da monitorização	76
4.4.2	Parâmetros a monitorizar	76
4.4.3	Locais a monitorizar	78
4.4.4	Frequência de monitorização	80
4.4.5	Técnicas e métodos de monitorização e equipamento necessário	81
4.4.6	Conservação das amostras	85

Capítulo 5: Síntese Conclusiva	87
BIBLIOGRAFIA	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Cobertura aerofotográfica da zona envolvente da A1, bacia de Fátima (Leitão <i>et al.</i> , 2005)	5
Fig. 2 - Concentração em metais pesados nos solos da zona do Covão do Coelho junto à A1, bacia de Fátima (Leitão <i>et al.</i> , 2005)	9
Fig. 3 - Localização dos pontos água subterrânea e das estações de tratamento, relativamente ao sistema aquífero Querença-Silves, junto ao troço da A2, S. Bartolomeu de Messines – VLA	11
Fig. 4 - Síntese estatística da concentração em metais pesados e em hidrocarbonetos totais nas águas subterrâneas recolhidas junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA	13
Fig. 5 - Concentração em Cd, Zn, hidrocarbonetos totais, Fe e Cu em amostras de águas subterrâneas monitorizadas recolhidas junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA	14
Fig. 6 - Concentração em Zn em amostras de águas subterrâneas monitorizadas recolhidas junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA	15
Fig. 7 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas subterrâneas monitorizadas recolhidas junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA	15
Fig. 8 - Ortofotomapa de 1995 com a localização dos pontos de amostragem junto à A6, nó de Borba (Leitão <i>et al.</i> , 2005)	18
Fig. 9 - Enquadramento geográfico dos sistemas aquíferos de Estremoz-Cano e Elvas-Vila Boim (INAG, 1999)	18
Fig. 10 - Locais de amostragem de águas subterrâneas junto à A6, nó de Borba (Leitão <i>et al.</i> , 2005)	20
Fig. 11 - Concentração em metais pesados nos solos junto à A6, nó de Borba (Leitão <i>et al.</i> , 2005)	22
Fig. 12 - Localização dos pontos de monitorização de águas junto à A23/IP2, ligação à Covilhã (Albuquerque <i>et al.</i> , 2006)	24
Fig. 13 - Localização do ponto de amostragem de águas subterrâneas no IP4, Vila Real – Vila Verde	25
Fig. 14 - Esquema geral do plano de monitorização na EN10, Recta do Cabo (Diamantino <i>et al.</i> 2004)	27
Fig. 15 - Síntese estatística das concentrações em sólidos suspensos totais nas águas superficiais monitorizadas na A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines	31
Fig. 16 - Concentração em hidrocarbonetos totais e cádmio em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines	31
Fig. 17 - Síntese estatística das concentrações em hidrocarbonetos totais nas águas superficiais monitorizadas na A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines	32
Fig. 18 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas superficiais recolhidas na ribeira de Odelouca, junto à A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines	32
Fig. 19 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas superficiais recolhidas no rio Arade, junto à A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines	33
Fig. 20 - Fotos ilustrativas de perturbações induzidas pelas acções associadas à obra da A2	34
Fig. 21 - Variação da condutividade eléctrica e dos sólidos dissolvidos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, São Bartolomeu de Messines - VLA	36
Fig. 22 - Concentração em CBO ₅ e sólidos suspensos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, São Bartolomeu de Messines - VLA	36
Fig. 23 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, São Bartolomeu de Messines - VLA	37
Fig. 24 - Ribeira de Mora, a montante, em diversos períodos de amostragem durante a construção	39

Fig. 25 - Variação da condutividade eléctrica em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Castro Verde – Almodôvar _____	41
Fig. 26 - Concentração em sólidos dissolvidos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Castro Verde - Almodôvar _____	41
Fig. 27 - Concentração em Cd, Zn e Cu em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Castro Verde - Almodôvar _____	42
Fig. 28 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Castro Verde - Almodôvar _____	42
Fig. 29 - Localização dos pontos de amostragem de água, de solos e da bacia junto à A6, nó de Borba (Leitão <i>et al.</i> , 2005) _____	44
Fig. 30 - Concentração em Cu, Pb, Zn, e Fe na linha de água junto à A6, nó de Borba (Leitão <i>et al.</i> , 2005) _____	45
Fig. 31 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto à A10, Bucelas - Arruda dos Vinhos (COBA, 2005) _____	47
Fig. 32 - Localização dos pontos de monitorização de água superficial na A22/IC4, Alcantarilha - Guia (adaptado de EuroScut/EAHS/UAIG, 2004) _____	48
Fig. 33 - Localização dos pontos de monitorização de água superficial junto ao A24/IP3, Vila Real – Régua (NORINTER / EGI Ambiente, 2004) _____	50
Fig. 34 - Concentração em hidrocarbonetos totais e em metais pesados em amostras de águas superficiais recolhidas junto ao A24/IP3, Vila Real – Régua _____	51
Fig. 35 - Caudal nas águas superficiais medido junto ao A24/IP3, Vila Real – Régua _____	52
Fig. 36 - Migração de um líquido solúvel de baixa densidade LNAPL (adaptado de Aller <i>et al.</i> , 1989) _____	55
Fig. 37 - Sonda multiparamétrica para monitorização <i>in situ</i> de águas subterrâneas _____	62
Fig. 38 - Exemplo da variação vertical dos valores da temperatura, condutividade eléctrica, salinidade, oxigénio dissolvido e pH medidos com uma sonda multiparamétrica num furo _____	62
Fig. 39 - Exemplos de amostradores de água _____	64
Fig. 40 - Amostradores de águas subterrâneas e representação esquemática do seu funcionamento (adaptado do catálogo da SEBA Hydrometrie) _____	65
Fig. 41 - Amostrador de águas subterrâneas contaminadas com hidrocarbonetos ou óleos e gorduras e representação esquemática do seu funcionamento (adaptado do catálogo da SEBA Hydrometrie) _____	66
Fig. 42 - Esquema de instalação e recolha de amostras com bomba manual de sucção e esquema de funcionamento de válvulas de fundo (http://www.aquagri.com/equipamentos) _____	66
Fig. 43 – Esquema do funcionamento de bombas submersíveis instaladas com dispositivos de pressurização para permitir a recolha de amostras a profundidades até 36 metros (http://www.aquagri.com/equipamentos) _____	67
Fig. 44 - Bomba peristáltica instalada com célula de fluxo e medidor multiparamétrico http://www.aquagri.com/equipamentos _____	68
Fig. 45 - Esquema do modo de recolha de amostras com uma bomba peristáltica manual (http://www.aquagri.com/equipamentos) _____	68
Fig. 46 - Exemplos de redes de amostragem para recolha de amostras compostas _____	71
Fig. 47 - Exemplo de alguns equipamentos de recolha de amostras de solos (http://www.aquagri.com/equipamentos) _____	74
Fig. 48 - Ilustração de recolha de água no leito do rio Guadiana _____	83
Fig. 49 - Medição de parâmetros com sonda multiparamétrica, a partir duma ponte para peões sobre o rio Sado (notar como a velocidade da corrente arrasta a sonda) _____	83
Fig. 50 - Garrafa de Van Dorn _____	84

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Informação existente sobre a monitorização de recursos hídricos para análise de poluição de estradas	3
Quadro 2 - Características dos pontos de água subterrâneas amostrados junto à A1, bacia de Fátima	7
Quadro 3 - Características dos pontos de água subterrâneas amostrados junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA.....	12
Quadro 4 - Características dos pontos de água subterrâneas amostrados junto à A6, nó de Borba (Leitão <i>et al.</i> , 2005).....	20
Quadro 5 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto à A2, Almodôvar - S. Bartolomeu de Messines	29
Quadro 6 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA.....	35
Quadro 7 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto à A2, Castro Verde - Almodôvar.....	38
Quadro 8 - Localização dos pontos de água superficial da rede de amostragem na fase de exploração no troço da A10, Bucelas - Arruda dos Vinhos	46
Quadro 9 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto ao A24/IP3, Vila Real - Régua	50
Quadro 10 - Parâmetros a analisar nas águas subterrâneas em áreas envolventes a estradas	57
Quadro 11 - Resumo de processos de conservação e armazenamento de amostras, para os parâmetros de monitorização recomendados.....	69
Quadro 12 - Concentração de metais pesados em solos agrícolas (Alloway, 1990)	72
Quadro 13 - Valores limite de concentração de metais pesados em solos (Decreto-Lei n.º 118/2006) .	73
Quadro 14 - Resumo de processos de conservação e armazenamento de amostras de solos, para alguns parâmetros de monitorização recomendados USEPA (1989).....	75
Quadro 15 - Parâmetros a analisar nas águas superficiais em áreas envolventes a estradas	77
Quadro 16 - Resumo de processos de conservação e armazenamento de amostras, para os parâmetros de monitorização recomendados.....	86

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DAS MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO DE IMPACTES AMBIENTAIS IMPLEMENTADAS EM PORTUGAL

Recursos Hídricos e Solos

Relatório Final Sectorial

Capítulo 1: Introdução

Apresenta-se o relatório final da componente recursos hídricos e solos de um conjunto de documentos elaborados para a Estradas de Portugal, S.A. (adiante designada por EP, S.A.), no âmbito do protocolo *Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal*, celebrado entre a EP, S.A. e o LNEC, com a colaboração da Universidade de Évora, que decorreu entre Maio de 2005 e Maio de 2008.

Os objectos principais de estudo deste relatório são a sistematização da análise e da interpretação da informação introduzida na Base de Dados MIA.mdb (Oliveira *et al.* 2005), bem como da demais documentação existente, relativa à monitorização do meio ambiente envolvente à estrada (recursos hídricos e solos). Com base no conjunto de dados e de informações disponíveis procedeu-se, até onde estes mesmos dados o permitiram, à identificação das causas subjacentes à maior ou menor eficácia dos sistemas de minimização de impactes.

Este relatório inclui também um dos instrumentos de apoio aos processos de avaliação de impactes ambientais de projectos rodoviários, nomeadamente, as principais *directrizes para planos de monitorização de águas superficiais e subterrâneas* tendo em vista a obtenção de informação representativa do impacto da poluição das estradas nesses meios.

Capítulo 2: Metodologia Adoptada e Estradas Analisadas

Este relatório é dedicado à avaliação da eficácia das medidas de minimização de impactes ambientais implementadas em Portugal no domínio da redução da poluição proveniente das águas de escorrência de estradas, efectuada por meio de uma apreciação indirecta através da análise da evolução da qualidade da água no ambiente envolvente.

Paralelamente, pretende-se que constitua um repositório do conhecimento nacional sobre os resultados da monitorização de recursos hídricos subterrâneos e superficiais em áreas envolventes a estradas em funcionamento e, assim, da análise do efeito da poluição de estradas na qualidade dos meios hídricos envolventes. Esta análise abrange, deste modo, não só as estradas onde foram implementadas medidas de minimização, mas também as estradas sem sistemas de minimização, até para poder analisar eventuais diferenças de tendências entre ambas.

Para o desenvolvimento da análise acima referida foi efectuada uma recolha, junto da EP, S.A., de toda a informação existente nos seus arquivos, em 2006, sobre a caracterização dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos junto a auto-estradas e a Itinerários Principais, tanto para a fase de construção como para a fase de exploração. Além dessa informação, inserida na Base de Dados MIA.mdb construída para este estudo (Oliveira *et al.* 2005), foi ainda analisada a informação disponível em trabalhos publicados em Portugal sobre os efeitos da poluição de estradas nacionais, em exploração, na qualidade dos recursos hídricos da área envolvente.

O Quadro 1 apresenta a síntese da informação existente e o tipo de sistemas de tratamento a ela associados. Da análise do referido quadro constata-se haver 12 estradas para as quais existe informação sobre a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos e/ou dos superficiais.

Quadro 1 - Informação existente sobre a monitorização de recursos hídricos para análise de poluição de estradas

Designação da estrada	Designação do troço da estrada	Pontos de água monitorizados				Sistema de tratamento	
		Construção		Exploração		n.º	Tipo
		Subterrâneo	Superficial	Subterrâneo	Superficial		
A1	Fátima	-	-	2	-	1	Bacia de decantação
A2	Almodôvar -- S. Bartolomeu de Messines	-	12	-	14	-	-
A2	S. Bartolomeu de Messines -- VLA	18	12	11	12	6	Estações de tratamento
A2	Castro Verde -- Almodôvar	-	12	-	4	-	-
A6	Nó de Borba	-	-	4	3	3	Bacias pré-tratamento
A7/IC5	Basto -- Ribeira de Pena	47	3	-	-	-	Projecto não disponível
A10	Bucelas -- Arruda dos Vinhos	-	-	-	11	-	-
A13	Almeirim -- Salvaterra de Magos	2	-	-	-	-	-
A22/IC4	Alcantarilha -- Guia	-	-	-	2	3+1	Bacias de retenção e tratamento
A23/IP2	Ligação à Covilhã	-	-	2	1	4	Bacias de tratamento
A24/IP3	IP5 -- Castro D'Aire Sul	3	12	-	-	-	-
A24/IP3	Vila Real -- Régua (IP4)	-	4	-	4	2	Bacia multifuncional
A24/IP3	EN103 -- Chaves (Fronteira)	6	13	-	-	1	Vala relvada
IP4	Vila Real -- Vila Verde	-	-	1	-	3	Bacias de tratamento
A27/IP9	Nogueira -- Estorãos	2	4	-	-	2	Sistemas de contenção de risco
A27/IP9	Estorãos -- Ponte de Lima	7	5	-	-	2	Sistemas de contenção de risco
EN10	Recta do Cabo	-	-	2	-	-	-

Neste capítulo analisa-se em pormenor a informação dos troços de estrada para os quais há informação na fase de exploração, efectuando nesses casos uma análise de todos os dados desde a fase de construção. Assim, as duas últimas colunas do Quadro 1 correspondem aos troços analisados neste capítulo: (1) seis troços com informação sobre as águas subterrâneas, cinco dos quais associados a sistemas de tratamento e (2) oito troços com informação sobre as águas superficiais, cinco dos quais associados a sistemas de tratamento.

De referir que, não obstante não ser apresentada uma análise das estradas para as quais apenas há informação na fase da construção, atendendo a que o objectivo do estudo é a análise dos efeitos de poluição de estradas em funcionamento, todos os dados dessas estradas (*cf.* Quadro 1) foram carregados na Base de Dados MIA.mdb (Oliveira *et al.* 2005), para poderem vir a ser analisados mais tarde quando houver informação da fase de exploração. Em alguns casos a informação é só de quantidade, como o caso da A7/IC5, Basto - Ribeira de Pena cujos dados correspondem a 47 pontos de água com dados de quantidade (caudais de nascentes e profundidade ao nível de poços e furos).

Para se poder ter um valor de referência sobre a qualidade das águas monitorizadas, os resultados obtidos são analisados à luz aos valores definidos na Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98 que regula a qualidade das águas doces destinadas à produção de

água para consumo humano.

Capítulo 3: Monitorização de Recursos Hídricos e Solos

3.1 Análise dos resultados de programas de monitorização de águas subterrâneas e solos

3.2.1 A1, Bacia de Fátima

3.2.1.1 Caracterização da envolvente

A informação que se apresenta para este troço resulta de um estudo que o LNEC realizou para o Instituto da Água (Leitão *et al.*, 2005) sobre os avaliação e gestão ambiental de águas de escorrência de estradas e de outros estudos anteriores designadamente SEIA (1995).

Do ponto de vista hidrológico, a área estudada localiza-se sobre o maciço calcário jurássico, predominando os relevos cársticos com preenchimentos argilosos nas zonas morfológicamente deprimidas. A zona envolvente ao troço apresenta características essencialmente rurais onde predominam pinhais e eucaliptais e, ainda, urbanas através da presença da cidade de Fátima e de outras pequenas povoações (Fig. 1) que, no seu conjunto, representam fontes adicionais de poluição além da proveniente das estradas.



Fonte: adaptado de <http://ortos.cnig.pt/ortofotos/indexp.html>

Fig. 1 - Cobertura aerofotográfica da zona envolvente da A1, bacia de Fátima (Leitão *et al.*, 2005)

Por forma a compreender a circulação de águas subterrâneas neste meio, designadamente de uma água de escorrência da estrada que entre no maciço através de recarga, o texto do Plano de Bacia Hidrográfica do rio Tejo (Oliveira *et al.* 2000) refere que este aquífero cársico é muito heterogéneo e bastante complexo, com elevado grau de organização da drenagem subterrânea (INAG, 1997). De acordo com Crispim (1995 *in* INAG, 1997) a drenagem superficial é quase inexistente, demonstrando o elevado grau de organização da drenagem subterrânea, controlada pela fracturação, litologia e morfologia do maciço. Este maciço apresenta uma extensa faixa de circulação vertical – com cerca de 400 m de espessura (Manuppella *et al.*, 1985).

As águas infiltradas dão origem a importantes recursos hídricos subterrâneos que surgem em diversas nascentes localizadas no sopé da Serra de Aire. Costa Almeida (comunicação pessoal) assinala que a delimitação das áreas de alimentação de cada nascente apresenta grandes dificuldades devido ao padrão altamente complexo do escoamento em meios cársicos.

Pelo facto de as águas subterrâneas do Maciço Calcário Estremenho se desenvolverem em rochas carbonatadas de elevada carsificação, apresentam elevada vulnerabilidade à poluição (Oliveira *et al.*, 2000). A elevada fracturação e elevado grau de carsificação são aspectos que se traduzem na rápida infiltração das águas da chuva, sendo por isso uma zona de recarga preferencial. Os mesmos autores estimam que a recarga global do aquífero seja 44% do valor

da precipitação. Estes processos têm como resultado a escassez de linhas de água superficiais, facto que confere à paisagem aspecto de aridez observável nalgumas zonas.

Não obstante a elevada presença de águas nestes maciços, uma característica comum dos maciços cársicos desenvolvidos é a dificuldade de captar água através de furos, pois na maioria dos casos estes são pouco produtivos ou mesmo improdutivo, dado que a água circula essencialmente através de galerias cársicas, por vezes de grande capacidade, inseridas em maciços rochosos de permeabilidade muito mais baixa; esta dificuldade de captar água neste tipo de meios é bem demonstrada no Maciço Calcário Estremenho onde os dados referentes a sondagens realizadas no seu interior, embora escassos, indicam caudais em geral fracos ou nulos (Costa Almeida, comunicação pessoal, *in* Oliveira *et al.* 2000).

As rochas carbonatadas atravessadas durante as sondagens mecânicas efectuadas para a definição do projecto geotécnico da auto-estrada apresentaram valores de elevada permeabilidade. Contudo, estas rochas apresentam baixa capacidade de armazenamento à superfície. De facto, segundo um levantamento efectuado pelo LNEC a 27 de Junho de 2002 (Leitão *et al.*, 2005), aquando da recolha dos solos, a população local referiu utilizar este recurso para abastecimento, sendo que os furos são profundos, quase sempre abaixo dos 100 m. SEIA (1995), refere a existência de aquíferos de características livres a profundidades muito pequenas (1 a 4-5 m) mas certamente a sua existência será esporádica e sem sustentabilidade de exploração, pelo que não se encontraram furos a este nível.

Leitão *et al.* (2000b) apresentam, no âmbito do Plano de Bacia do rio Tejo, uma caracterização da qualidade das águas subterrâneas com base em 65 análises químicas efectuadas em 40 captações, entre o período de 1971 e 1998. As águas subterrâneas do maciço calcário Estremenho são classificadas como bicarbonatadas cálcicas. Concluiu-se que a qualidade bacteriológica das águas deste sistema é deficiente por ocorrerem valores muito superiores aos admissíveis para coliformes fecais e totais, estreptococos e salmonelas. Contudo, as águas são geralmente, do ponto de vista químico, de boa qualidade. Uma pequena percentagem das amostras apresenta valores em nitratos e ferro superiores ao VMA.

O mesmo estudo refere que a elevada vulnerabilidade à poluição destas formações associada ao deficiente saneamento básico em algumas zonas da região são os factores apontados como responsáveis pelo aparecimento esporádico de valores elevados em hidrocarbonetos e alguns metais pesados.

3.2.1.2 Informação analisada

O efeito da poluição das estradas nos recursos hídricos foi essencialmente estudado em três trabalhos (Impacto2000, 1990; SEIA, 1995 e Leitão *et al.*, 2005). Todos esses estudos incidiram apenas na análise dos efeitos de poluição nas águas subterrâneas, visto não haver quaisquer cursos de água perenes devido à grande facilidade de infiltração da água no maciço.

Nos dois primeiros trabalhos (SEIA, 1995) foram efectuadas campanhas de monitorização da água, ao longo de um ano, em 12 pontos de água que incluíram furos e nascentes localizados nos sublanços Torres Novas – Fátima e Pombal - Condeixa. Os parâmetros analisados foram o cádmio, o chumbo, o cobre e o zinco.

Em Leitão *et al.* (2005) foram realizadas recolhas em dois pontos de água: um furo de baixa profundidade (7,5 m) localizado em Lameira, a cerca de 1,5 a 2 km da A1, e na Gruta da Moeda, a cerca de 500 m da A1. Os dois pontos de águas subterrâneas encontram-se um de cada lado da A1. Esse estudo foi complementado com uma análise de solos naturais envolventes à estrada à saída de caleiras de drenagem da estrada e de uma Passagem Hidráulica, às distâncias de 0; 0,5 e 1 m, à profundidade 0 - 5 cm que aqui é brevemente referida uma vez que auxilia nas conclusões sobre o efeito da poluição das águas de escorrência de estradas nos meios hídricos.

3.2.1.3 Análise dos resultados

Em SEIA (1995) apresenta-se uma comparação entre as análises realizadas para o Estudo de Impacte Ambiental (período de construção, Impacto2000, 1990) e as análises durante a fase da exploração. Os resultados obtidos referem que "a concentração de poluentes detectada (Pb e Zn) foi geralmente baixa estando, na maior parte dos casos, abaixo dos limites estabelecidos para água para consumo humano". O mesmo trabalho conclui que não se detectaram variações significativas dos resultados nos dois períodos. Crê-se, no entanto, que a profundidade dos furos monitorizados (entre 100 e 314 m de profundidade) conjugada com a distância à estrada de vários km será excessiva para se poder tirar elações sobre o efeito da poluição gerada pelas águas de escorrência, podendo ser esta uma das razões pela qual o estudo de SEIA (1995) não permitiu estabelecer uma relação causa efeito.

Em Leitão *et al.* (2005) procurou-se efectuar amostragens em locais mais próximos e a captar a menor profundidade, cujas características são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Características dos pontos de água subterrâneas amostrados junto à A1, bacia de Fátima

Designação	M (m)	P (m)	Tipo de ponto	Distância à estrada (m); lado da estrada
Lameira	155650	294675	Furo	1500 a 2000; Lado de Fátima
Moeda	150850	295250	Gruta	500; Lado oposto a Fátima

Os resultados das concentrações nos parâmetros químicos analisados apresentam concentrações inferiores ao VMR (ou VMA na ausência de VMR definido) da água destinada à produção de água para consumo humano (Anexo I do DL 236/98) quando estes estão definidos. Em termos da presença de metais pesados apenas o Zn e o Pb apresentam valores superiores ao limite de detecção, embora surjam em concentrações bastante baixas. Não se

detectam, portanto, quaisquer sinais de influência das águas de escorrência da A1 naqueles locais, embora estas conclusões se reportem a apenas um período de amostragem e a locais, também eles, a distância significativa da estrada não permitindo concretamente avaliar a eficácia da bacia de Fátima.

A influência da poluição de estradas no ambiente foi, ainda, analisada em Leitão *et al.* (2005) através dos resultados obtidos para a concentração de metais pesados nos solos que permitiram registar a presença de Zn, Pb e Cu nas várias amostras analisadas. A Fig. 2 permite observar que o Zn ultrapassa o valor de intervenção, definido nas normas holandesas, nos sedimentos mais próximos da saída de uma caleira que drena águas de escorrência da estrada e da passagem hidráulica. Os valores guia para o Zn, o Cu e o Pb (140, 36 e 85 mg/kg, respectivamente) são ultrapassados em todas as amostras a distâncias inferiores a 2 m da descarga de águas de escorrência e superiores ao valor de intervenção para o caso do Zn. Para distâncias superiores a 2 m dos locais de descarga das águas de escorrência, os valores nos 3 metais pesados são já inferiores aos respectivos valores guia, registando-se uma rápida diminuição da concentração de poluentes nos solos com a maior distância à estrada. É natural que situações semelhantes se observem para as zonas da A1 com susceptibilidades equivalentes.

A relação $Zn \gg Pb > Cu$ é a mais frequentemente encontrada nos solos naturais analisados, de modo equivalente ao que se passa nos solos da bacia e, obviamente, como resultado das concentrações nas águas de escorrência da A1. No entanto, a concentração relativa entre o Pb e o Cu é por vezes invertida, surgindo o Cu em maiores concentrações. Este facto pode ter origem na diminuição drástica do Pb nas águas de escorrência, na década de 90, e pode também resultar de processos de adsorção selectiva de um metal em detrimento de outro. O Cd apenas foi encontrado nalguns solos onde o limite de detecção utilizado foi menor; a sua concentração é sempre inferior ao valor guia holandês de 0,8 mg/kg (Norma Holandesa, 1994), sendo o valor mais elevado correspondente aos solos situados à saída da PH.

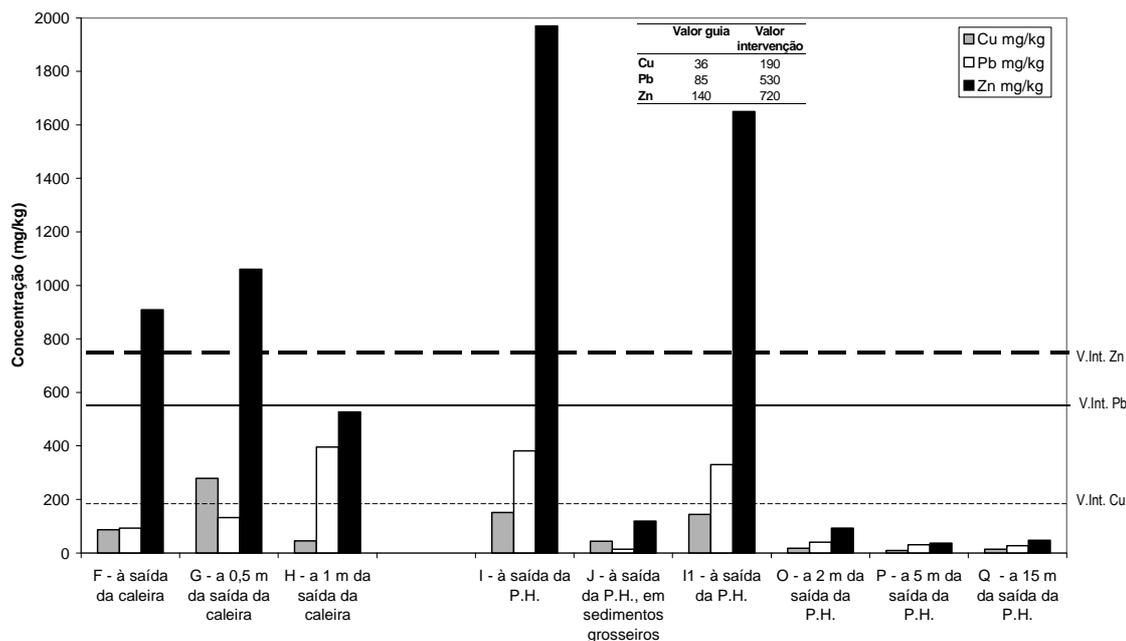


Fig. 2 - Concentração em metais pesados nos solos da zona do Covão do Coelho junto à A1, bacia de Fátima (Leitão *et al.*, 2005)

Em síntese, embora não tenha sido detectada a influência da poluição de estradas nas águas subterrâneas, a poluição encontrada nos solos naturais e nos sedimentos e águas da bacia de Fátima é suficiente para concluir da necessidade de proteger as águas do maciço calcário de elevada vulnerabilidade através sistemas de tratamento adequadamente dimensionados (ver componente sobre sistemas de minimização de águas de escorrência deste Estudo). A distância a que se encontram os pontos de amostragem de águas subterrâneas da estrada e do sistema de tratamento não permitem detectar poluição ou avaliar a eficácia das medidas de minimização, dados os complexos sistemas de circulação da água subterrânea.

3.2.2 A2, S. Bartolomeu de Messines – VLA

3.2.2.1 Caracterização da envolvente

O troço da A2, S. Bartolomeu de Messines – VLA atravessa, em cerca de 7 km do seu percurso, o sistema aquífero Querença-Silves que constitui uma das principais origens de água para abastecimento ao Algarve. Este facto conduziu à construção das 6 estações de tratamento, referidas na secção sobre sistemas de minimização de águas de escorrência deste Estudo, destinadas a proteger a qualidade da água deste importante e vulnerável sistema. Trata-se de um sistema aquífero cársico livre a confinado que apresenta elevada vulnerabilidade à poluição.

O sistema aquífero Querença-Silves (M5), caracterizado em Almeida *et al.* (2000) (cf. <http://www.snirh.pt/>), reveste-se de grande importância para a região do Algarve em termos quantitativos e qualitativos, sendo explorado para consumo humano e para rega. Segundo Reis (2006), este sistema constitui uma das principais origens de água para abastecimento ao Barlavento Algarvio, sendo explorado pela empresa Águas do Algarve, cujas captações se situam na zona do Vale da Vila. Encontram-se ainda em funcionamento outras captações públicas dos concelhos de Silves, Albufeira e Loulé e um elevado número de captações particulares utilizadas para a rega e/ou para consumo humano.

O sistema aquífero ocupa uma área de 318 km², estendendo-se desde Querença, onde se localiza a principal região de recarga (Nave do Barão, Nave dos Cordeiros) até às nascentes de Estômbar que constituem a principal zona de descarga. A recarga faz-se essencialmente por infiltração directa da precipitação sob as formações carbonatadas carsificadas aflorantes e através das linhas de água (bacias hidrográficas do rio Arade e ribeiras do Sotavento) que atravessam o sistema. De um modo geral, o fluxo subterrâneo dá-se para Oeste, variando entre as direcções N-S e E-W (Monteiro *et al.*, 2007). A A2 atravessa o sistema de forma perpendicular ao sentido do fluxo subterrâneo que, como atrás se refere, se faz preferencialmente de Este para Oeste.

A Fig. 3 apresenta o enquadramento geral das principais formações litológicas sobre as quais incidem os impactes ambientais resultantes da construção e da exploração da A2 e a localização das estações de tratamento (ET_x) e pontos de águas subterrâneas (P_x). O troço em análise atravessa os dolomitos e calcários da formação de Picavessa.

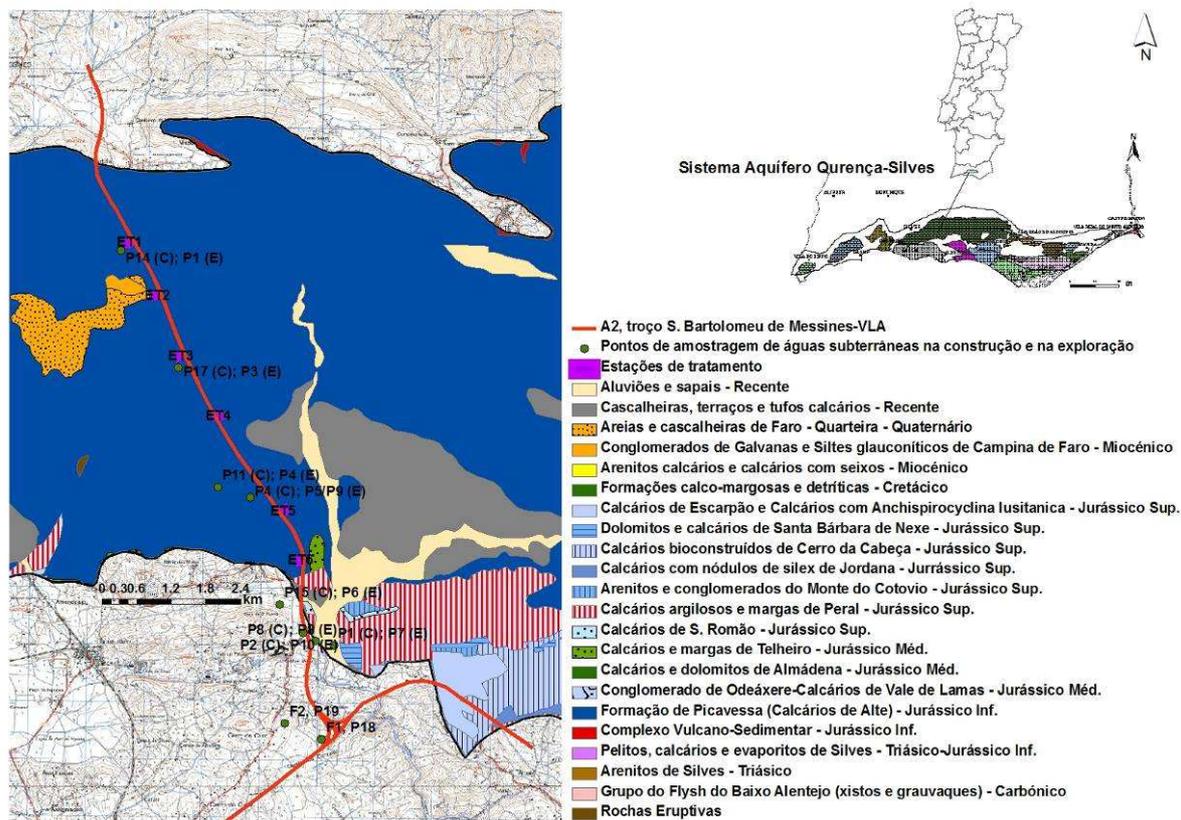


Fig. 3 - Localização dos pontos água subterrânea e das estações de tratamento, relativamente ao sistema aquífero Querença-Silves, junto ao troço da A2, S. Bartolomeu de Messines – VLA

Em termos de qualidade, a água deste sistema é influenciada pelos processos de dissolução de carbonatos, apresentando uma dureza elevada e concentração elevada em cálcio e magnésio. A fácies da água deste sistema é essencialmente bicarbonatada cálcica (Almeida *et al.*, 2000).

3.2.2.2 Informação analisada

A informação analisada para este troço foi a disponibilizada pela EP, S.A. e encontra-se publicada nos relatórios da UNL (2001, 2002a, 2002b, 2002c, 2002d, 2003a, 2003b) e COBA (2005a, 2005b). Essa informação foi inserida na Base de Dados MIA.mdb (Oliveira *et al.* 2005).

No Quadro 3 apresenta-se a localização dos pontos em termos de coordenadas militares, bem como o lado e a distância à estrada. Inicialmente previu-se uma rede de amostragem de 19 pontos de água subterrânea para as fases de construção e de exploração. Contudo, desses 19 pontos, apenas dez (oito furos, um poço e a nascente de Paderne) foram efectivamente monitorizados em ambas as fases, tendo sido acrescentado um novo furo na fase de exploração, o P2 (exploração) (*cf.* Quadro 3). São esses 10 pontos os analisados nesta secção, uma vez que só eles permitem a análise da evolução da qualidade da água antes e depois do

funcionamento da estrada.

Os pontos de água da rede de amostragem localizam-se nas proximidades da via, e estão maioritariamente situados a Oeste do traçado da A2, *i.e.* a jusante, tendo em conta a direcção principal do fluxo subterrâneo regional (*cf.* Fig. 3). A Fig. 3 apresenta os pontos comuns a ambas as fases e a sua localização relativamente aos 6 sistemas de minimização implementados.

Quadro 3 - Características dos pontos de água subterrâneas amostrados junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA

Designação	M (m)	P (m)	Tipo de ponto	Distância à estrada (m); lado da estrada	Fase analisada
F1; P18	192970	20820	Furo	103; direito	C, E
F2; P19	192340	21100	Furo	580; direito	C, E
P1 (construção); P7 (exploração)	193181	22457	Nascente	460; esquerdo	C, E
P10 (construção)	192666	22189	Poço	75; direito	C
P11 (construção); P4 (exploração)	191178	25208	Furo	600; direito	C, E
P12 (construção)	191604	25908	Furo	125; esquerdo	C
P14 (construção); P1 (exploração)	189502	29332	Furo	160; direito	C, E
P15 (construção); P6 (exploração)	192241	23169	Furo	360; direito	C, E
P16 (construção)	189070	31695	Furo	100; direito	C
P17 (construção); P3 (exploração)	190501	27291	Furo	150; direito	C, E
P2 (construção); P10 (exploração)	192654	22667	Furo	67; direito	C, E
P2 (exploração)	190393	28804	Furo	275; esquerdo	E
P3 (construção)	191482	25202	Furo	350; direito	C
P4 (construção); P5/P9 (exploração)	191744	25025	Furo	200; direito	C, E
P5 (construção)	191695	24422	Furo	650; direito	C
P6 (construção)	191811	26164	Furo	425; esquerdo	C
P7 (construção)	190264	27900	Furo	175; direito	C
P8 (construção); P8 (exploração)	192863	22526	Poço	100; esquerdo	C, E
P9 (construção)	189886	28583	Poço	275; direito	C

Legenda: E – Exploração; C – Construção.

Os parâmetros analisados foram variando ao longo das campanhas e sendo seleccionados de acordo com os resultados analíticos obtidos, tendo em conta o conhecimento existente da geometria do modelo de funcionamento do sistema aquífero (UNL, 2002a). O programa incluiu a análise dos seguintes parâmetros: pH, condutividade eléctrica, oxigénio dissolvido, oxidabilidade, sulfatos, nitratos, cloretos, bicarbonato, cálcio, sódio, magnésio, potássio, flúor, fósforo total, silício, Fe, Cd, Zn, Cu e hidrocarbonetos.

A frequência da amostragem inicialmente estabelecida foi bimestral tendo sofrido ajustamentos ao longo do tempo de vigência dos trabalhos. Na fase de construção, a monitorização realizou-se no período entre 2001 e 2002, num total de cinco campanhas. Na fase de exploração realizaram-se 3 campanhas em 2004 e uma em 2005. A amostragem

realizada em 2005 incidiu em apenas 4 pontos de água (foram excluídos os pontos de água situados a norte e a sul do traçado) com análises apenas para o Fe, Cd, Zn, Cu e hidrocarbonetos.

3.2.2.3 Análise dos resultados

A Fig. 4 apresenta uma síntese dos resultados obtidos para a qualidade das águas subterrâneas neste troço da A2, em relação a alguns dos parâmetros ligados à poluição das estradas (metais pesados e hidrocarbonetos totais), para as fases de construção e de exploração.

Numa primeira observação comparativa entre as duas fases, e para os dois parâmetros que permitem uma comparação directa (Zn e hidrocarbonetos totais) observam-se valores mais elevados de HT nas amostras recolhidas durante o período da exploração da estrada. Pelo contrário, as concentrações em zinco apresentam valores mais elevados na fase de construção. Também se observam valores ligeiramente mais elevados na fase de exploração de outros parâmetros como a condutividade eléctrica da água, cloretos e nitratos, não apresentados na figura nem tratados neste relatório dado não estarem directamente relacionados com a poluição de estradas.

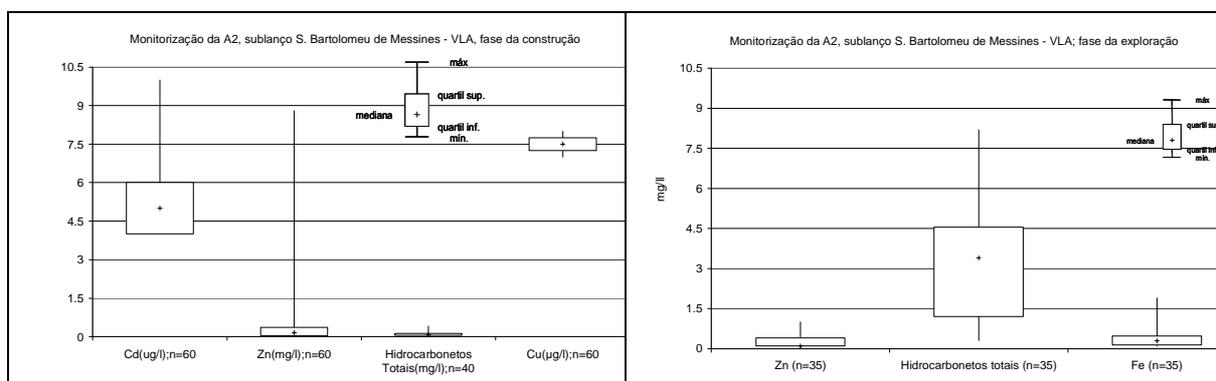
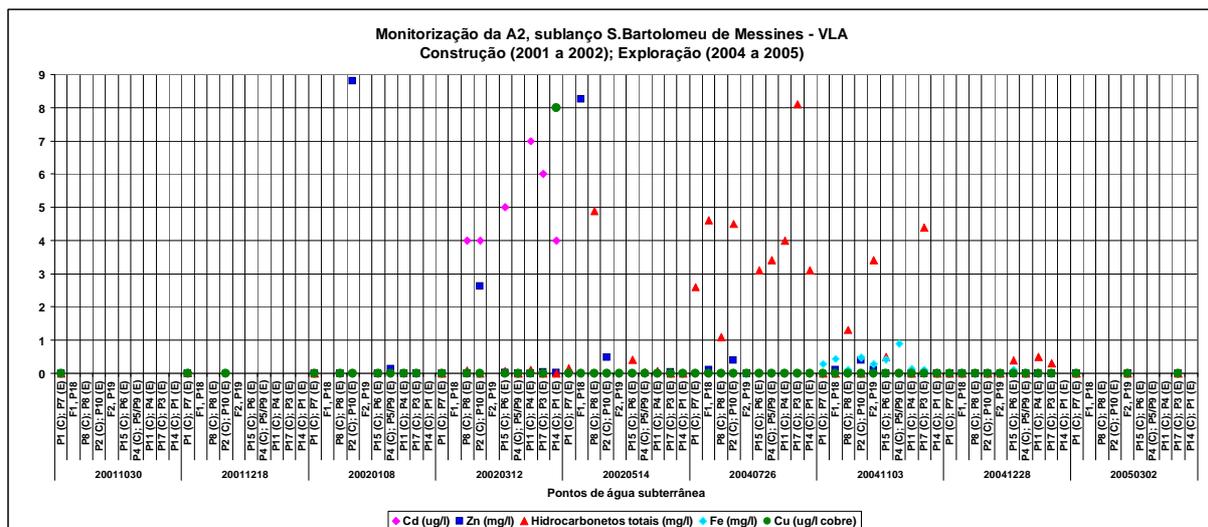


Fig. 4 - Síntese estatística da concentração em metais pesados e em hidrocarbonetos totais nas águas subterrâneas recolhidas junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA

De referir que na fase de construção a concentração em Fe, Pb e Cr não foi analisada. Na fase de exploração, as concentrações em Ni, Cd, Cr e Cu na água apresentam valores abaixo do limite de detecção do método analítico e o Pb não foi analisado. As concentrações dos parâmetros Fe, Cd, Zn, Cu e hidrocarbonetos totais para os 4 pontos de água analisados em 2005 apresentaram sempre valores inferiores ao limite de detecção dos métodos analíticos utilizados.

A Fig. 4 permite observar a evolução da qualidade das águas subterrâneas nos dez pontos de água para os parâmetros em que há dados nas duas situações e para os poluentes

potencialmente associados à poluição de estradas.



Nota: as unidades utilizadas para os diferentes parâmetros não são as mesmas; p.f. atender à legenda da figura.

Fig. 5 - Concentração em Cd, Zn, hidrocarbonetos totais, Fe e Cu em amostras de águas subterrâneas monitorizadas recolhidas junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA

A análise da Fig. 5 permite constatar a ocorrência de Cd apenas nas amostras recolhidas em 6 pontos de água subterrânea em Março de 2002, cujas concentrações variam entre 4 e 7 $\mu\text{g/l}$, *i.e.* ultrapassam por vezes o VMA de 5 $\mu\text{g/l}$ estabelecido para a Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98. Os valores de Cd analisados nas restantes amostras recolhidas antes e depois desta campanha encontram-se abaixo do limite de detecção do método analítico utilizado (4 $\mu\text{g/l}$).

O zinco é um metal que surge acima do limite de detecção usado (2 $\mu\text{g/l}$) (*cf.* Fig. 5 e Fig. 6), embora em concentrações baixas tendo em conta o VMA de 3000 $\mu\text{g/l}$ definido na Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98. As maiores concentrações de zinco foram observadas nos pontos de água situados a sul, fora do limite do sistema aquífero. É possível que a origem do Zn esteja ligada ao revestimento dos furos galvanizados com este metal.

Verificou-se que as concentrações em cobre nas amostras analisadas são todas inferiores ao limite de detecção do método analítico, à excepção de uma amostra recolhida em Março de 2002, no ponto P14 (C); P1 (E).

Segundo Reis (2006), a presença de alguns metais pesados, inclusive em pontos mais distantes da estrada quer a jusante quer a montante do escoamento subterrâneo, poderá resultar de origem natural uma vez que na base do aquífero existe o complexo vulcano-sedimentar, cujas formações litológicas contêm minerais com alguns dos metais analisados.

Em relação aos hidrocarbonetos totais (*cf.* Fig. 5 e Fig. 7) verifica-se o aparecimento de concentrações muito elevadas (da ordem de mg/l!) na água a partir de Maio de 2002, embora seja no período após o início da exploração que estas concentrações ocorrem em quase todos os pontos de água. Observa-se a tendência para a diminuição de hidrocarbonetos, nos mesmos locais amostrados, em períodos posteriores.

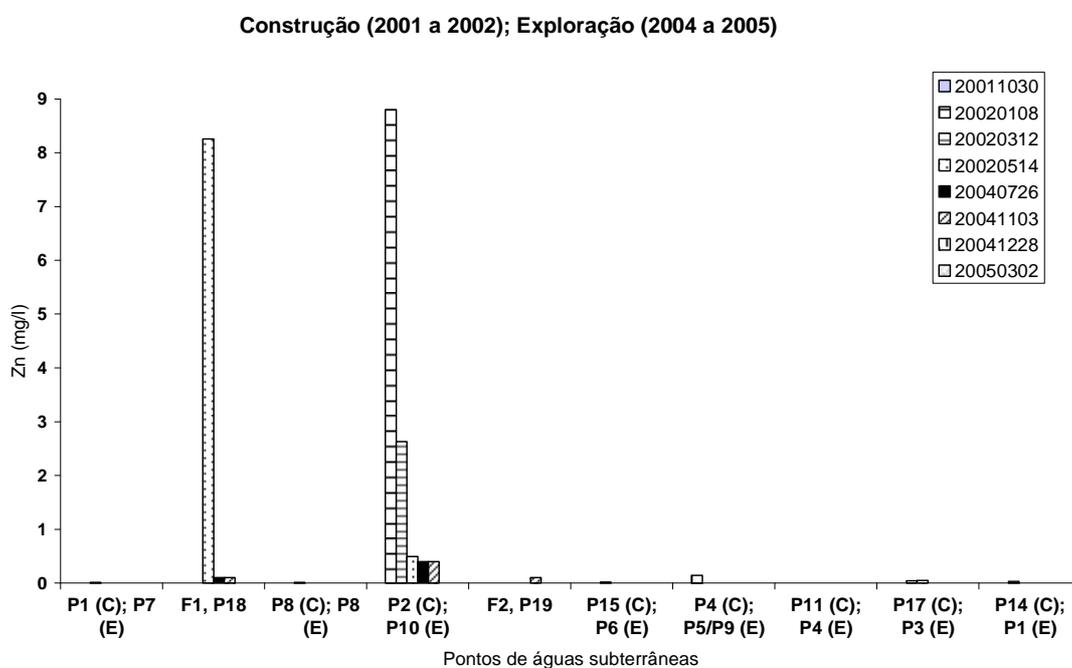


Fig. 6 - Concentração em Zn em amostras de águas subterrâneas monitorizados recolhidas junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA

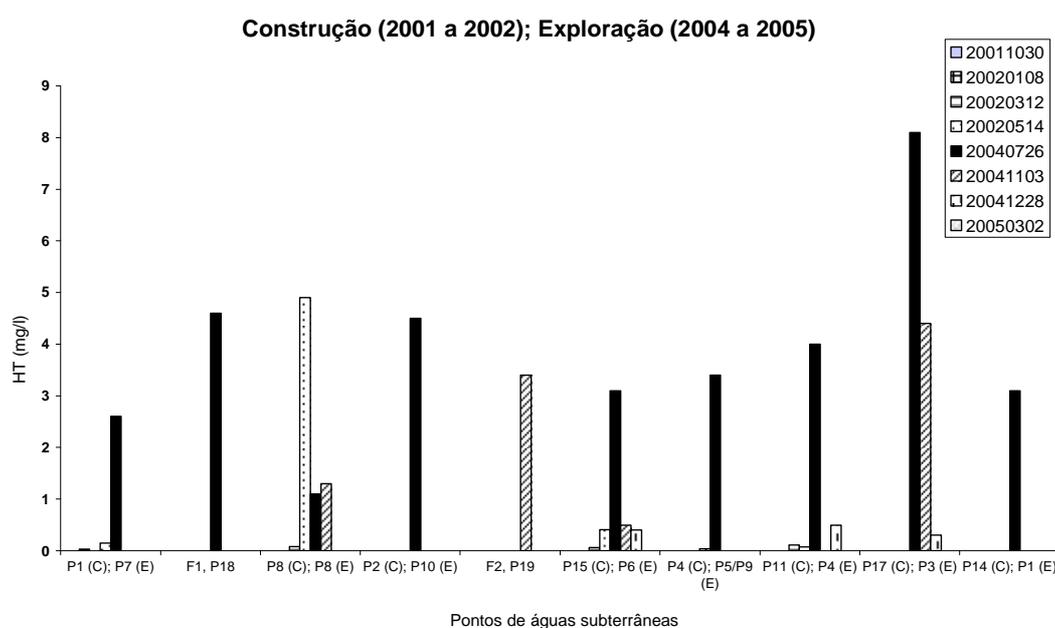


Fig. 7 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas subterrâneas monitorizados recolhidas junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA

Um outro aspecto que sobressai da análise da Fig. 7 é o facto de haver uma dispersão espacial do processo de contaminação, uma vez que os HT foram detectados em todos os pontos monitorizados e essencialmente para um mesmo período de tempo. Um efeito desta natureza faz supor que a origem de poluição seja ela própria também espacialmente distribuída em toda a extensão de montante dos pontos amostrados, na medida em que localmente o escoamento subterrâneo se processa perpendicularmente à estrada. Caso se tratasse de uma poluição de natureza pontual (p.e. uma bomba de gasolina localizada nas proximidades) teria como efeito uma chegada ao longo do tempo dos poluentes aos pontos de amostragem e não numa mesma data.

É possível que esta poluição por hidrocarbonetos possa ter tido origem ainda antes da fase de exploração e de operação da estrada e que a sua chegada tardia aos furos se deva ao tempo de percolação dos poluentes até aos mesmos. Por exemplo se um contaminante fosse vertido na estrada teria que atravessar verticalmente uma zona não-saturada de cerca de 20 m (no período de Setembro de 2004, a superfície piezométrica no local encontrava-se entre os 15 e 20 m de profundidade, segundo Lopes *et al.*, 2005) até atingir a zona saturada, local onde os valores de condutividade hidráulica do aquífero para o sector em causa são de cerca de 1 m/d (Lopes *et al.*, 2005).

Apesar da inegável relevância destes dados, os conhecimentos de que se dispõe não permitem uma interpretação e explicação cabal destas ocorrências. Várias hipóteses poderão estar na origem da contaminação encontrada. Por exemplo, poderá ser um problema gerado num acidente de grande extensão espacial no IC1, localizado a cerca de 3 km a leste da A2; poderá ser um problema gerado nas actividades de construção da A2 e poderá ser um acidente na fase de exploração da A2. Também não é de eliminar a hipótese de haver um erro analítico laboratorial ou da monitorização ter sido efectuada com técnicas desadequadas, embora estas suspeitas sejam reduzidas devido aos elevados valores encontrados (não se trata de uma pequena contaminação que pudesse ter surgido por deficiente lavagem de frascos) e ao facto de, quer as amostragens quer as análises químicas, terem sido efectuadas por duas equipas e dois laboratórios distintos ao longo das amostragens.

De referir que um estudo anterior sobre poluição de estradas realizado para o IC1, com dados recolhidos entre 1998 e 2004 (Reis, 2006), identificou a presença de Zn, Cu, Pb, Cr, Fe e hidrocarbonetos nas águas de escorrência da estrada em diferentes períodos e secções. Não obstante, em relação às águas subterrâneas, o mesmo estudo concluiu que a maioria das concentrações em metais pesados se encontravam abaixo do limite de potabilidade, à excepção do Fe e Zn. Os hidrocarbonetos encontravam-se abaixo do limite de detecção, aspecto que não está em sintonia com os resultados agora obtidos, embora as datas não sejam coincidentes e a estrada seja outra.

A investigação das hipóteses acima colocadas implica que se procure manter o programa de monitorização delineado para avaliar a evolução da qualidade da água para um período de

tempo mais significativo. Por outro lado, a amostragem de solos ao longo da estrada e a diferentes distâncias da mesma poderá ajudar a encontrar a(s) origem(ns) e o percurso subjacentes a esta poluição, designadamente avaliar a eventual ocorrência de um derrame acidental.

Em síntese, a presença de metais pesados é restrita e apenas o Cd aparece em valores acima do VMA. Em relação aos outros metais analisados, que aparecem com valores superiores aos respectivos limites de detecção em várias amostras, Reis (2006) refere que a sua presença também poderá resultar de origem natural uma vez que na base do aquífero existe o complexo vulcano-sedimentar, cujas formações litológicas contêm minerais com alguns dos metais analisados.

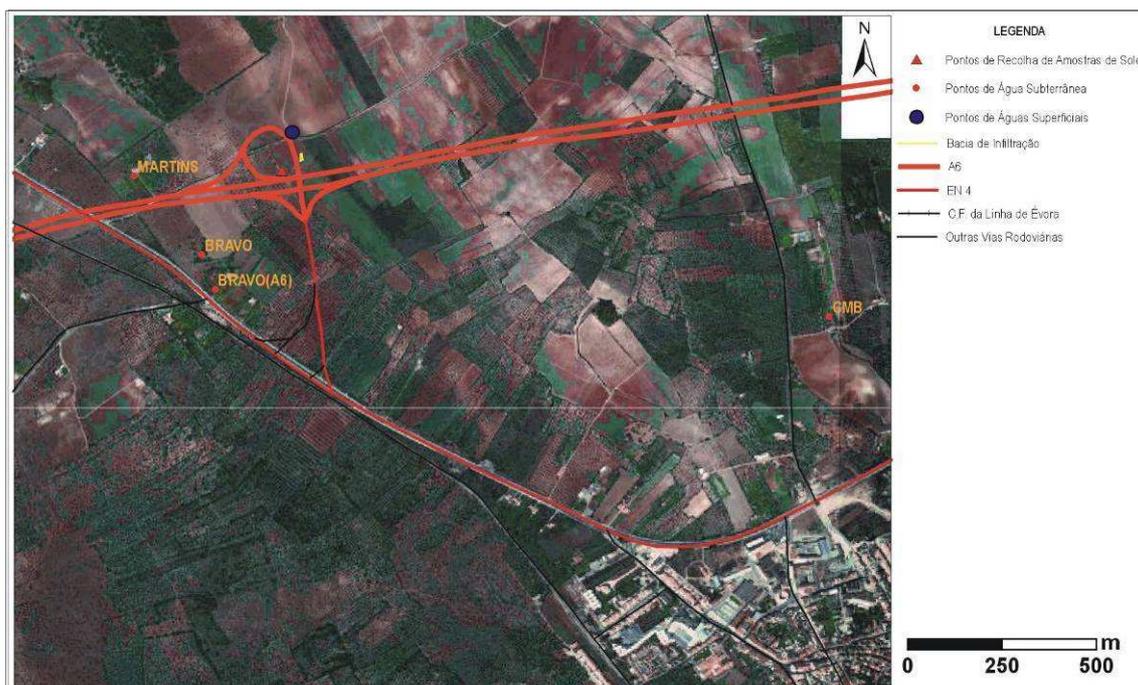
Em relação aos hidrocarbonetos totais verifica-se o aparecimento de concentrações muito elevadas na água em todos os pontos monitorizados entre Julho e Novembro de 2004, período a seguir ao qual se observa a tendência para a sua diminuição. É possível que esta poluição por hidrocarbonetos possa ter tido origem ainda antes da fase de exploração e de operação da estrada. Há um conjunto de hipóteses que podem estar na origem da contaminação encontrada e apenas a angariação de mais dados no âmbito da monitorização de solos e de águas subterrâneas poderá avançar com explicações mais conclusivas.

3.2.3 A6, Nó de Borba

3.2.3.1 Caracterização da envolvente

A informação que aqui se apresenta resulta de um estudo que o LNEC realizou para o Instituto da Água cujos resultados finais se encontram publicados em Leitão *et al.* (2005).

A área da A6 estudada localiza-se na zona envolvente ao nó de Borba que se situa a noroeste da cidade com o mesmo nome, distando dela cerca de 1,5 km em linha recta (*cf.* Fig. 8).



Fonte: adaptado de <http://ortos.cniq.pt/ortofotos/indexp.html>

Fig. 8 - Ortofotomapa de 1995 com a localização dos pontos de amostragem junto à A6, nó de Borba (Leitão *et al.*, 2005)

Do ponto de vista dos recursos hídricos subterrâneos, o troço da A6 analisado localiza-se sobre o sistema aquífero Estremoz-Cano, sector Estremoz, um dos sistemas carbonatados de importância estratégica da região Alentejo (*cf.* Fig. 9), do qual depende o abastecimento público de água a aproximadamente 37 000 habitantes residentes nos concelhos de Sousel, Estremoz, Borba, Vila Viçosa e Alandroal (INAG, 1999).



Fig. 9 - Enquadramento geográfico dos sistemas aquíferos de Estremoz-Cano e Elvas-Vila Boim (INAG, 1999)

Este aquífero é constituído por formações carbonatadas paleozóicas, assumindo características de aquífero cársico livre. A circulação realiza-se através das fracturas e estruturas cársicas constituindo-se uma rede de circulação que se pode dividir em dois sub-sistemas (Carvalhosa *et al.*, 1987): (1) sub-sistema das grandes aberturas cársicas; (2) sub-sistema das microfracturas. De acordo com Vieira da Silva (1991), o sector de Estremoz está dividido em dois sectores:

- sector SE, do Alandroal a Estremoz, engloba várias pequenas bacias hidrogeológicas (onde se localiza a área de estudo de Borba);
- sector NW, entre Estremoz e Sousel, tem uma orientação do fluxo subterrâneo de SE para NW, havendo uma extracção permanente de grandes caudais no extremo NW.

Os mesmos autores apontam também para a existência de barreiras impermeáveis que compartimentam o sistema e criam áreas de produtividades consideravelmente inferiores às que tradicionalmente se apontam para este sistema.

O aquífero foi classificado como livre, cársico e poroso, de alta produtividade (8,5 l/s de valor de mediana) e com elevada vulnerabilidade à poluição (Oliveira *et al.*, 2000). Cupeto (1991) refere que este maciço tem um fraco poder regulador, registando um rápido período de resposta entre eventos de precipitação e consequentes descargas das nascentes. De acordo com INAG (1999), a produtividade neste sistema aquífero aumenta de E para W, o que indicia a existência de um fluxo nesse sentido. No entanto na zona mais a sul verifica-se o escoamento em sentido oposto.

Do ponto de vista da caracterização hidroquímica estas águas são duras medianamente mineralizadas e bicarbonatadas cálcicas a calco-magnésiana. As águas deste sistema são caracterizadas por elevada condutividade eléctrica, entre 410 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 2138 $\mu\text{S}/\text{cm}$, apresentando um valor médio de 726 $\mu\text{S}/\text{cm}$. As águas são neutras a básicas com valores de pH entre 7,1 e 8,2. Carvalho *et al.* (1998) refere que, em termos qualitativos a composição química da água no sistema aquífero de Estremoz-Cano, entre 1991 e 1997, não sofreu oscilações significativas.

De interesse para a análise da poluição de estradas, há a assinalar que os valores dos metais pesados Cu, Pb e Zn em todas as amostras de água analisadas para o Plano de Bacia Hidrográfica do rio Tejo (*cf.* Leitão *et al.* 2000b) foram inferiores aos respectivos VMR (Cu = 20 $\mu\text{g}/\text{l}$; Zn = 500 $\mu\text{g}/\text{l}$) e VMA (Pb = 50 $\mu\text{g}/\text{l}$), definidos para a Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98, sendo a maioria inferior ao limite de detecção. Os valores encontrados para as 87 determinações deste sistema aquífero foram os seguintes: $0,66 < \text{Cu} < 14,7 \mu\text{g}/\text{l}$; $1,62 < \text{Pb} < 4,4 \mu\text{g}/\text{l}$ e $1 < \text{Zn} < 500 \mu\text{g}/\text{l}$.

3.2.3.2 Informação analisada

A informação analisada relativa à fase de construção foi a disponibilizada pela Câmara Municipal de Borba (CMB) e refere-se a um furo da sua propriedade. A informação respeitante à fase de exploração resulta de duas campanhas de monitorização efectuadas no âmbito do estudo publicado em Leitão e tal (2005). As águas subterrâneas foram amostradas em 4 pontos, 3 dos quais situados em herdades privadas a menos de 250 m de distância da estrada, e o quarto a cerca de 650 m de distância em linha recta à estrada, propriedade da CMB, (cf. Fig. 8). A Fig. 10 mostra alguns dos pontos de águas subterrâneas.



Fig. 10 - Locais de amostragem de águas subterrâneas junto à A6, nó de Borba (Leitão *et al.*, 2005)

No Quadro 4 apresenta-se uma síntese das características dos locais de amostragem de águas subterrâneas analisados por Leitão *et al.* (2005). Os furos analisados são pouco profundos, *i.e.* entre 9,6 e 20,3 m. As medições dos níveis piezométricos permitem verificar que localmente o escoamento se processa para SE.

Quadro 4 - Características dos pontos de água subterrâneas amostrados junto à A6, nó de Borba (Leitão *et al.*, 2005)

Designação	M (m)	P (m)	Tipo de ponto	Distância à estrada (m); lado da estrada	Fase analisada
Furo Sr. Bravo	256948,4	205448,5	Furo	< 250; direito	E
Poço Sr. Bravo	256910,3	205541,8	Poço	< 250; direito	E
Furo Sr. Martins	256734,3	205753,6	Furo	< 250; esquerdo	E
Furo CMB	258577,2	205376,0	Furo	< 650; direito	C, E

Legenda: E – Exploração; C – Construção.

Os parâmetros analisados para a qualidade da água foram os seguintes: temperatura, pH,

potencial redox, condutividade eléctrica, cloretos, sulfatos, bicarbonatos, cálcio, sódio, potássio, nitratos, sólidos suspensos totais, óleos e gorduras, cobre, cádmio, chumbo, zinco, ferro total e HAP. Apenas os directamente ligados à poluição de estradas foram analisados em ambas as fases: cádmio, cobre, zinco e hidrocarbonetos totais. Estes parâmetros referem-se à fase de exploração uma vez que a Câmara Municipal de Borba não efectuou a análise dos parâmetros que poderiam ter relação com a poluição da A6.

No estudo referido foi, ainda, efectuada a recolha de solos naturais, *i.e.* que recebem directamente águas de escorrência da plataforma, no centro da área do nó de Borba, a oeste da bacia (*cf.* Fig. 8). As amostras foram recolhidas junto à descida do talude, às distâncias de 0, 2 e 5 m e a duas profundidades 0-5 cm e 5-10 cm.

3.2.3.3 Análise dos resultados

As águas analisadas apresentam fácies bicarbonatada cálcica a calco-magnésiana. Todas as águas apresentam valores de pH neutro. Os valores de condutividade eléctrica são muito próximos, com oscilações entre 680 e 743 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estes valores enquadram-se dentro dos valores médios do sistema aquífero referidos em Carvalho *et al.* (1998).

Em relação a parâmetros que pudessem indiciar a contaminação da A6, há a registar que não se observou a presença de Cd. O Pb foi encontrado apenas na amostra do poço e apresenta valores claramente abaixo do VMA definido para a Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98, no valor de 50 $\mu\text{g}/\text{l}$. Contudo, as concentrações em Cu estão acima do VMA (50 $\mu\text{g}/\text{l}$) em todas as amostras de furos. Os valores de Zn, embora se encontrem acima do VMR (500 $\mu\text{g}/\text{l}$) em dois dos casos, estão abaixo do VMA (3000 $\mu\text{g}/\text{l}$). A origem do Cu e Zn nestas águas, com concentrações mais elevadas nos furos localizados a jusante da A6, pode ter influência da poluição das águas de escorrência, embora possa haver outras origens.

Relativamente à presença de HAP e óleos e gorduras, foi detectada a sua presença em apenas uma análise, em baixas concentrações, *i.e.* 0,003 $\mu\text{g}/\text{l}$ e 5 mg/l , respectivamente.

A análise da concentração de metais pesados efectuada nos solos naturais da zona do nó de Borba, cuja síntese é apresentada na Fig. 11 permite verificar a presença de Zn, Pb e Cu nos vários solos analisados, embora abaixo do limite de intervenção holandês, e a ausência de Cd acima dos limites de detecção.

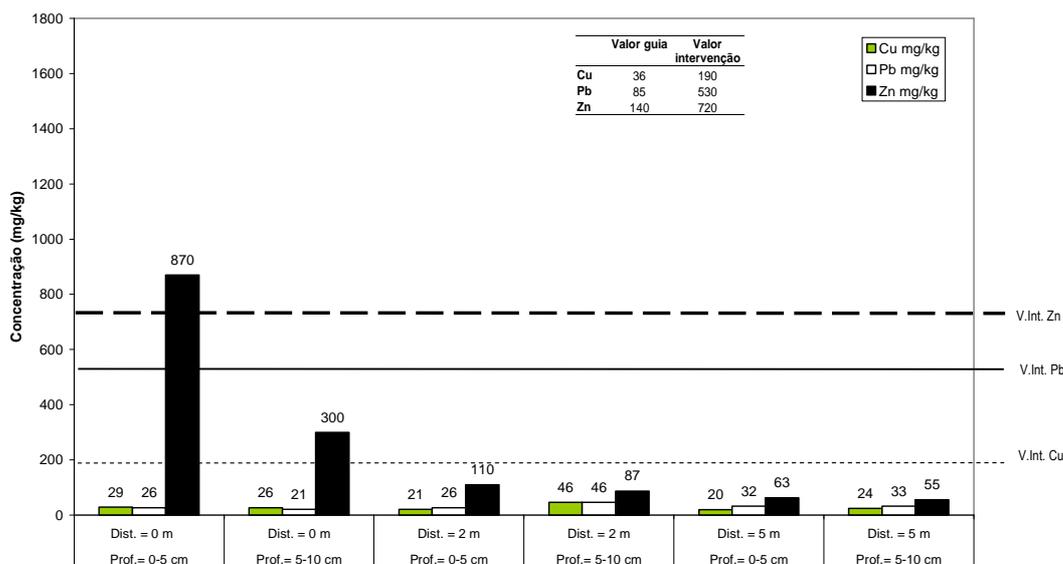


Fig. 11 - Concentração em metais pesados nos solos junto à A6, nó de Borba (Leitão *et al.*, 2005)

Destaca-se uma rápida diminuição da concentração em metais pesados nos solos com a distância à estrada e em profundidade, aspectos que corroboram a capacidade natural dos solos em reter poluentes. A análise da Fig. 11 permite, ainda, verificar que o Zn é o metal pesado que surge em concentrações mais elevadas nos solos à saída da caleira. A presença de Cu e Pb, embora em baixas concentrações, denota uma poluição cumulativa. O Cu apenas se apresenta acima do valor guia numa amostra. A concentração em Pb nos solos apresenta sempre valores inferiores ao valor guia. Solos com maiores CTC e conteúdo em matéria orgânica são também aqueles onde se registam as maiores concentrações em Zn. O padrão de concentração nos outros dois metais pesados não está bem demarcado.

Por outro lado, a apreciável capacidade dos solos da bacia em reter metais pesados, bem como óleos e gorduras das águas de escorrência (referida na componente sobre sistemas de minimização de águas de escorrência deste Estudo), evitaria a migração para as águas subterrâneas subjacentes. Não obstante as boas características dos solos na retenção de poluentes, o facto de as águas de escorrência serem lançadas numa bacia que é de infiltração impõe que esta capacidade seja mantida e assegurada ao longo do tempo de forma a evitar a contaminação localizada de águas subterrâneas.

Por comparação com o caso de estudo de Fátima, os valores de concentração em metais pesados é inferior em Borba, o que seria sempre expectável, dado o período de exploração de cada sistema (Fátima desde 1990 e Borba desde 1999) e o TMD muito superior na A1, Fátima. Recorda-se que para Fátima: os valores guia para o Zn, o Cu e o Pb (140, 36 e 85 mg/kg, respectivamente) são ultrapassados em todas as amostras a distâncias inferiores a 2 m da descarga de águas de escorrência. Para distâncias superiores a 2 m dos locais de descarga

das águas de escorrência, os valores nos 3 metais pesados são já inferiores aos respectivos valores guia.

Em síntese, os valores de concentração em metais pesados medidos em águas subterrâneas encontram-se praticamente todos abaixo dos respectivos VMA definidos para águas destinadas à produção para consumo humano, embora com concentrações acima dos limites de detecção. A única excepção foi encontrada para as análises de Cu cujas concentrações estão acima do VMA (50 µg/l) na maioria das amostras. Relativamente à presença de HAP e óleos e gorduras, foi detectada a sua presença em apenas uma análise, em baixas concentrações.

Os dados obtidos permitem observar a presença de metais pesados e de hidrocarbonetos em baixas concentrações que poderão resultar de influências negativas de poluição da A6, entre outras possibilidades. A apreciável capacidade dos solos naturais e dos sedimentos da bacia em reter metais pesados, bem como óleos e gorduras das águas de escorrência (referida na componente sobre sistemas de minimização de águas de escorrência deste Estudo), poderá contribuir para evitar a migração de poluentes para as águas subterrâneas sobrejacentes. Não obstante as boas características dos solos na retenção de poluentes, o facto de as águas de escorrência serem lançadas numa bacia que é de infiltração impõe que esta capacidade seja mantida e assegurada ao longo do tempo de forma a evitar a contaminação localizada de águas subterrâneas.

3.2.4 A23/IP2, Ligação à Covilhã

3.2.4.1 Informação analisada

A informação analisada resulta das duas campanhas de monitorização efectuadas no âmbito do Plano de Monitorização Ambiental da A23/IP2 (Albuquerque e Carvalho, 2005a e 2005b, *in* Albuquerque, 2006) que foram posteriormente objecto de trabalhos desenvolvidos no âmbito de uma dissertação de mestrado apresentada no Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura da Universidade da Beira Interior (Albuquerque, 2006; Albuquerque *et al.*, 2006).

No âmbito da análise da qualidade dos meios hídricos envolventes ao local de estudo foram amostrados dois pontos de águas subterrâneas, dois poços (*cf.* Fig. 12), tendo sido analisados nas duas campanhas os parâmetros: pH, temperatura, condutividade eléctrica, oxigénio dissolvido, sólidos suspensos totais, carência química de oxigénio, amónia, nitratos, cobre, crómio, zinco e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP).

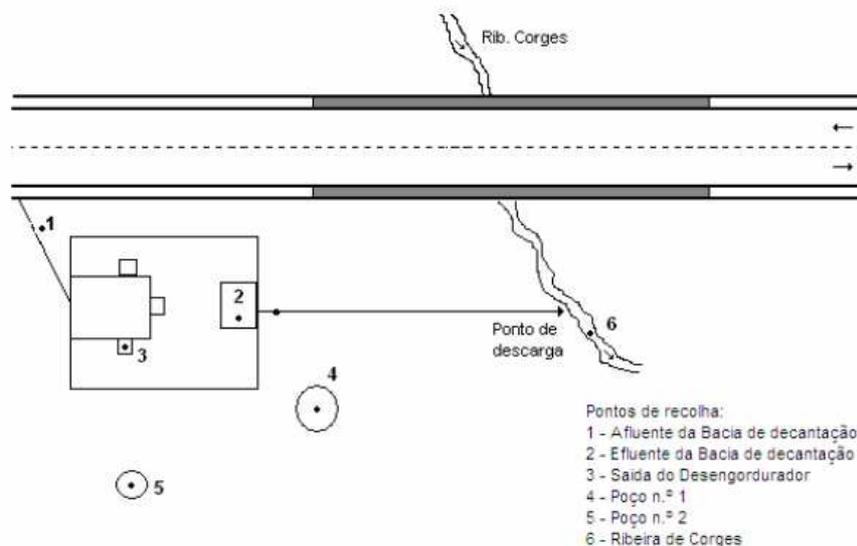


Fig. 12 - Localização dos pontos de monitorização de águas junto à A23/IP2, ligação à Covilhã (Albuquerque *et al.*, 2006)

3.2.4.2 Análise dos resultados

Os valores medidos encontram-se dentro da gama usual de qualidade de água de circulação num meio granítico e não apresentam variações assinaláveis entre as duas amostragens. Os autores referem que, dos três metais pesados analisados, apenas o Zn surge sempre em concentrações inferiores ao limite de detecção (100 µg/l). A concentração em Cu e Cr foi por vezes superiores ao limite de detecção comum, de 1 µg/l, mas em ambos os casos com valores bastante baixos, *i.e.* 2 µg/l, quando comparado com o VMA destes dois elementos de 50 µg/l e com os limites de detecção utilizados em outros troços de estrada referidos neste relatório. A concentração em HAP foi inferior ao limite de detecção de 0,2 µg/l.

Os resultados existentes são escassos para se poderem retirar conclusões acerca da eficácia dos sistemas de tratamento (*cf.* componente sobre sistemas de minimização de águas de escorrência deste Estudo), na medida em que apenas incidem sobre dois pontos de amostragem, analisados na fase inicial da exploração da estrada insuficiente, portanto, para permitir a chegada de poluentes aos pontos de amostragem atendo à complexidade de circulação de água no meio. Conforme é referido em Albuquerque *et al.* (2006) é necessário prosseguir um plano de monitorização ambiental que permita avaliar eventuais variações na qualidade das águas envolventes e a sua relação com a exploração da via e a eficácia dos sistemas de tratamento.

3.2.5 IP4, Vila Real – Vila Verde

3.2.5.1 Informação analisada

A informação que se apresenta foi obtida no âmbito do Projecto Europeu POLMIT - *Pollution of Groundwater and Soil by Road and Traffic Sources: Dispersal Mechanisms, Pathways and Mitigation Measures*, desenvolvido para o 4.º Programa Quadro de Investigação sobre Transportes, entre Agosto de 1997 e Março de 2000 que contou com a colaboração do LNEC/DHA/NAS, além de outros seis laboratórios de Estados Membros da União Europeia.

A informação existente aqui apresentada foi publicada em Lehmann *et al.* (1998) e em Leitão *et al.* (1999). A componente das águas subterrâneas é relativa a apenas um furo (Fig. 13) localizado a 24 m da estrada, monitorizado ao longo de um ano em quatro campanhas, uma por estação do ano. Os parâmetros analisados foram os seguintes: Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Na, Cl, CE, HAP, HT.



Fig. 13 - Localização do ponto de amostragem de águas subterrâneas no IP4, Vila Real – Vila Verde

3.2.5.2 Análise dos resultados

Os resultados obtidos para as águas subterrâneas apresentaram concentrações abaixo dos valores de intervenção especificamente definidos para o projecto POLMIT, com excepção dos cloretos e hidrocarbonetos totais. Contudo, o Cr, Pb, Zn e alguns HAP surgiram em concentrações acima do valor de referência. O conteúdo em hidrocarbonetos totais na água encontrava-se muito acima dos valores de intervenção, com valores entre 0,18 e 35,3 mg/l.

Embora a presença de metais pesados e de HAP na água tenha sido baixa, a elevada concentração em HT evidencia já poluição de águas subterrâneas, possivelmente proveniente da estrada, embora os dados sejam apenas relativos a um ponto amostrado. Por outro lado, o elevado conteúdo em Zn nas águas de escorrência constituem também um potencial poluente das águas subterrâneas. Também a presença de Cr e Pb nos solos naturais amostrados

durante o projecto POLMIT junto à estrada e na própria bacia de infiltração (Barbosa, 2000) poderão vir a contaminar as águas subterrâneas na medida em que os solos apresentam condições que favorecem a migração destes metais: baixo pH e conteúdo em matéria orgânica e um meio geológico granítico com elevada fissuração. Finalmente, o facto de se tratar de uma bacia de infiltração (e não uma bacia de retenção como projectada) não funciona a favor da protecção do meio hídrico subterrâneo.

3.2.6 EN10, Recta do Cabo

3.2.6.1 Informação analisada

A informação apresentada nesta secção está fora da tipologia deste estudo, onde são analisadas auto-estradas, IC e IP. Não obstante, dado haver um conjunto muito restrito de informação disponível sobre a poluição de águas e solos e uma vez que existe informação de interesse sobre esta estrada nacional, pareceu-nos oportuno apresentá-la, completando assim o panorama nacional da informação neste domínio.

A informação que se apresenta foi obtida no âmbito do Projecto Europeu POLMIT - *Pollution of Groundwater and Soil by Road and Traffic Sources: Dispersal Mechanisms, Pathways and Mitigation Measures*, desenvolvido para o 4.º Programa Quadro de Investigação sobre Transportes, entre Agosto de 1997 e Março de 2000, e de uma dissertação de Mestrado (Diamantino, 2002, 2003). A informação apresentada foi publicada em Lehmann *et al.* (1998), Leitão *et al.* (1999), Diamantino (2002, 2003) e Diamantino *et al.* (2004).

A monitorização das águas subterrâneas foi efectuada em dois piezómetros de PVC instalados um de cada lado da estrada e a cerca de 8,3 metros de distância à sua berma, que se designaram por RC1 (do lado direito da Recta do Cabo, na direcção a Porto Alto – a sul da estrada) e RC2 (do lado esquerdo da Recta do Cabo, na direcção a Porto Alto – a norte da estrada) (*cf.* Fig. 14).

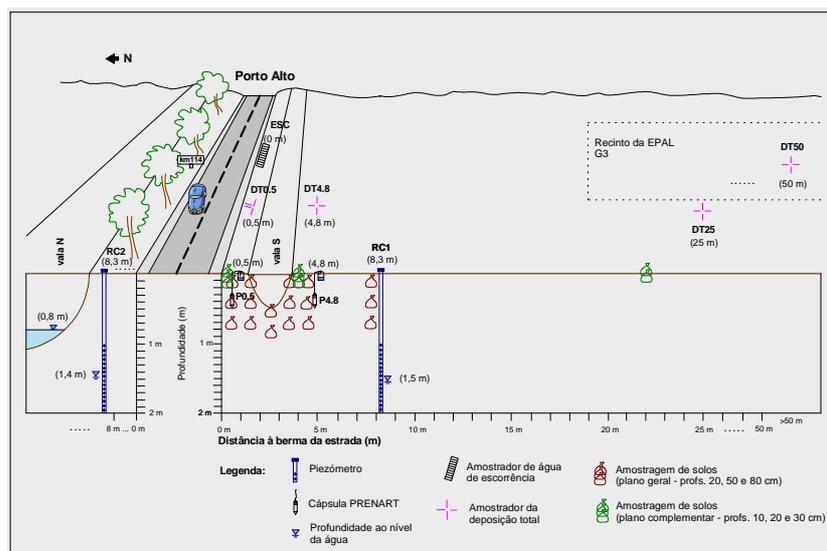


Fig. 14 - Esquema geral do plano de monitorização na EN10, Recta do Cabo (Diamantino *et al.* 2004)

Foi efectuada a medição mensal do nível piezométrico e foram recolhidas 4 amostras representativas de águas subterrâneas, durante o ano de monitorização. Os parâmetros físico-químicos medidos *in situ* foram: temperatura, pH, condutividade eléctrica e potencial redox. Os elementos químicos determinados foram os seguintes: metais pesados (Cd, Cr, Cu, Pb e Zn), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP), hidrocarbonetos totais e óleos e gorduras. Foram, ainda, analisados os aniões maiores (Cl e SO₄) e os catiões maiores (Ca, K, Mg e Na).

3.2.6.2 Resultados obtidos

Foram analisados os resultados de 7 análises químicas relativas aos piezómetros RC1 e RC2. Os valores de pH obtidos variam entre 5,71 e 7,83, pelo que se tratam de águas neutras a ligeiramente ácidas. Os valores de condutividade eléctrica obtidos são muito elevados, com valores médios de 19 311 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 35 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para o piezómetro RC1 e RC2, respectivamente. São igualmente águas de dureza muito elevada (variação de valores entre 1797 mg/l e 4174 mg/l). Tratam-se de águas cloretadas sódicas, cuja composição foi influenciada pelo contacto com o estuário do Tejo. Em Diamantino (2002 e 2003) são referidas com maior detalhe as causas da qualidade da água subterrânea observada, no que refere à sua salinidade.

Relativamente aos metais pesados presentes nas águas subterrâneas foi concluído o seguinte (*cf.* Diamantino *et al.*, 2004, neste documento apresentado com algumas alterações por forma a analisar estes valores com base na mesma referência em todo o relatório, *i.e.* Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98):

- cádmio: não foi possível concluir acerca da sua presença uma vez que foram utilizados limites de detecção elevados (< 10 e $< 20 \mu\text{g}/\text{l}$) superiores ao valor máximo admissível

(VMA) para este metal, de 5 µg/l, definido na Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98 que regula a qualidade das águas doces destinadas à produção de água para consumo humano;

- crómio: foi detectada a sua presença em quatro amostras, duas delas com concentrações relativamente elevadas, uma referente ao piezómetro RC1, de 200 µg/l e outra referente ao piezómetro RC2, de 120 µg/l; estas concentrações são superiores ao VMA para o Cr, de 50 µg/l. Nas restantes 3 amostras não foi detectada a presença deste metal;
- cobre: foi observado apenas um valor acima do VMA de 50 µg/l, no piezómetro RC1, que corresponde a 170 µg/l; esta concentração elevada refere-se à mesma amostra onde também se detectou a maior concentração de Cr; nas restantes seis análises os valores obtidos situam-se abaixo do VMR;
- chumbo: das sete amostras obtidas registaram-se dois valores abaixo do VMA, de 50 µg/l, que se referem a uma amostragem realizada na mesma data em ambos os piezómetros, relativamente às restantes análises não foi possível concluir acerca da presença deste metal uma vez os limites de detecção foram novamente elevados (< 100 e < 300 µg/l);
- zinco: foi detectada a sua presença em duas amostras, com concentrações elevadas, uma relativa ao piezómetro RC1, de 680 µg/l e outra relativa ao piezómetro RC2, de 280 µg/l; estas concentrações são inferiores ao VMA para o Zn, de 3000 µg/l. Nas restantes amostras obtiveram-se concentrações mais baixas, mas acima dos limites de detecção.

Em síntese, os metais pesados são os principais poluentes resultantes do tráfego rodoviário na Recta do Cabo. Dos cinco metais estudados (Cd, Cr, Cu, Pb e Zn) apenas um, o Cd, não foi detectado em concentrações importantes nem nos meios de dispersão, nem nos meios receptores subterrâneos. A presença de Cu, Cr e Zn nas águas subterrâneas alerta para o facto de que uma parte destes metais poder adquirir condições de mobilidade, sob determinadas características do solo, não sendo por isso totalmente retidos por este meio. O Pb, pelo contrário, permanece mais concentrado no solo. O Cu é o metal com maior mobilidade no solo comparativamente com o Pb e o Zn, não se encontrando em concentrações tão elevadas no solo apesar de se verificar a sua presença quer nos meios de dispersão de poluentes quer nas águas subterrâneas.

Relativamente aos compostos orgânicos, não se detectaram concentrações importantes em HAP. Pelo contrário, foi detectada a presença, em ambos os piezómetros, de hidrocarbonetos dissolvidos e de óleos e gorduras, com concentrações significativas, tendo os valores máximos atingido os 60 µg/l e os 200 µg/l, respectivamente. O primeiro valor excede o VMA de 50 µg/l, para os hidrocarbonetos dissolvidos, referido no anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98.

A existência de poluição das águas subterrâneas nos pontos amostrados dever-se-á ao facto da estrada estar em funcionamento já há várias décadas sem que haja sistemas de

tratamento das águas de escorrência. Estas águas são conduzidas para valas de drenagem existentes na berma ao longo da estrada, valas essas que estão em contacto com a água salobra do estuário do Tejo, o que potencia a mobilização dos metais pesados devido à formação de complexos metálicos com os cloretos. De referir que a proximidade dos pontos à estrada (8,3 m) evidenciará a situação mais extremada de poluição.

3.2 Análise dos resultados de programas de monitorização de águas superficiais

3.3.1 A2, Almodôvar - São Bartolomeu de Messines

3.3.1.1 Informação analisada

A informação analisada para este troço foi a disponibilizada pela EP, S.A. e encontra-se publicada nos relatórios da UNL (2001, 2002a, 2002b, 2002c, 2002d, 2003a, 2003b) e COBA (2005a, 2005b). Essa informação foi inserida na Base de Dados MIA.mdb (Oliveira *et al.* 2005).

Os referidos relatórios mencionam uma rede de amostragem constituída por 20 pontos de água, sendo apenas seis deles coincidentes nas duas fases de construção e de exploração (Quadro 5). Os pontos de amostragem situam-se a distâncias variáveis da estrada entre os 50 e os 1000 m e estão localizados em linhas de água atravessadas pelo traçado da via.

Quadro 5 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto à A2, Almodôvar - S. Bartolomeu de Messines

Designação	Distância à estrada (m)	Posição relativa à estrada	Fase analisada
Ribeira de Odelouca/M - P5 (constr.); P9 (expl.)	250	Montante	C, E
Ribeira de Odelouca/J - P6 (constr.); P9 (expl.)	10	Jusante	C, E
Ribeira de Odelouca/J - P7 (construção)	200	Jusante	C
Ribeira de Odelouca/J - P8 (construção)	400	Jusante	C
Ribeira de Odelouca/J - P9 (construção)	1000	Jusante	C
Rio Arade/M - P10 (Constr.); P12 (expl.)	125	Montante	C, E
Rio Arade/J - P11 (Constr.); P12 (expl.)	100	Jusante	C, E
Rio Arade - P12 (construção)	500	Jusante	C
Rio Arade - P13 (construção)	750	Jusante	C
Rio Arade - P14 (construção)	1000	Jusante	C
Barranco do Sambro/M - P7 (exploração)	1000	Montante	E
Barranco do Sambro/J - P7 (exploração)	1000	Jusante	E
Ribeira da Azilheira/M - P18 (constr.); P8 (expl.)	300	Montante	C, E
Ribeira da Azilheira/J - P19 (constr.); P8 (expl.)	150	Jusante	C, E
Ribeira de Água Velha/M - P10 (exploração)	200	Montante	E
Ribeira de Água Velha/J - P10 (exploração)	200	Jusante	E
Ribeira de Perna Seca/M - P11 (exploração)	50	Montante	E
Ribeira de Perna Seca/J - P11 (exploração)	50	Jusante	E

Designação	Distância à estrada (m)	Posição relativa à estrada	Fase analisada
Ribeira do Gavião/M - P13 (exploração)	50	Montante	E
Ribeira do Gavião/J - P13 (exploração)	50	Jusante	E

Legenda: E – Exploração; C – Construção.

A monitorização da qualidade da água da fase da construção decorreu entre 2001 e 2002 com uma periodicidade mensal, para os 12 pontos de colheita referidos no Quadro 5. Na fase de exploração, realizou-se apenas uma amostragem, em Dezembro de 2004, nos 14 locais mencionados no Quadro 5. Esta última campanha englobou quatro linhas de água adicionais, também mencionadas no quadro.

Salienta-se que em UNL (2002a) refere-se a não representatividade de algumas amostras devido às fracas condições de escoamento das linhas de água o que, por vezes, não permitiu a colheita de amostras por este se apresentar reduzido ou mesmo nulo. Nalguns casos, só foi possível proceder à amostragem em "depressões dos leitos (pegos) onde a água permanecia estagnada, não correspondendo a verdadeiras condições de escoamento superficial".

Os parâmetros analisados para a qualidade da água foram os seguintes: temperatura, pH, oxigénio dissolvido, carência bioquímica de oxigénio, sólidos dissolvidos totais, nitratos, azoto amoniacal, ortofosfatos, fósforo total, sólidos suspensos totais, oxidabilidade, cobre, cádmio, zinco e hidrocarbonetos totais. Apenas os seguintes parâmetros directamente ligados à poluição de estradas foram analisados em ambas as fases: cádmio, cobre, zinco e hidrocarbonetos totais. Foram, ainda, analisados os sólidos suspensos totais que auxiliam a análise de uma potencial degradação da qualidade da água.

3.3.1.2 Análise dos resultados

Em termos globais comparativos sobre a evolução da qualidade da água, o gráfico da Fig. 15 permite observar que os valores da concentração em sólidos suspensos totais aumentam na fase de exploração, em termos de valor mediano e do percentil 25 e 75, embora os valores máximos tenham sido registados na fase de construção. De facto, a 18 de Dezembro de 2001 registou-se a concentração de 3609 mg/l em sólidos suspensos totais, numa amostra recolhida na ribeira de Odelouca, a jusante da estrada. Para não enviesar a análise que se apresenta na figura, retirou-se do conjunto de dados essa amostra de concentrações anormalmente elevadas (*cf.* Fig. 15).

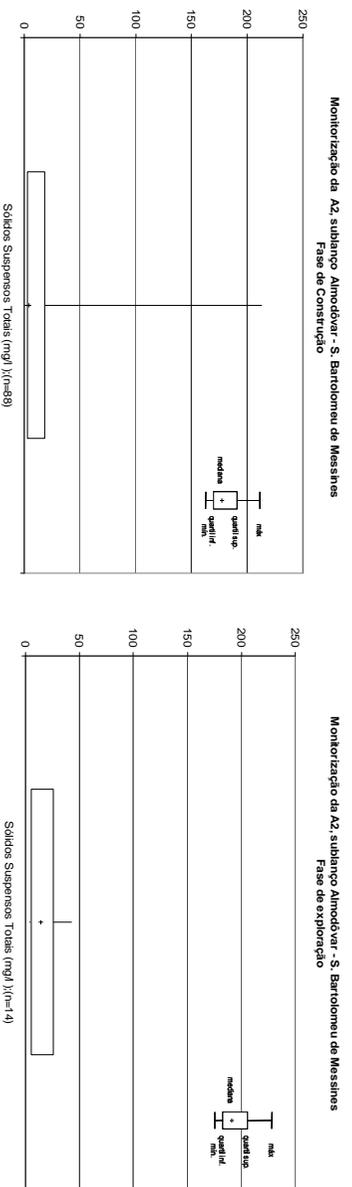


Fig. 15 - Síntese estatística das concentrações em sólidos suspensos totais nas águas superficiais monitorizadas na A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines

Em relação aos metais pesados que possam estar associados à poluição de estradas, verificou-se apenas a ocorrência de cádmio nas amostragens realizadas em Janeiro e em Abril de 2002, cujos valores variaram entre 4 a 7 µg/l (Fig. 16). Os restantes metais pesados apresentaram-se inferiores aos respectivos limites de detecção (Cu variou entre 6 e 20 µg/l, o Zn entre 2 e 100 µg/l e Cd < 4 µg/l). Salienta-se, contudo, que os limites de detecção utilizados para o Cu e o Cd são iguais ou superiores aos respectivos VMR (Cu = 20 µg/l e Cd = 1 µg/l) definido para a Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98 que regula a qualidade das águas doces destinadas à produção de água para consumo humano, pelo que a eventual presença de concentrações abaixo destes limites não pôde ser detectada.

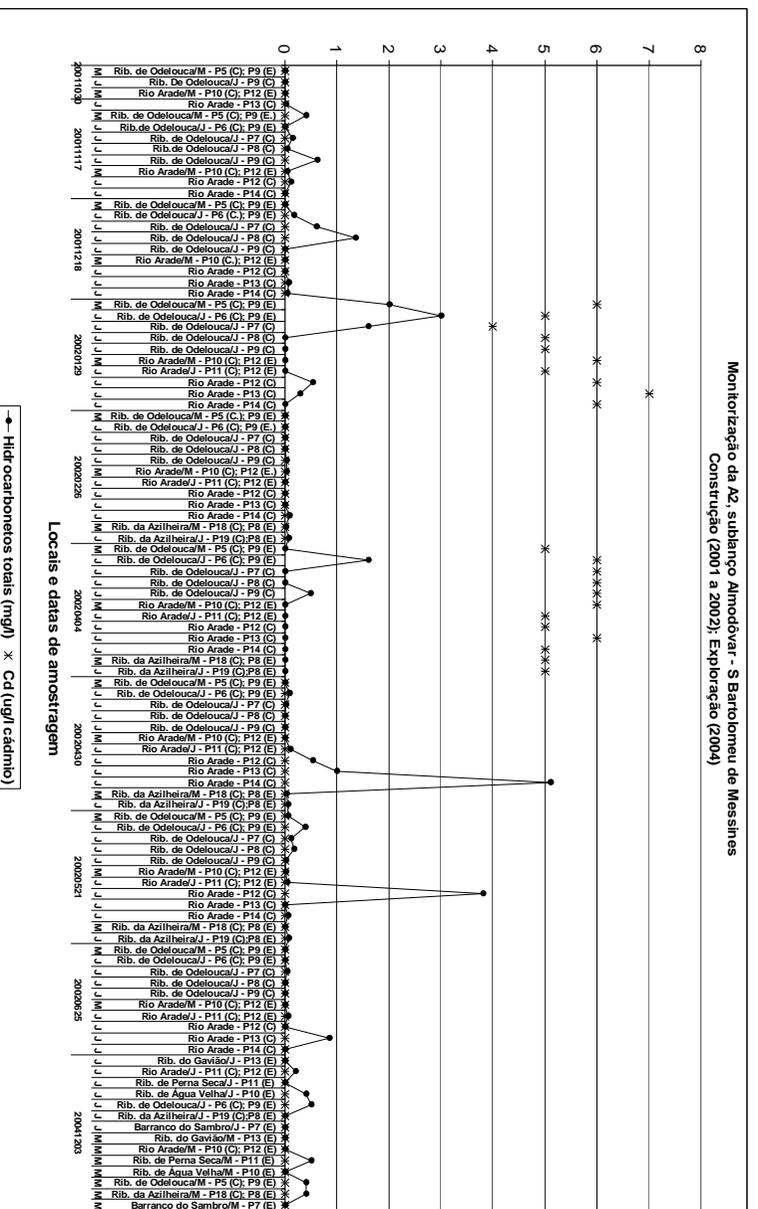


Fig. 16 - Concentração em hidrocarbonetos totais e cádmio em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines

Verificou-se a ocorrência de hidrocarbonetos totais em concentrações muito elevadas, da ordem de alguns mg/l, quer na fase de construção quer na fase de exploração. O gráfico da Fig. 17 mostra que, embora o valor máximo registado tenha ocorrido na fase de construção, o valor da mediana da concentração em hidrocarbonetos totais é superior na fase de exploração.

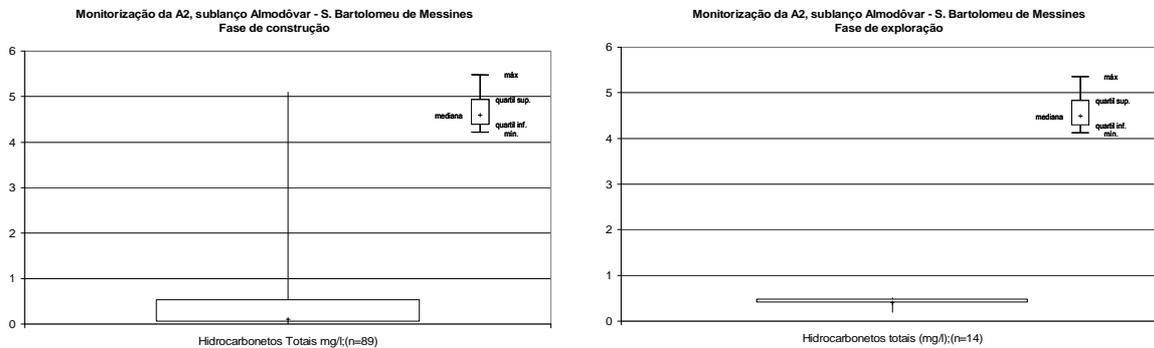


Fig. 17 - Síntese estatística das concentrações em hidrocarbonetos totais nas águas superficiais monitorizadas na A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines

Uma análise mais detalhada da variação de hidrocarbonetos totais apresentada na Fig. 16 permite constatar a presença de valores elevados de concentrações na maioria dos locais de amostragem e em datas diferentes. A Fig. 18 apresenta a informação apenas relativa à ribeira de Odelouca, para o ponto de montante e nos quatro pontos de jusante, onde é possível evidenciar que não existe um padrão de comportamento tipo. Há ocasiões em que não se verifica presença de HT a montante, mas verifica-se a jusante (2001-12-18 e 2002-04-04) parecendo evidenciar poluição da estrada, mas há outras ocasiões em que também a montante há concentrações em HT (2002-01-29 e 2002-05-21). As concentrações, embora menores, também ocorrem na fase de exploração da estrada.

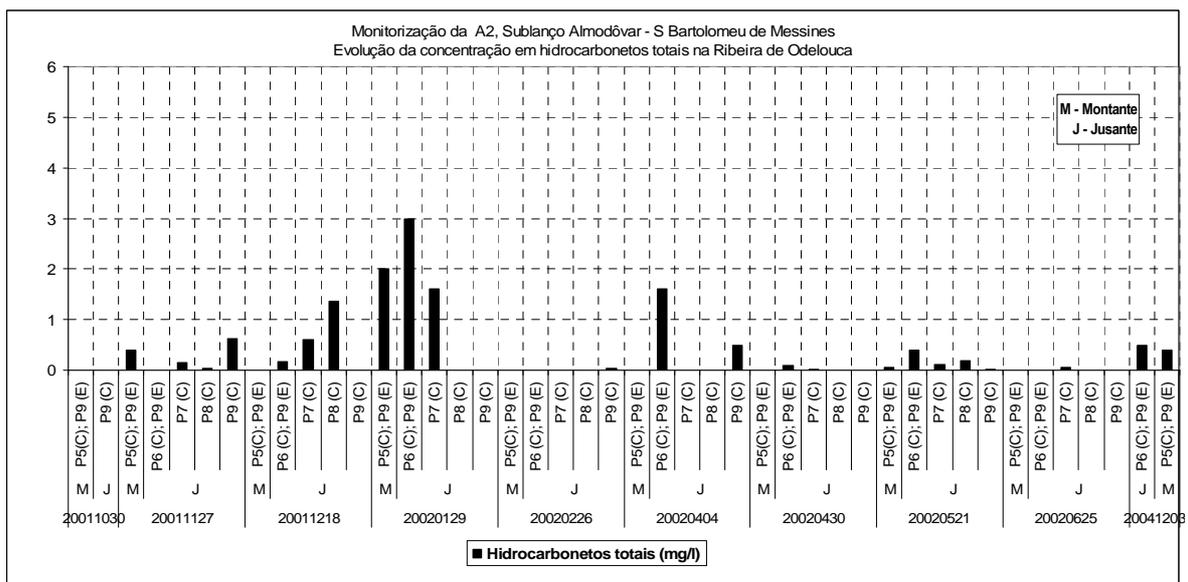


Fig. 18 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas superficiais recolhidas na ribeira de Odelouca, junto à A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines

Já para o rio Arade, a presença de HT verifica-se essencialmente a jusante, tal como mostra a Fig. 19.

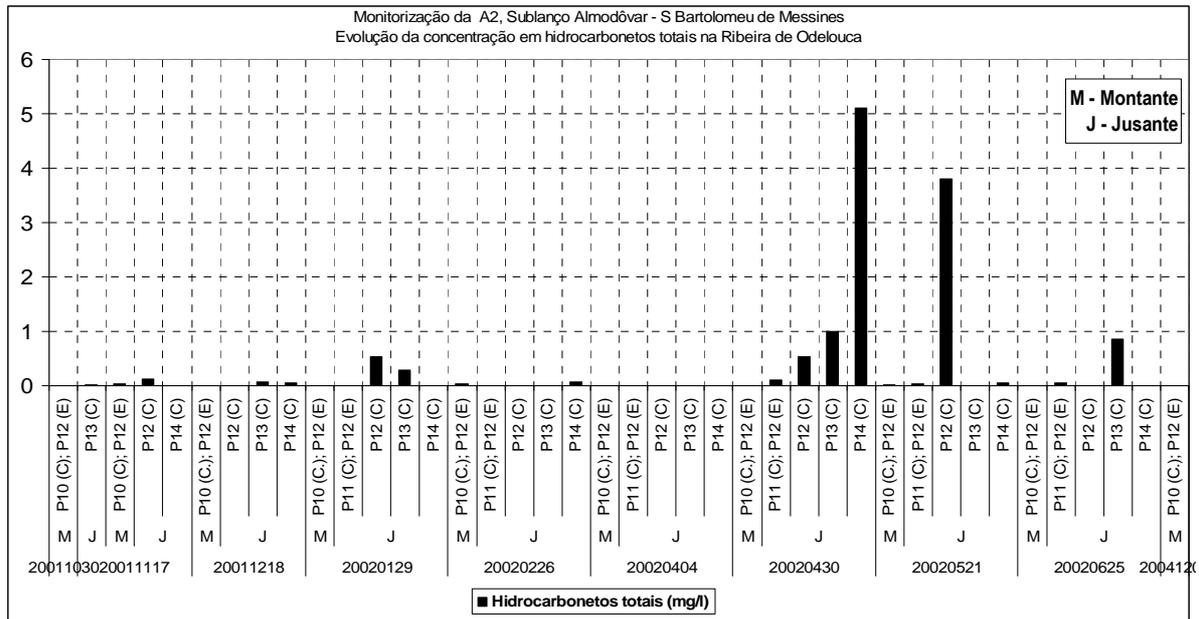


Fig. 19 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas superficiais recolhidas no rio Arade, junto à A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines

Em síntese, de entre os metais pesados analisados nas águas superficiais, apenas se verificou a ocorrência de cádmio. Os restantes metais pesados apresentaram concentrações inferiores aos respectivos limites de detecção embora estes sejam, em alguns casos, muito elevados, não permitindo detectar a eventual presença de concentrações significativas que se situem abaixo destes limites.

A análise da concentração de hidrocarbonetos totais permite constatar a presença de valores elevados na maioria dos locais de amostragem e em datas diferentes, em especial para o período de construção, anterior portanto à entrada em funcionamento das estações de tratamento. Não é possível encontrar um padrão de comportamento tipo em relação à maior ou menor concentração nos pontos de montante e de jusante ou com a sua distância à estrada. Segundo UNL (2002c), as concentrações mais elevadas de hidrocarbonetos e sólidos suspensos totais observadas em alguns locais de amostragem poderão ter origem nas actividades associadas à obra, nomeadamente, o atravessamento das linhas de água a vau por veículos, a bombagem e a lavagem de equipamentos e veículos nas linhas de água (cf. fotos gentilmente cedidas pela UNL/FCT/DCEA)

Fig. 20). Note-se, contudo, que o posterior aparecimento de concentrações, ainda que bem menos elevadas, na fase de exploração poderá dever-se a resquícios que ficaram da fase de construção mas também se poderá dever a poluição na fase de exploração.



(fotos gentilmente cedidas pela UNL/FCT/DCEA)

Fig. 20 - Fotos ilustrativas de perturbações induzidas pelas acções associadas à obra da A2

3.3.2 A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA

3.3.2.1 Informação analisada

A informação analisada para este troço foi a disponibilizada pela EP, S.A. e encontra-se publicada nos relatórios da UNL (2001, 2002a, 2002b, 2002c, 2002d, 2003a, 2003b) e COBA (2005a, 2005b). Essa informação foi inserida na Base de Dados MIA.mdb (Oliveira *et al.* 2005).

Os relatórios acima mencionados referem uma rede de amostragem constituída por 12 pontos de amostragem (todos introduzidos na base de dados), embora a efectiva rede de amostragem utilizada para a monitorização da qualidade dos recursos hídricos superficiais deste sublanço seja constituída por apenas três pontos monitorizados durante as fases de construção e de exploração da estrada: dois localizados no ribeiro Meirinho, a montante e a jusante da estrada, e o terceiro ponto localizado na ribeira de Quarteira, a jusante da estrada. No conjunto de pontos previstos estavam, à priori, definidos oito pontos na ribeira de Quarteira, embora sete deles nunca tenham sido monitorizados por ausência de água e dois pontos na ribeira de Mouricão que foram eliminados.

A informação inserida na base de dados diz respeito aos resultados de 14 amostragens efectuadas no decorrer da construção da via (2001 a 2002) e apenas uma amostragem realizada na fase de exploração (2004), para os três pontos acima referidos (Quadro 6).

Quadro 6 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA

Designação	Distância à estrada (m)	Posição relativa à estrada	Fase analisada
Ribeiro Meirinho - P15 (constr.); P14 (expl.)	30	Montante	C, E
Ribeiro Meirinho - P16 (constr.); P14 (expl.)	500	Jusante	C, E
Ribeira da Quarteira – P1 (constr.); P16D (expl.)	250	Este (água parada)	C, E

Legenda: E – Exploração; C – Construção.

Os parâmetros analisados para a qualidade da água foram os seguintes: temperatura, pH, oxigénio dissolvido, carência bioquímica de oxigénio, oxidabilidade, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, nitratos, azoto amoniacal, ortofosfatos, fósforo total, cobre cádmio, zinco e hidrocarbonetos totais. Embora apenas os quatro últimos parâmetros tenham a ver directamente com a poluição de estradas, foi considerado necessário analisar os restantes parâmetros por forma a despistar a ocorrência de potenciais situações de degradação da qualidade da água.

3.3.2.2 Análise dos resultados

A análise dos resultados obtidos para os três pontos de observação, atendendo a que o último ponto referido não é claro quanto à sua localização, permite observar algumas diferenças entre as amostras recolhidas no ribeiro de Meirinho, a montante e a jusante da estrada. Não obstante, essas diferenças não apresentam um padrão consistente ao longo do tempo, *i.e.* há amostragens em que os pontos a jusante apresentam maiores concentrações de parâmetros na água e outras em que se verifica o inverso. A Fig. 21 e a Fig. 22 apresentam exemplos do que foi dito para os valores de condutividade eléctrica e de sólidos dissolvidos totais e para os CBO₅ e os sólidos suspensos totais, respectivamente.

UNL (2002c) refere que "os valores da concentração de SST foram, na maioria dos casos, mais elevados a jusante do que a montante. Embora à partida se possa pensar, sobretudo se se atender ao tipo de parâmetro em questão, que essa situação poderá de algum modo estar associada à obra de construção da rodovia, terá também de se levar em linha de conta a reduzida capacidade de transporte dessa linha de água, devido aos seus reduzidos caudais, o que colocará interrogações à validade dessa explicação".

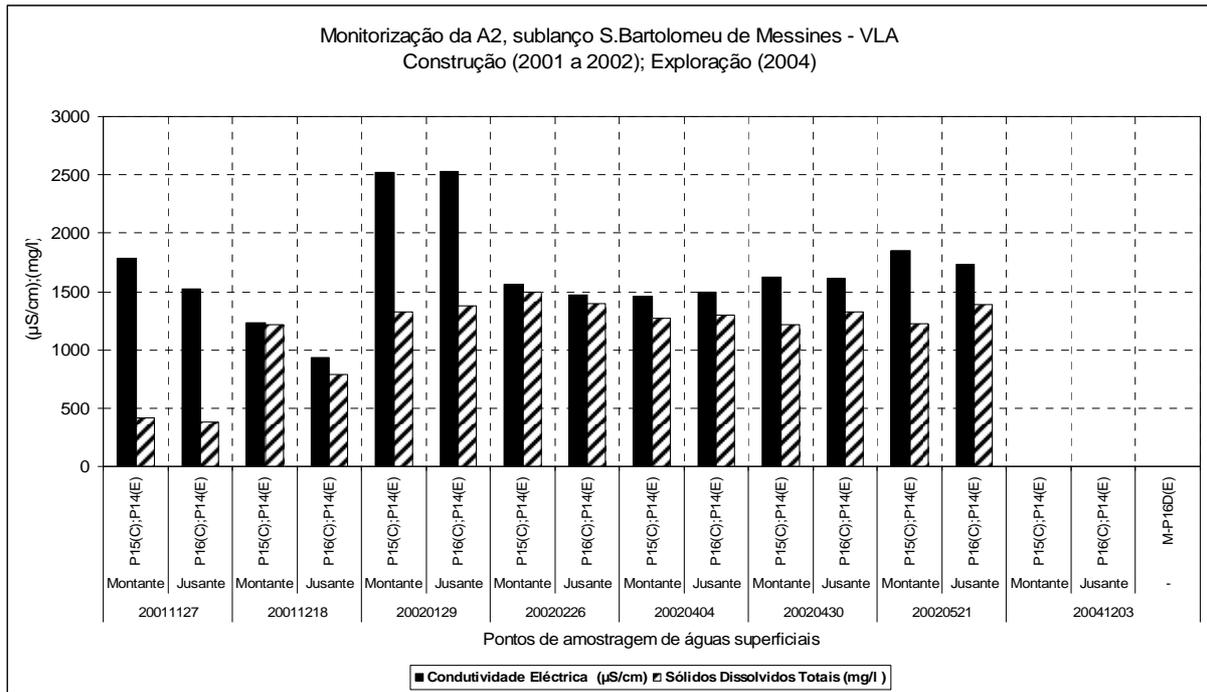


Fig. 21 - Variação da condutividade eléctrica e dos sólidos dissolvidos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, São Bartolomeu de Messines - VLA

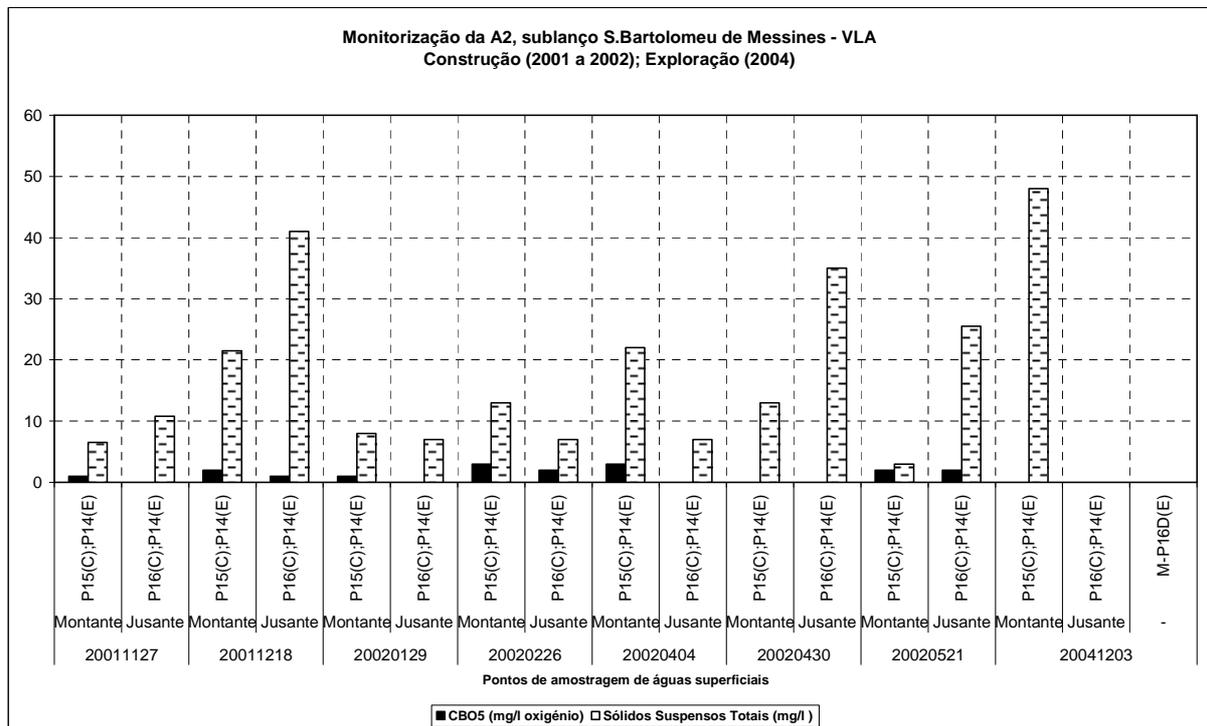


Fig. 22 - Concentração em CBO₅ e sólidos suspensos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, São Bartolomeu de Messines - VLA

Em relação aos parâmetros mais directamente implicados com a poluição de estradas, foram analisados os metais pesados Cu, Cd e Zn. Os resultados analíticos para o zinco e cobre apresentam, em todas as amostras recolhidas nas 15 campanhas de monitorização, valores inferiores ao limite de detecção dos métodos analíticos utilizados pelo laboratório responsável. Chama-se, contudo e novamente, a atenção para o facto de os limites de detecção analíticos não terem sido constantes ao longo do tempo (Cu variou entre 6 e 20 µg/l e o Zn entre 2 e 100 µg/l). Relativamente às concentrações em Cd na água observaram-se em dois períodos diferentes concentrações elevadas de 7 e 8 µg/l (superiores ao VMA da Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98), valores esses que foram idênticos a montante e a jusante.

A concentração em hidrocarbonetos totais (HT) ao longo do tempo é apresentada na Fig. 23. É possível observar a presença de concentrações assinaláveis em determinados períodos, tal como observado também das águas subterrâneas junto a este troço da A2 (*cf.* Fig. 7), denotando muito possivelmente contaminação a partir da estrada, o que ocorreu no período de construção e/ou talvez também exploração. Os valores para as águas subterrâneas são muito superiores aos encontrados para as águas superficiais onde o efeito de diluição será mais pronunciado. UNL (2002c) refere que esta situação, aliás comuns a todos os troços da A2 analisados, poderia ser explicada também pelo "frequente atravessamento das linhas de água a vau por diferentes veículos, a captação de água por bombagem para uso na obra e a lavagem de equipamentos e veículos".

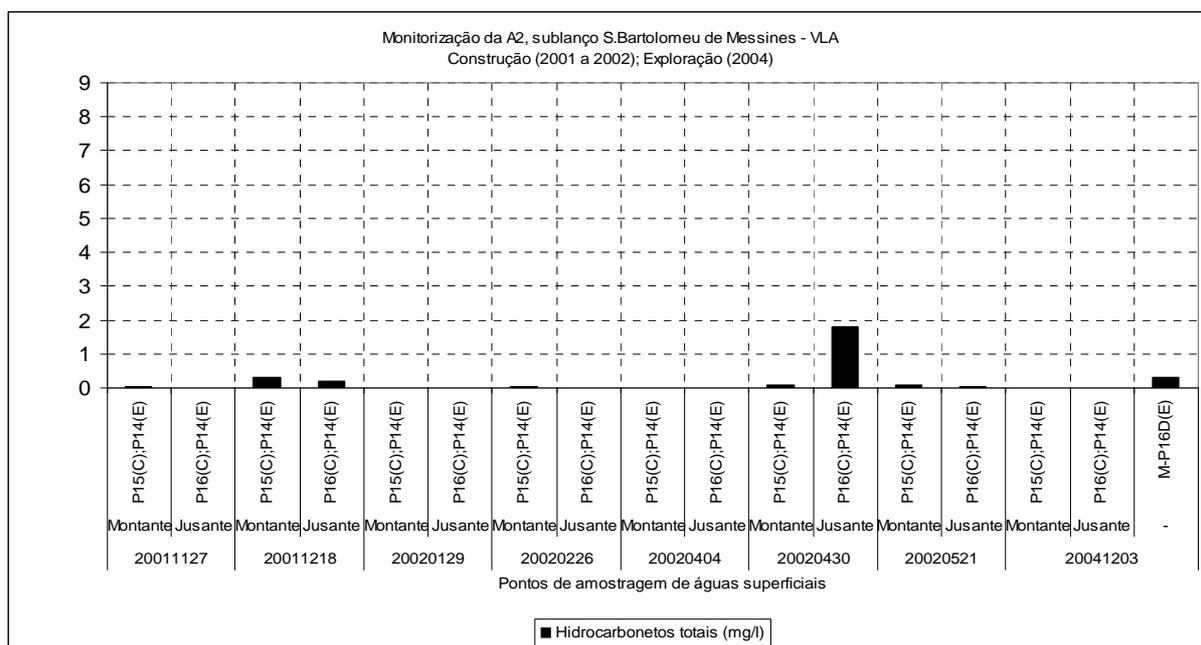


Fig. 23 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, São Bartolomeu de Messines - VLA

Em síntese, embora não seja possível estabelecer uma relação directa entre os resultados da monitorização e as variações de qualidade da água, é provável que as concentrações mais

elevadas de hidrocarbonetos e de sólidos suspensos totais observadas tenham origem em perturbações induzidas pelas acções associadas à obra (atravessamento e a lavagem de equipamentos e veículos nas linhas de água, (fotos gentilmente cedidas pela UNL/FCT/DCEA)

Fig. 20) bem como várias outras hipóteses já sugeridas na secção 3.2.2.3.

Em relação aos metais pesados Cu, Cd e Zn, apenas o Cd apresenta concentrações de 7 e 8 µg/l, portanto acima do limite de detecção e do VMA. Os resultados analíticos para o zinco e cobre apresentam valores inferiores ao limite de detecção do método analítico nas 15 campanhas de monitorização.

A baixa representatividade de muitas das amostras devido às condições de reduzido ou mesmo nulo caudal é um aspecto que condiciona em parte as conclusões acima expostas. Importa continuar o programa de monitorização para avaliar a evolução desta situação.

3.3.3 A2, Castro Verde - Almodôvar

3.3.3.1 Informação analisada

A informação analisada para este troço foi a disponibilizada pela EP, S.A. e encontra-se publicada nos relatórios da UNL (2001, 2002a, 2002b, 2002c, 2002d, 2003a, 2003b) e COBA (2005a, 2005b). Essa informação foi inserida na Base de Dados MIA.mdb (Oliveira *et al.* 2005).

Os relatórios acima mencionados referem uma rede de amostragem constituída por 12 pontos de amostragem, apenas quatro deles coincidentes nas duas fases de construção e de exploração, tal como vem apresentado no Quadro 7.

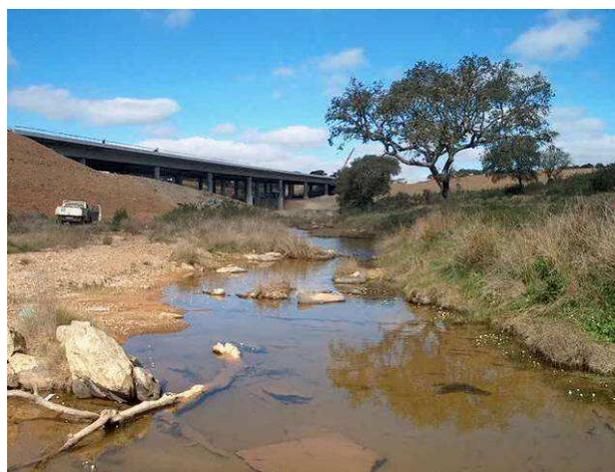
Quadro 7 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto à A2, Castro Verde - Almodôvar

Designação	Distância aproximada à estrada (m)	Posição relativa à estrada	Fase analisada
Ribeira de Mora - P1 (construção); P4 (exploração)	50	Montante	C, E
Ribeira de Mora - P2 (construção)	75	Jusante	C, E
Rio Mira - P3 (construção); P5 (exploração)	50	Montante	C, E
Rio Mira - P4 (construção); P5 (exploração)	75	Jusante	C, E
Ribeira de Zambujeira/M - P1 (exploração)	800	Montante	E
Ribeira de Zambujeira/J - P1 (exploração)	800	Jusante	E
Ribeira de Touris/M - P2 (exploração)	450	Montante	E
Ribeira de Touris/J - P2 (exploração)	450	Jusante	E
Ribeira de Perna Seca/M - P3 (exploração)	500	Montante	E
Ribeira de Perna Seca/J - P3 (exploração)	500	Jusante	E
Barranco do Cadavaio/M - P6 (exploração)	750	Montante	E
Barranco do Cadavaio/J - P6 (exploração)	750	Jusante	E

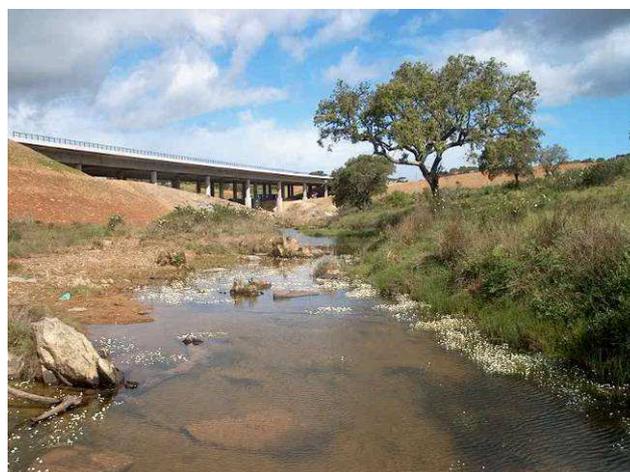
Legenda: E – Exploração; C – Construção.

No decurso da construção da via recolheram-se 34 amostras em quatro locais de amostragem situados a montante e a jusante da Ribeira de Mora e do Rio Mira. Na fase de exploração, recolheram-se mais 10 amostras a montante e a jusante de cinco locais, amostras essas recolhidas numa mesma campanha de amostragem.

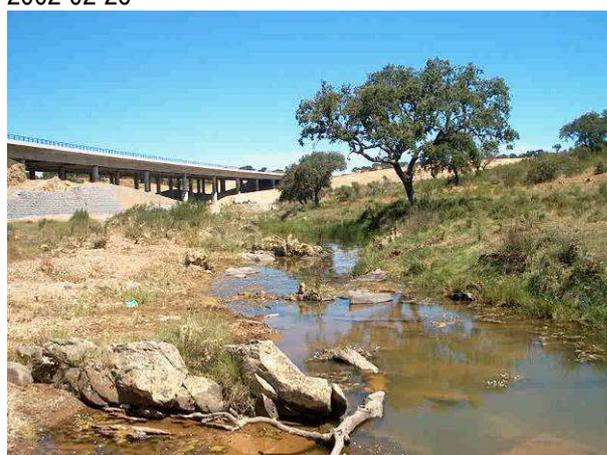
Importa referir que as equipas responsáveis pela monitorização referem a baixa representatividade de muitas das amostragens, com muitos casos em que as amostras foram recolhidas em pequenas depressões, devido ao reduzido ou mesmo nulo caudal (*cf.* Fig. 24), não correspondendo a verdadeiras condições de escoamento superficial (UNL, 2002a), bem como o facto de se tratarem de anos hidrológicos atípicos, em condições de seca o que, por um lado favorece a concentração de poluentes, mas por outro não proporciona a lavagem do pavimento (COBA, 2005a).



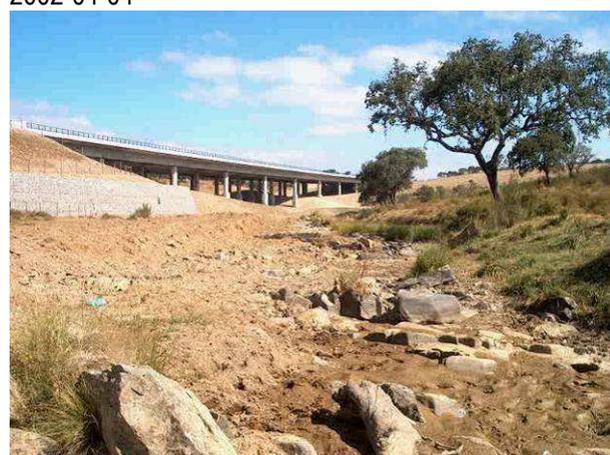
2002-02-26



2002-04-04



2002-05-20



2002-06-24

(fotos gentilmente cedidas pela UNL/FCT/DCEA)

Fig. 24 - Ribeira de Mora, a montante, em diversos períodos de amostragem durante a construção

Os parâmetros analisados para a qualidade da água foram os seguintes: temperatura, pH, oxigénio dissolvido, carência bioquímica de oxigénio, oxidabilidade, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, nitratos, azoto amoniacal, ortofosfatos, fósforo total, cobre, cádmio, zinco e hidrocarbonetos totais.

3.3.3.2 Análise dos resultados

As amostragens de água foram realizadas por equipas diferentes no período de construção e de exploração, pelo que os parâmetros analisados nem sempre foram os mesmos, aspecto que dificulta uma análise da sua evolução. Os parâmetros coincidentes foram as medições de campo (T, pH, SST, SDT, oxigénio dissolvido), os metais pesados (Cd, Cu, Zn) e os hidrocarbonetos totais.

A Fig. 25 apresenta uma projecção dos valores de condutividade eléctrica medidos nas águas superficiais amostradas durante a fase de construção, na ribeira de Mora e no rio Mira, onde é possível observar maiores valores de condutividade nas amostras de jusante relativamente às de montante. De forma consistente, na Fig. 26 também é possível observar concentrações em SDT nas águas da ribeira de Mora recolhidas a jusante, mas o mesmo já não é evidenciado em algumas das amostras recolhidas no rio Mira.

Em relação à presença de metais pesados durante a construção da via, registaram-se concentrações em cádmio em 7 amostras de águas amostradas tanto a montante como a jusante, em dois períodos de amostragem distintos, cujos valores variaram entre 4 a 7 µg/l (*cf.* Fig. 27). Nas restantes amostras as concentrações em Cd estavam abaixo do limite de detecção. As concentrações em zinco e cobre apresentaram valores inferiores ao limite de detecção do método analítico em todas as amostras analisadas. Tal como para o caso do troço de São Bartolomeu de Messines – VLA, chama-se, também, a atenção para o facto de os limites de detecção analíticos não terem sido constantes ao longo do tempo (Cu variou entre 6 e 20 µg/l e o Zn entre 2 e 100 µg/l).

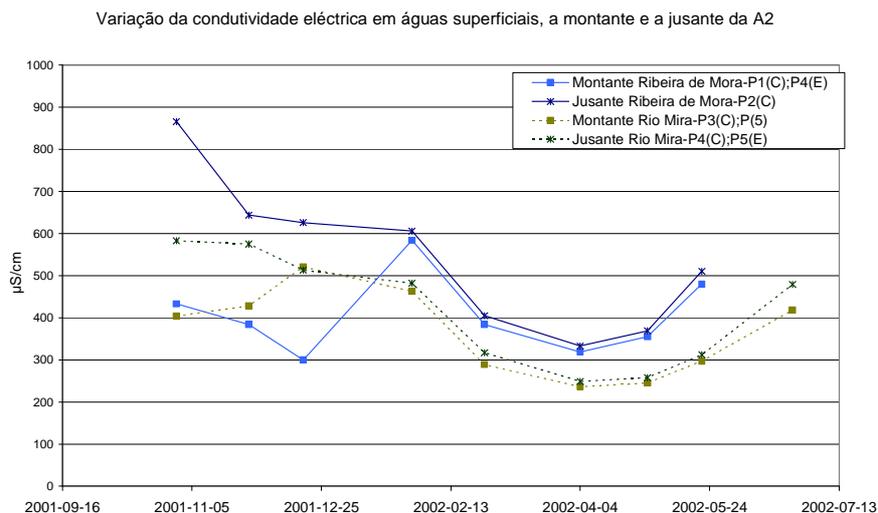


Fig. 25 - Variação da condutividade eléctrica em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Castro Verde – Almodôvar

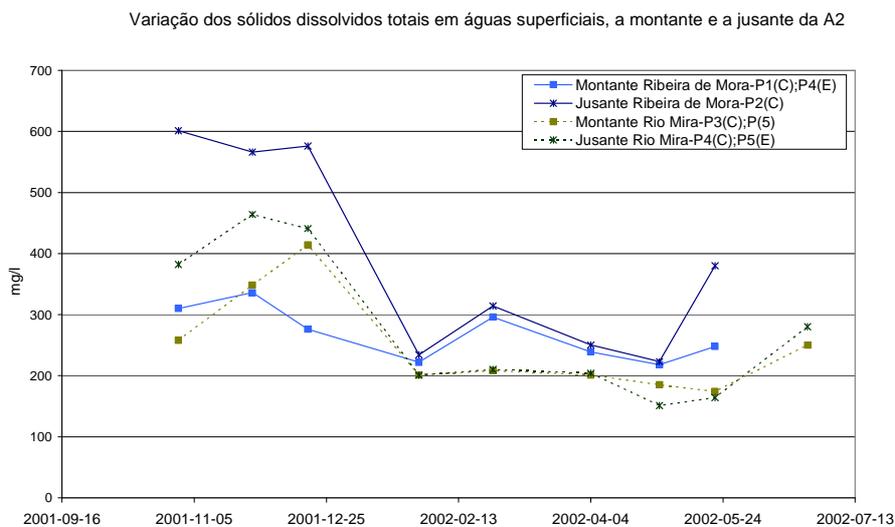


Fig. 26 - Concentração em sólidos dissolvidos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Castro Verde - Almodôvar

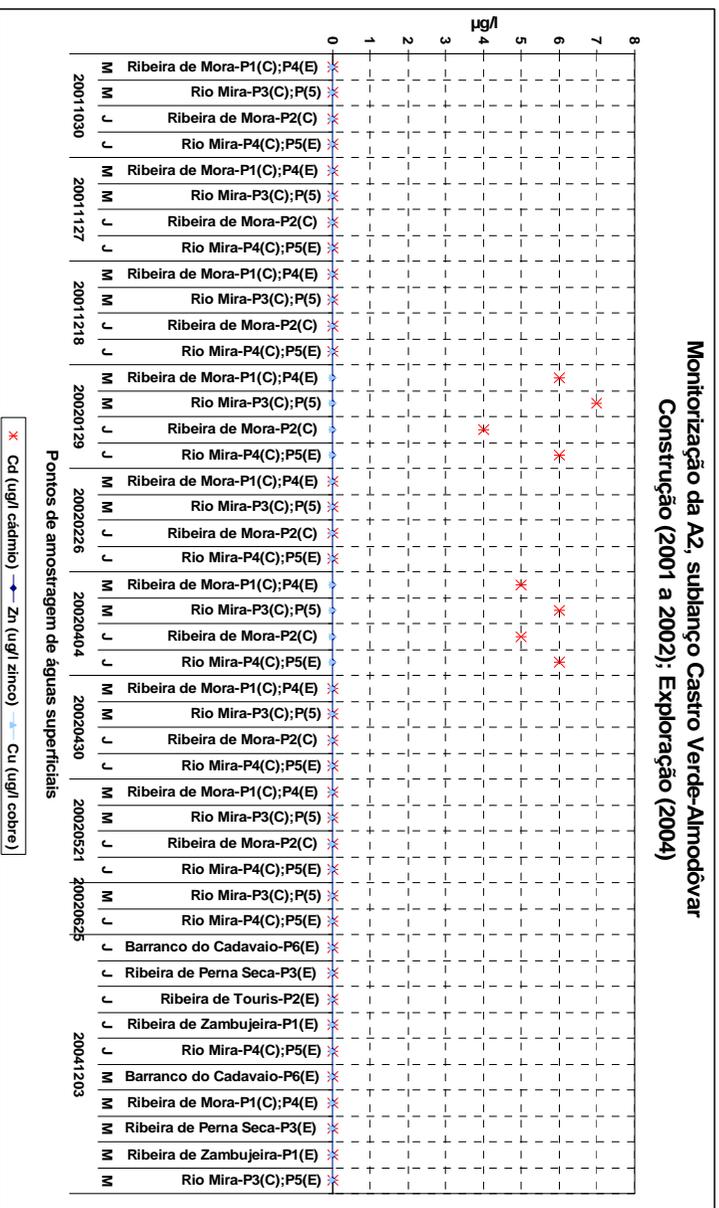


Fig. 27 - Concentração em Cd, Zn e Cu em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Castro Verde - Almodôvar

Finalmente em relação à presença de hidrocarbonetos totais é clara a ocorrência de concentrações elevadas, tanto no período de construção como no de exploração (Fig. 28), em mais do que um local. Esta informação é consistente com o verificado para outros sublanços da A2 analisados neste relatório e com o aparecimento de HT nas águas subterrâneas.

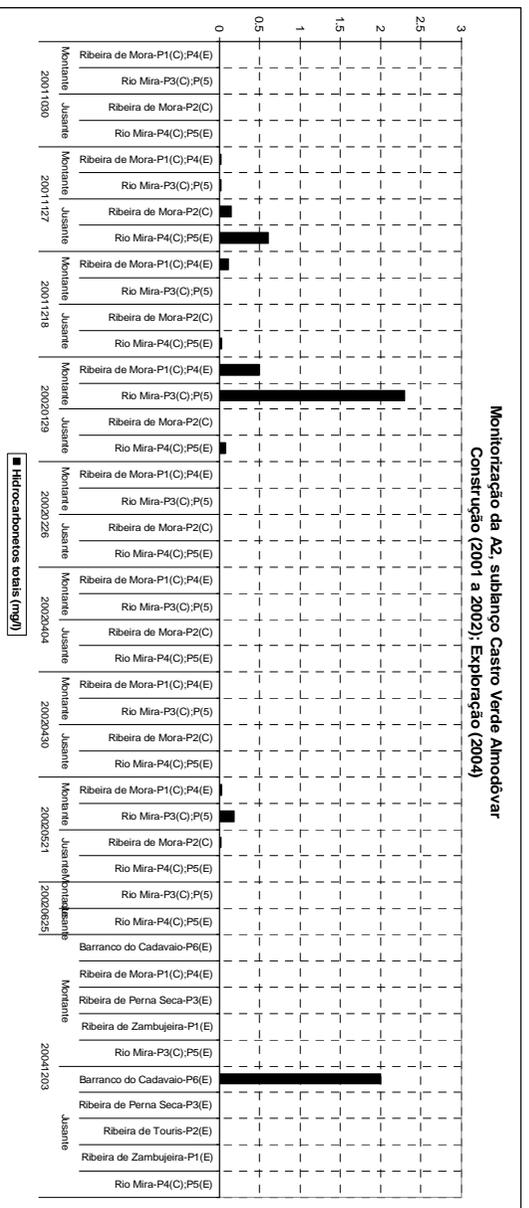


Fig. 28 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Castro Verde - Almodôvar

Em síntese, em termos de análise global dos resultados é provável que as concentrações mais elevadas de hidrocarbonetos tenham origem em perturbações induzidas pelas acções associadas à obra (atravessamento e a lavagem de equipamentos e veículos nas linhas de água, *cf.* (fotos gentilmente cedidas pela UNL/FCT/DCEA)

Fig. 20) em todos os troços da A2 analisados.

Em relação à presença de metais pesados na água, apenas se registaram concentrações em Cd, durante a construção da via, em dois períodos de amostragem distintos. As concentrações em zinco e cobre apresentaram valores inferiores ao limite de detecção do método analítico em todas as amostras analisadas.

As condições pouco representativas das amostras recolhidas referidas pelos autores dos trabalhos analisados e a falta de dados sobre as águas de escorrência até 2005 não permitem que haja conclusões mais específicas, nomeadamente sobre a eficácia das medidas de minimização implementadas.

3.3.4 A6, Nó de Borba

3.3.4.1 Informação analisada

A informação existente sobre esta área que se reporta é relativa ao estudo que o LNEC executou para o Instituto da Água, publicada em Leitão *et al.* (2005). Nesse estudo procurou-se analisar o efeito das águas de escorrência da A6 na qualidade do meio hídrico superficial envolvente, num local o mais próximo possível da bacia de pré-tratamento estudada (Fig. 8 e Fig. 29). Conforme é possível analisar na planta do local, as águas de escorrência da A6, além de serem em parte directamente drenadas para a referida bacia, são também canalizadas para um conjunto de PH envolvendo o nó de Borba. As referidas PH recebem assim a contribuição das águas de escorrência da A6, da água proveniente da praça da portagem e, também, da água dos terrenos envolventes (*cf.* Fig. 29). As análises efectuadas permitem caracterizar a qualidade das águas de uma das PH e, com isso, a sua contribuição em termos de qualidade para o meio hídrico receptor localizado a jusante.

Efectuou-se a recolha de amostras em três pontos distintos (*cf.* Fig. 29): à saída da PH (R12C.2), e cerca de 10 m a montante e 10 m a jusante daquele ponto. A amostragem de águas foi efectuada no mês de Fevereiro de 2004, no único período do mês em que se registou escoamento superficial.

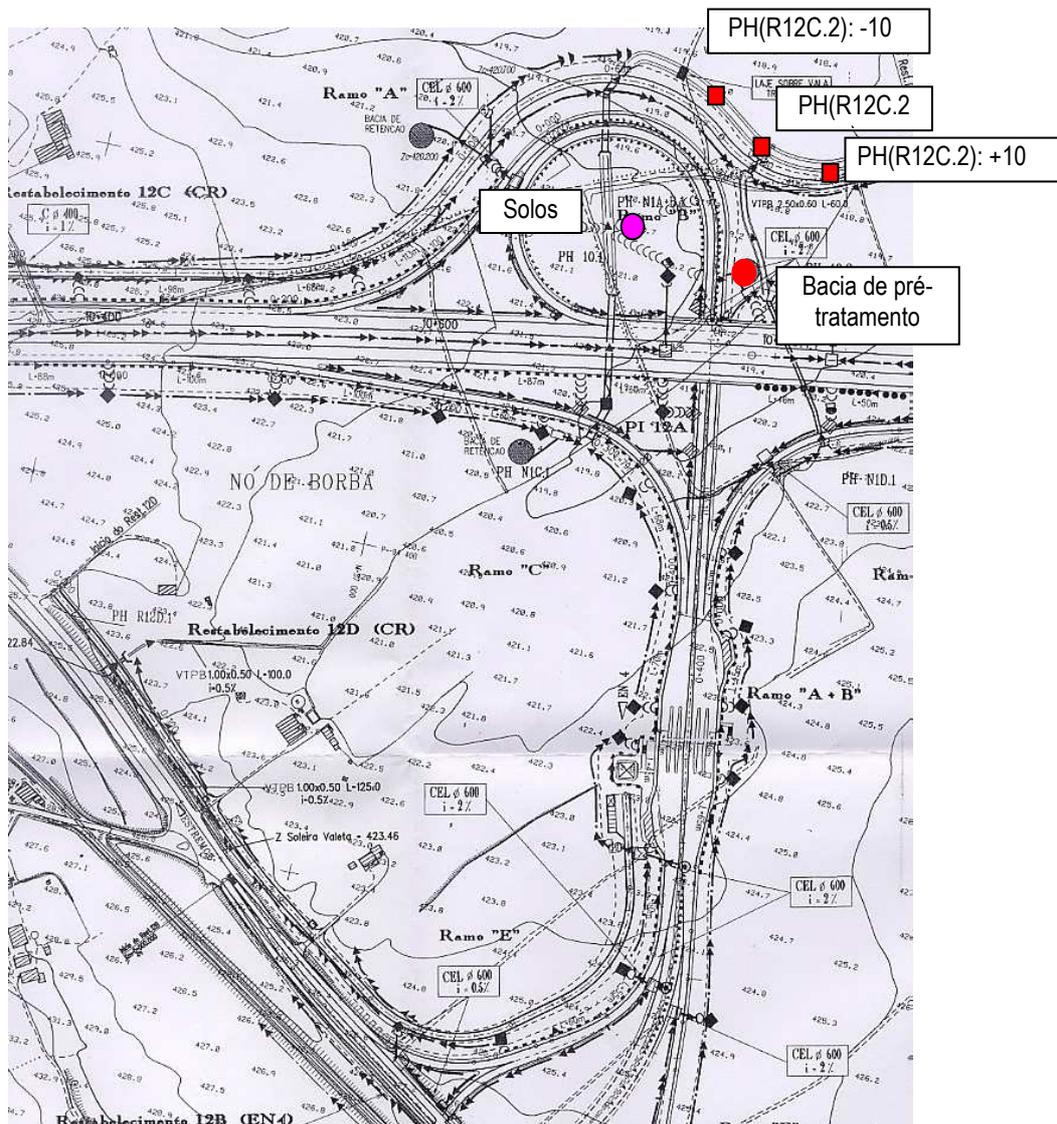


Fig. 29 - Localização dos pontos de amostragem de água, de solos e da bacia junto à A6, nó de Borba (Leitão *et al.*, 2005)

Os parâmetros analisados para a qualidade da água foram os seguintes: temperatura, pH, potencial redox, condutividade eléctrica, sólidos suspensos totais, óleos e gorduras, cobre, cádmio, chumbo, zinco, ferro total e HAP.

3.3.4.2 Análise dos resultados

Na região em apreço não existem cursos de água de dimensões assinaláveis devido aos rápidos processos de infiltração das águas pluviais para o meio cársico subjacente. Apenas se regista a presença de caudais efémeros nas horas seguintes a eventos de precipitação intensos. A recolha de água superficial foi efectuada numa linha de água que recebe contribuição das águas de escorrência da A6, da água proveniente da praça da portagem e, também, da água dos terrenos envolventes. Esta análise não permite aferir directamente a

eficácia da bacia de infiltração implantada no local, uma vez que esta só descarrega para a PH em situações esporádicas que se desconhece se terão alguma vez ocorrido.

Os resultados obtidos permitem verificar que se tratam de águas pouco mineralizadas, o que, de alguma forma, reflecte a sua recente origem através da água da precipitação. Assim, os valores de condutividade eléctrica são relativamente baixos, com valores entre 92 e 135 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O pH é neutro a básico. Observa-se que a quantidade de sólidos suspensos totais é elevada, facto aliás que era possível observar durante a recolha de amostras. Regista-se a ausência de HAP.

Em relação aos resultados obtidos para a concentração em metais pesados nas águas amostradas, apresenta-se na Fig. 30 um gráfico dos resultados obtidos em Leitão *et al.* (2005).

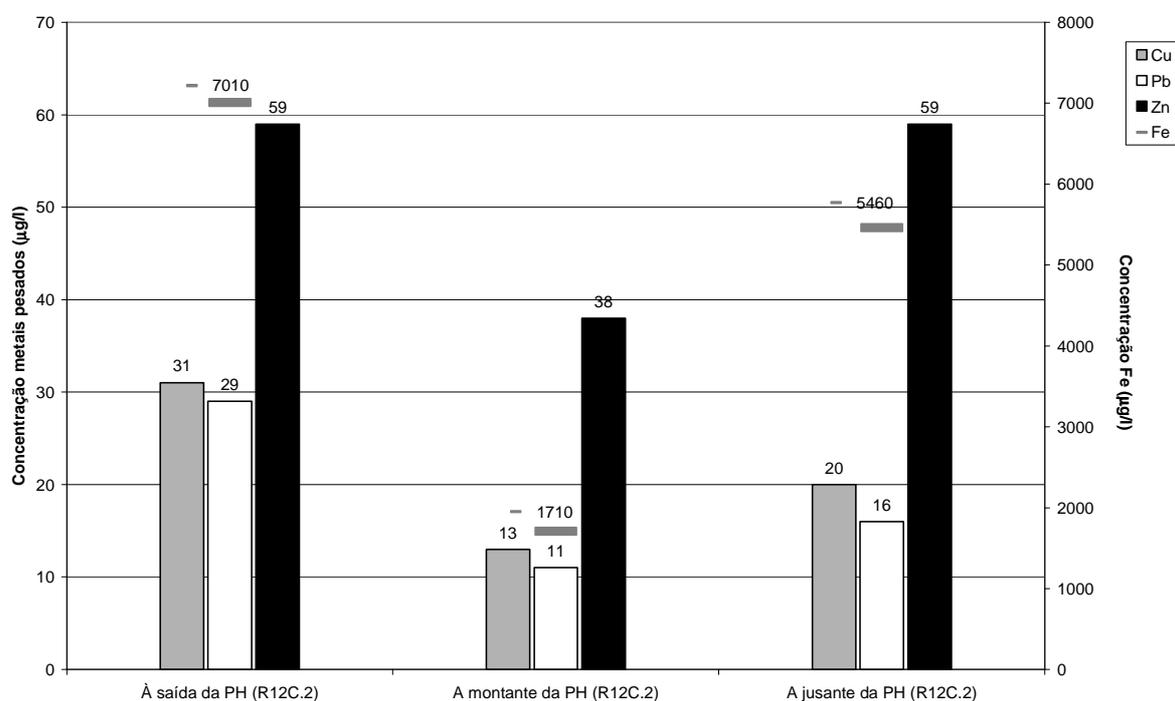


Fig. 30 - Concentração em Cu, Pb, Zn, e Fe na linha de água junto à A6, nó de Borba (Leitão *et al.*, 2005)

Em síntese, os resultados obtidos evidenciam a contribuição dos poluentes provenientes das águas de escorrência da estrada na qualidade da água da PH R 12C.2 (*cf.* Fig. 30). Observa-se que, para todos os metais à excepção do Zn, a água de jusante apresenta uma qualidade que comprova ser resultante da mistura entre as outras duas águas, embora não haja registos dos caudais à saída da PH e da água a montante que permitam aferir a percentagem de contribuição de cada um.

Os resultados obtidos permitem fornecer uma ideia da contribuição das águas de escorrência sem tratamento para as linhas de água de jusante naquela área. A análise dos

efeitos continuados desta contribuição implicaria a recolha de amostras de água em diversos períodos e para diversos eventos de precipitação. Esta análise não permite aferir directamente a eficácia da bacia de infiltração implantada no local, uma vez que esta só descarrega para a PH em situações esporádicas que se desconhece se terão alguma vez ocorrido.

3.3.5 A10, Bucelas - Arruda dos Vinhos

3.3.5.1 Informação analisada

A informação analisada para este troço foi a disponibilizada pela EP, S.A. e encontra-se publicada nos relatórios da Tecninvest (2001) e COBA (2005). Essa informação foi inserida na Base de Dados MIA.mdb (Oliveira *et al.* 2005).

A rede de amostragem inclui 11 locais situados a montante e a jusante de cinco linhas de água que se desenvolvem na envolvente ao traçado da via (Quadro 8 e Fig. 31). Havia outros dois locais assinalados na Fig. 31 como 2M2 e 4M2 que nunca chegaram a ter água durante o período de monitorização. Introduziram-se 105 registos correspondentes a 3 campanhas de monitorização que decorreram entre Março e Outubro de 2004, com periodicidade trimestral, durante a fase de exploração. Os elementos analisados foram apenas cinco: Cd, Cu, Zn, hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsionados e sólidos suspensos totais.

Quadro 8 - Localização dos pontos de água superficial da rede de amostragem na fase de exploração no troço da A10, Bucelas - Arruda dos Vinhos

Designação	Distância aproximada à estrada (m)	Posição relativa à estrada	Fase analisada
Ribeira da A-dos-Potes - 1J	350	Jusante	E
Ribeira A-do-Potes - 1M	350	Montante	E
Ribeira da Laje - 5J	200	Jusante	E
Ribeira da Laje - 5M	1000	Montante	E
Ribeira da Quinta Nova - 2J	850	Jusante	E
Ribeira da Quinta Nova - 2M1	< 100	Montante	E
Ribeira do Loreiro - 3J	750	Jusante	E
Ribeira do Loreiro - 3M1	< 100	Montante	E
Ribeira do Loreiro - 3M2	< 100	Montante	E
Rio das Silveiras - 4J	1050	Jusante	E
Rio das Silveiras - 4M1	< 100	Montante	E

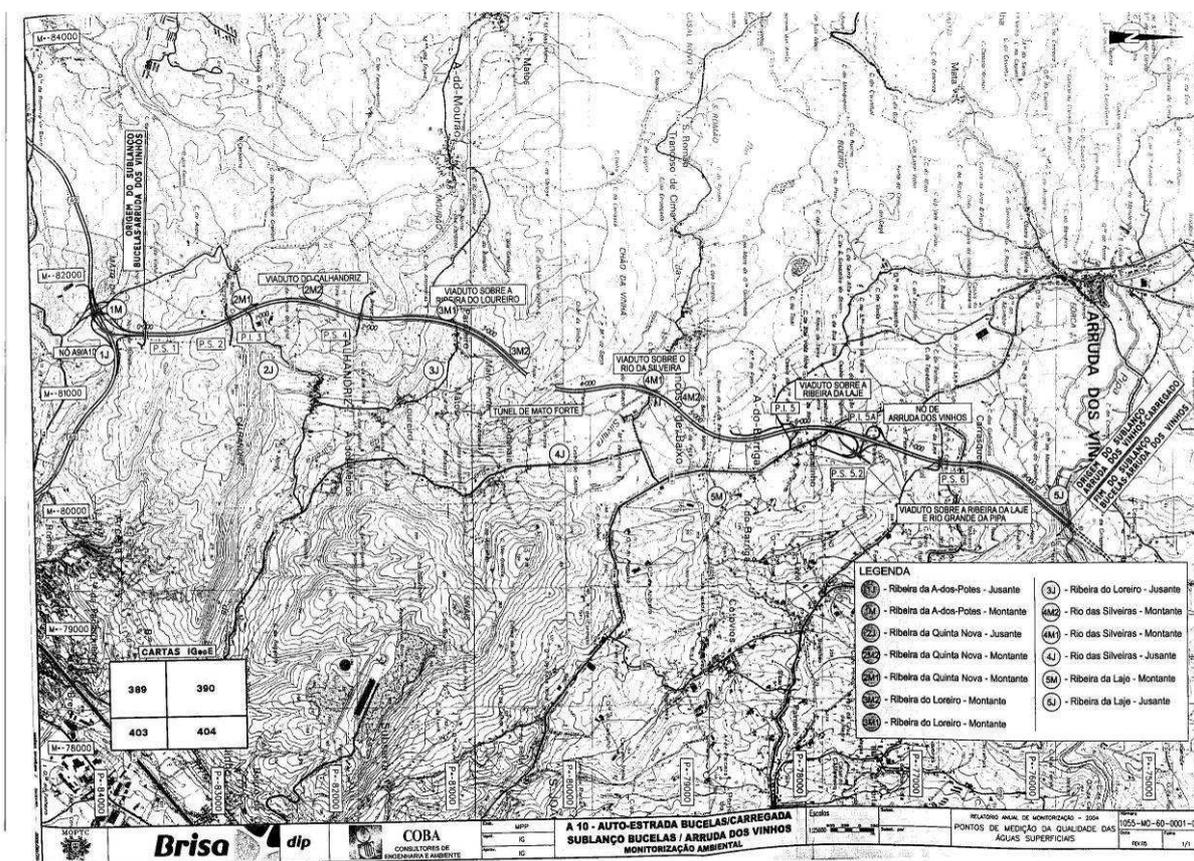


Fig. 31 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto à A10, Bucelas - Arruda dos Vinhos (COBA, 2005)

3.3.5.2 Análise dos resultados

Os resultados obtidos nas três campanhas realizadas em 2004 permitem observar que os hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsionados e os metais pesados apresentam valores inferiores ao limite de detecção do método utilizado, à excepção do zinco que apresenta três valores iguais ao próprio limite. Uma vez mais, os limites de detecção analíticos foram relativamente elevados para os metais ($Cd = 4 \mu\text{g/l}$; $Cu = 20 \mu\text{g/l}$ e o $Zn = 100 \mu\text{g/l}$).

Em relação aos sólidos suspensos totais os valores oscilaram entre 2 e 29 mg/l, com uma mediana de 5 mg/l. São valores que se podem considerar muito baixos.

Em síntese, os resultados obtidos ao fim de três campanhas de amostragem realizadas no mesmo ano de 2004, um ano hidrológico particularmente seco e o primeiro ano de exploração da estrada, não evidenciam a afectação da qualidade das águas superficiais pela estrada, embora os limites de detecção utilizados sejam relativamente elevados.

3.3.6 A22/IC4, Alcantarilha - Guia

3.3.6.1 Informação analisada

A informação analisada para este troço foi a disponibilizada pela EP, S.A. e encontra-se publicada no relatório da Sociedade Concessionária da SCUT do Algarve – Euroscut, tendo sido elaborado por Santos *et al.* (2004). Essa informação foi inserida na Base de Dados MIA.mdb (Oliveira *et al.* 2005).

A rede de amostragem inclui dois pontos situados ao km 41,942 da A22/IC4, localizados na ribeira de Espiche (Fig. 32), a montante e a jusante do atravessamento da via e nas imediações do viaduto designado por V15 em Santos *et al.* (2004).

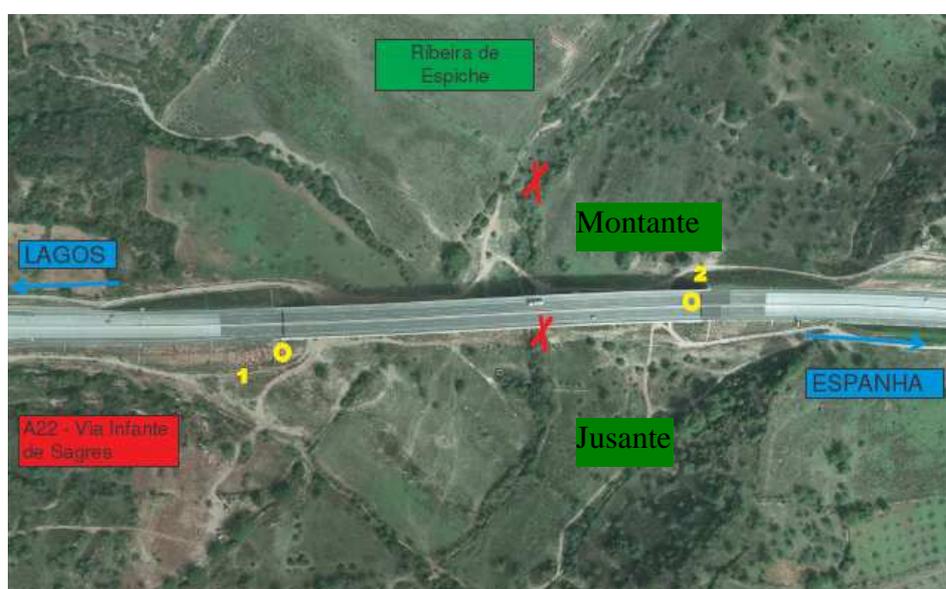


Fig. 32 - Localização dos pontos de monitorização de água superficial na A22/IC4, Alcantarilha - Guia (adaptado de EuroScut/EAHS/UAlg, 2004)

Introduziram-se na base de dados, os resultados das duas amostras recolhidas na campanha de monitorização que decorreu no dia 9 de Dezembro de 2003, durante a fase de exploração. Os parâmetros analisados foram os seguintes: temperatura, pH, CQO, CBO5, sólidos suspensos totais, cobre, zinco, cádmio, chumbo e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP).

3.3.6.2 Análise dos resultados

As concentrações dos parâmetros ligados à poluição de estradas apresentaram, para as duas amostras, valores inferiores ao limite de detecção dos métodos utilizados pelo laboratório responsável. Os limites de detecção definidos foram os seguintes: < 50 µg/l, < 20 µg/l, < 1 µg/l, < 3 µg/l e < 2.9 µg/l, para o cobre, zinco, cádmio, chumbo e HAP, respectivamente. Salienta-se

que o limite de detecção do Cu é elevado, *i.e.* igual ao VMA da Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98 que regula a qualidade das águas doces destinadas à produção de água para consumo humano.

Em síntese, os dados existentes incluem apenas os resultados de uma amostragem realizada no decurso da exploração da estrada, num local a montante e outro a jusante da via. Nessas condições os valores medidos foram baixos e não foram detectadas quaisquer alterações significativas da qualidade da água. Esta escassa informação não permite avaliar a eficácia das medidas de minimização adoptadas para aquele troço.

3.3.7 A23/IP2, Ligação à Covilhã

3.3.7.1 Informação analisada

A informação analisada resulta de duas campanhas de monitorização efectuadas no âmbito do Plano de Monitorização Ambiental da A23/IP2 (Albuquerque e Carvalho, 2005a e 2005b, *in* Albuquerque, 2006) que foram posteriormente objecto de um trabalho desenvolvido no âmbito de uma dissertação de mestrado apresentada no Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura da Universidade da Beira Interior (Albuquerque, 2006; Albuquerque *et al.*, 2006).

Apenas foi amostrado um ponto de águas superficiais, localizado no rio Corges, onde foram analisados os seguintes parâmetros nas duas campanhas: pH, temperatura, condutividade eléctrica, oxigénio dissolvido, sólidos suspensos totais, carência química de oxigénio, amónia, nitratos, cobre, crómio, zinco e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP).

3.3.7.2 Análise dos resultados

Os escassos resultados de monitorização existentes reportam-se apenas a um período inicial da exploração da estrada. Nessas condições os valores medidos foram baixos e não foram detectadas quaisquer alterações significativas da qualidade da água. Importa, pois, que se prossiga a monitorização para avaliar a evolução da qualidade ao longo de um período de tempo de exploração da estrada que seja mais significativo.

3.3.8 A24/IP3, Vila Real - Régua (IP4)

3.3.8.1 Informação analisada

A informação analisada para este troço foi a disponibilizada pela EP, S.A. e encontra-se publicada no relatório NORINTER/EGI Ambiente (2004). Essa informação foi inserida na Base de Dados MIA.mdb (Oliveira *et al.* 2005).

Os dados dizem respeito a quatro pontos de água amostrados na fase de construção e de exploração (Fig. 33 e Quadro 9). Os dados correspondem a 3 campanhas de monitorização que decorreram entre Janeiro de 2001 e Setembro de 2003. Os parâmetros analisados foram: caudal, temperatura de campo, pH, oxigénio dissolvido, sólidos suspensos totais, CQO, CBO5, hidrocarbonetos totais, cádmio, cobre, chumbo e zinco.

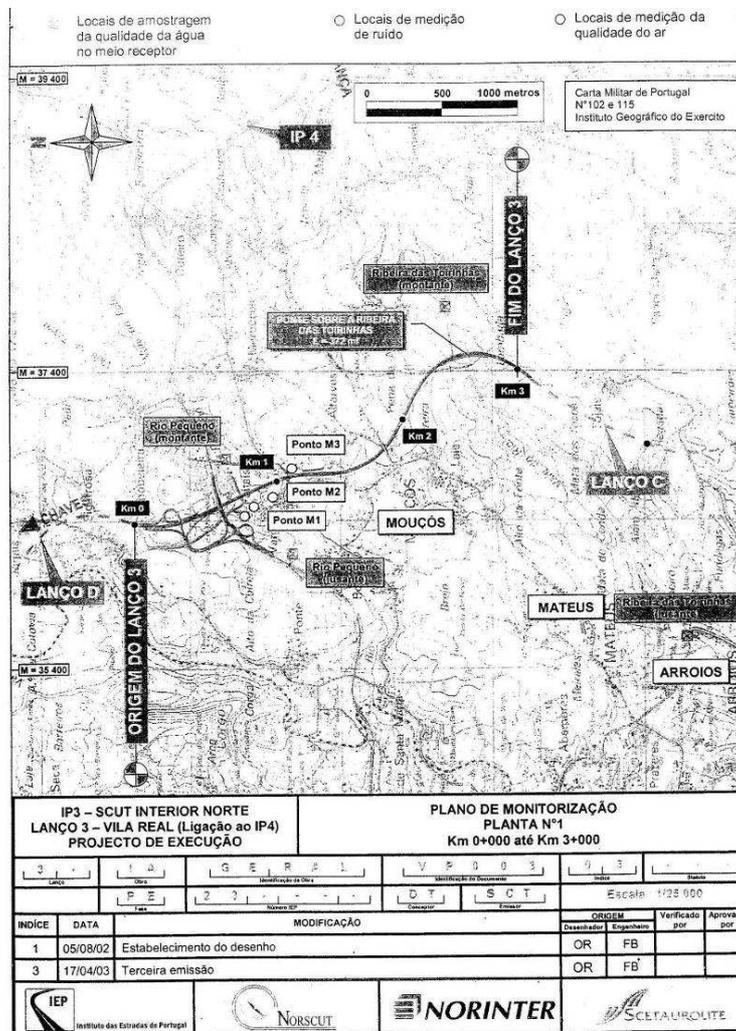


Fig. 33 - Localização dos pontos de monitorização de água superficial junto ao A24/IP3, Vila Real – Régua (NORINTER / EGI Ambiente, 2004)

Quadro 9 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto ao A24/IP3, Vila Real – Régua

Designação	Distância aproximada à estrada (m)	Posição relativa à estrada	Fase analisada
Rio Pequeno - P6	250	Montante	C, E
Rio Pequeno - P7	500	Jusante	C, E
Ribeira das Toirinhas - P8	325	Montante	C, E
Ribeira das Toirinhas - P9	1250	Jusante	C, E

3.3.8.2 Análise dos resultados

Do conjunto de parâmetros analisados começam por se apresentar os resultados directamente relacionados com a poluição de estradas, *i.e.* cádmio, cobre, chumbo, zinco e hidrocarbonetos totais.

Em relação às concentrações em metais pesados na água, observa-se que nas duas primeiras campanhas apenas foi encontrado cobre numa amostra, tal como pode ser observado na Fig. 34. Todos os restantes metais se encontravam abaixo dos respectivos limites de detecção. O cobre voltou a surgir acima dos limites de detecção usados (5 e 10 µg/l) em mais uma amostra de água, das restantes 12 análises efectuadas. De salientar que uma das análises em que se detectou Cu, o seu valor (7 µg/l) era inferior ao limite de detecção usado nalgumas outras campanhas (10 µg/l).

Relativamente à concentração em Cd, os valores encontraram-se quase sempre abaixo do limite de detecção (0,5 µg/l) excepto em duas amostras (P9 e P6, *cf.* Fig. 34) com concentrações de 1 µg/l, correspondentes a águas recolhidas em 2003-09-11, que se localizam a montante e a jusante do A24/IP3.

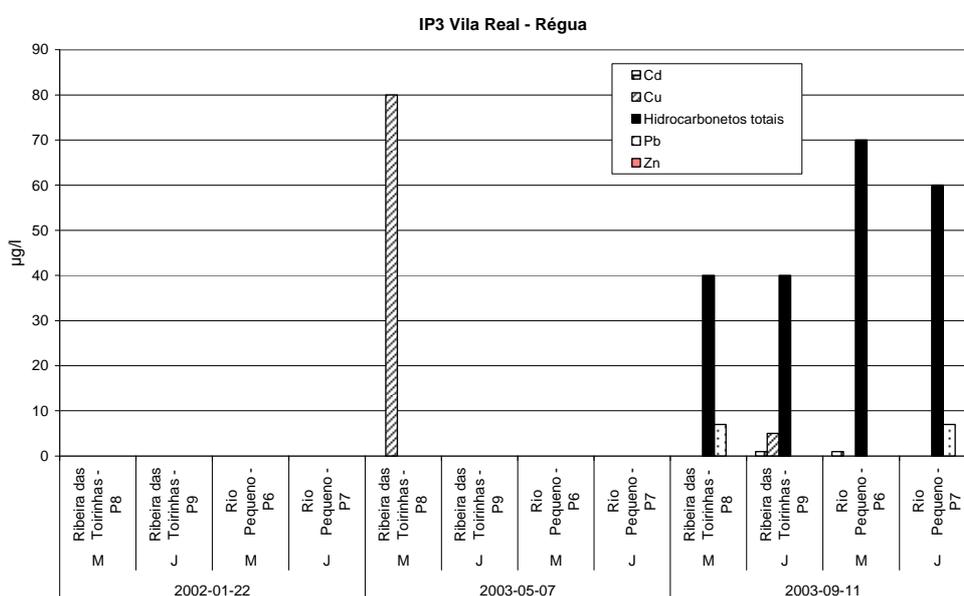


Fig. 34 - Concentração em hidrocarbonetos totais e em metais pesados em amostras de águas superficiais recolhidas junto ao A24/IP3, Vila Real – Régua

A concentração em chumbo encontrou-se abaixo dos limites de detecção (1 e 5 µg/l) para as amostras recolhidas nas duas primeiras campanhas e igual a 7 µg/l em dois pontos da última campanha, a montante e a jusante da estrada.

Não foi detectada a presença de zinco em concentrações superiores aos limites de detecção utilizados (5 e 10 µg/l).

A concentração em hidrocarbonetos totais foi inferior ao limite de detecção usado para todas as amostras dos dois primeiros períodos de amostragem, embora para um limite de detecção muito elevado (< 10 mg/l ou < 30 mg/l!) que não permite detectar uma eventual poluição abaixo daquele valor. Não obstante, nas quatro amostras recolhidas tanto a montante como a jusante da estrada, a 11 de Setembro de 2003, observaram-se elevadas concentrações em hidrocarbonetos, com valores entre 40 e 70 mg/l.

Em síntese, a análise da Fig. 34 e os comentários anteriormente referidos permitem concluir ter havido um período (Setembro de 2003) onde se detectaram concentrações significativas de vários parâmetros, tanto a montante como a jusante do A24/IP3, embora para os metais pesados os valores tenham sido muito baixos (abaixo do VMR, quando existe e abaixo dos limites de detecção usados em muitos dos troços analisados neste texto). De referir que esses valores foram registados num período de baixo caudal (cf. Fig. 35), onde os processos de diluição são menos pronunciados.

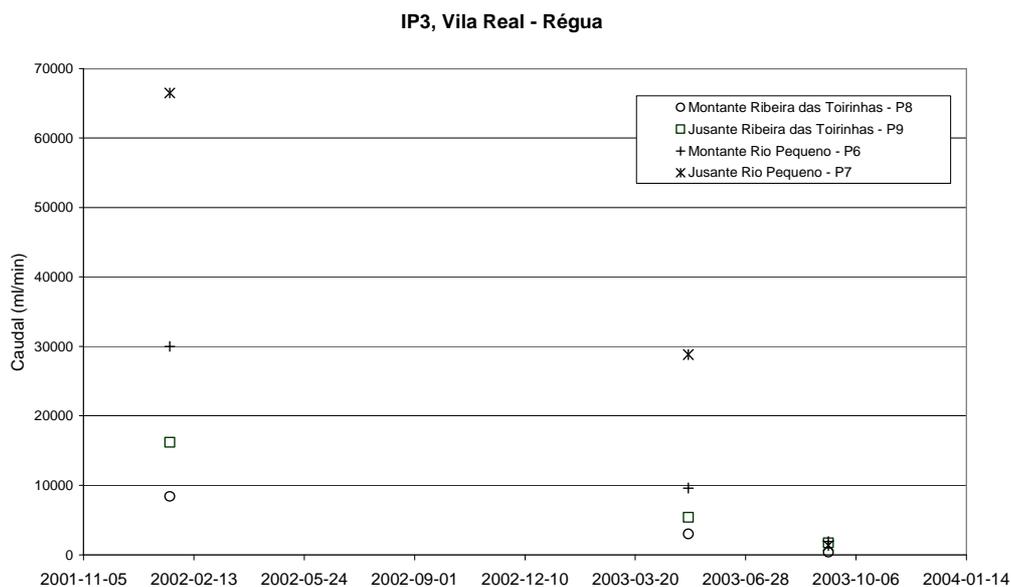


Fig. 35 - Caudal nas águas superficiais medido junto ao A24/IP3, Vila Real – Régua

A presença de concentrações em HT nas águas de superfície amostradas a montante e a jusante da via poderão ter uma eventual origem na estrada mas também em outras fontes de poluição. Contudo, o curto período de monitorização não permite ser conclusivo quanto à confirmação dessa poluição nem à sua possível origem de poluição e menos ainda avaliar a eficácia da bacia multifuncional. Para esse efeito, importa continuar a monitorização por um período mais alongado no tempo e em várias épocas do ano.

Capítulo 4: Directrizes para a Definição e o Planeamento de Programas de Monitorização de Recursos Hídricos e de Solos

4.1 Introdução

Neste capítulo apresentam-se as principais directrizes que devem constar dos programas de monitorização de recursos hídricos e solos, quando se pretende averiguar os potenciais efeitos das águas de escorrência de uma dada estrada na sua qualidade.

De referir que, no âmbito do estudo publicado em Leitão et al. (2005) realizado pelo LNEC para o INAG, já se haviam apresentado estas mesmas directrizes para os recursos hídricos, agora actualizadas em alguns aspectos essencialmente no que toca aos parâmetros a analisar, aos equipamentos de recolha de amostras e à amostragem de solos.

Os programas de monitorização deverão integrar análises antes da execução da estrada e desde o início da sua exploração.

Durante a fase de construção os maiores impactes nos meios hídricos são resultantes da desmatção, movimentações de terra e circulação de pesados. Há ainda a considerar as mudanças de óleo das viaturas e máquinas usadas na construção. As contribuições poluentes para os meios hídricos, em termos de parâmetros de qualidade serão os sólidos (totais e suspensos) e os óleos, afectando principalmente as águas superficiais, por motivos óbvios. Eventuais contribuições de águas residuais domésticas dos estaleiros poderão também existir.

São analisados diversos aspectos que devem constar de um programa de monitorização da componente hídrica envolvente às estradas, incluindo os parâmetros a analisar, locais e frequência de monitorização, técnicas e métodos de monitorização, e equipamento necessário.

Um dos aspectos para o qual se chama a atenção é o período de tempo necessário para que um determinado poluente seja transportado até um meio hídrico – aspecto com particular relevância para as águas subterrâneas. Assim, há que atender a uma variação sazonal do caudal e velocidades de escoamento em todas as linhas de água e muitas delas são, em Portugal, intermitentes, tendo representação física unicamente na sequência de eventos pluviométricos com capacidade para gerar escoamento. Factores como a velocidade do escoamento, a sua turbulência, o perfil transversal da linha de água, tipo de material do leito, etc., condicionam o transporte e mistura dos poluentes na massa de água. A qualidade da

massa de água pode condicionar determinadas reacções químicas e físicas (por exemplo, precipitação de poluentes).

Relativamente às técnicas analíticas, estas são parte integrante de um programa de monitorização e uma deficiente metodologia analítica poderá conduzir ao fracasso um programa, mesmo que bem delineado e com suficientes recursos materiais. Deste modo é importante que, após a selecção dos parâmetros a analisar, se contacte o laboratório onde as determinações irão ser feitas, de forma acordar os processos de quantificação analítica bem como os limites de detecção dos métodos analíticos utilizados. Estes deverão ser comparados com concentrações expectáveis e, se necessário, deve-se pedir ao laboratório que mude procedimentos de rotina para se adaptar às matrizes esperadas.

É recomendável, antes de se implementar um programa de monitorização intensivo, começar por uma fase mais simples de forma a obter a informação necessária ao estágio seguinte - a delineação de um programa mais elaborado de caracterização. Esta fase inicial permite ainda reflectir melhor sobre a selecção de parâmetros relevantes, de acordo com os níveis de concentrações encontrados. Estas concentrações devem sempre ser associadas, no caso das águas superficiais, ao caudal.

Refere-se, por fim, que a Portaria n.º 330/2001 de 2 de Abril, apresenta no seu Anexo V a *Estrutura do relatório de monitorização*, com descrição dos programas de monitorização a efectuar para cada factor ambiental. O Anexo IV da referida Portaria refere, no seu ponto IV, os aspectos que devem constar de um plano geral de monitorização. Esta Portaria foi tida em consideração neste Estudo.

4.2 Monitorização das águas subterrâneas

4.2.1 Objectivos da monitorização

As águas subterrâneas são uma parte do ciclo hidrológico, sendo a sua principal fonte de recarga, proveniente da infiltração das águas de precipitação, através do solo. Existem, também, importantes fluxos de água entre as águas subterrâneas e as massas de água superficial (como os rios e lagos), pelo que para a análise do impacte da poluição de estradas nos meios hídricos é fundamental incluir a análise do meio subterrâneo.

A monitorização de águas subterrâneas é efectuada tendo em vista os seguintes dois objectivos principais: (1) a caracterização da situação natural ou de referência (visando a sua gestão da forma mais adequada e a tomada de iniciativas contra eventuais alterações significativas da sua qualidade) e (2) a caracterização de eventuais efeitos da poluição, o seu grau e a sua extensão (referida na Directiva 2000/60/CE, em relação às águas, como monitorização de vigilância e operacional).

A importância do tipo de poluentes na definição de estratégias de amostragem reflecte-se no processo de colheita de amostras de águas subterrâneas na medida em que a recolha deverá ser adaptada ao tipo e à configuração da mancha de poluição e às suas propriedades hidroquímicas.

Numa primeira análise existem dois grandes grupos de compostos com comportamentos totalmente distintos: os solúveis ou miscíveis (a maioria dos compostos inorgânicos, tais como os metais pesados) e os insolúveis ou imiscíveis na água (cuja maioria são compostos orgânicos, o caso dos combustíveis). A sua localização no topo ou na base da água (subterrânea) depende principalmente da sua solubilidade e da sua densidade, necessitando a amostragem de ser apropriada por forma a evitar situações em que não se detectem os elementos por má concepção da distribuição da mancha de poluição.

De entre os elementos solúveis, ou parcialmente solúveis, os elementos que têm densidades diferentes das da água, apresentam uma migração, no subsolo, distinta da da água, aspecto que deverá ser tomado em consideração na sua amostragem. O seu comportamento é semelhante ao dos elementos insolúveis que em seguida se referem, sendo contudo maior a sua dissolução na água.

Em relação aos elementos insolúveis na água, existem duas grandes classes, com propriedades diferentes: os menos densos que a água (LNAPL, de que são exemplo os hidrocarbonetos como o gasóleo e a gasolina) que tendem a migrar verticalmente no solo até atingirem a superfície freática para depois se espalharem sobre ela (cf Fig. 36), e os mais densos que a água (DNAPL, de que são exemplo os hidrocarbonetos clorados) que tendem a penetrar no aquífero até encontrar uma base impermeável.

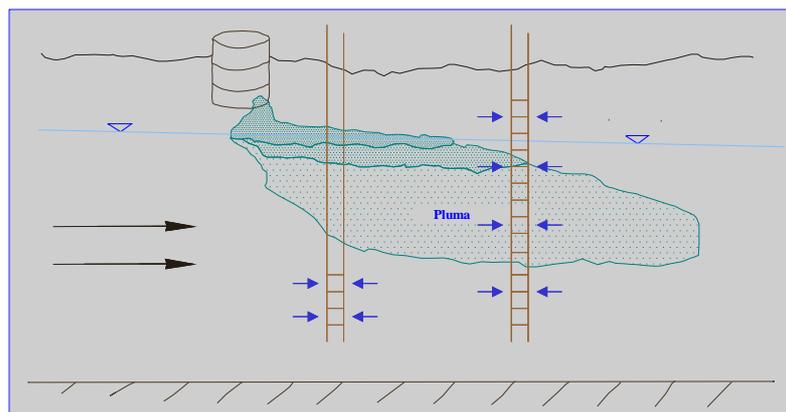


Fig. 36 - Migração de um líquido solúvel de baixa densidade LNAPL (adaptado de Aller *et al.*, 1989)

Os poluentes de densidade baixa devem, assim, ser detectados como uma camada essencialmente flutuante sobre as águas subterrâneas, pelo que os ralos dos furos de amostragem devem ser abertos na zona superior do aquífero para a sua detecção; os poluentes de alta densidade, miscíveis ou imiscíveis na água, devem ser detectados em toda a

zona saturada e, em especial, sobre a base impermeável dos aquíferos, pelo que os ralos do furo devem ser abertos a diferentes profundidades, especialmente na zona inferior do aquífero.

Além da necessidade em atender a esse conjunto de fenómenos químicos e físicos, específicos de determinados elementos, há um conjunto de factores comuns a todos os elementos e que devem ser cuidadosamente ponderados. As águas subterrâneas têm um conteúdo em oxigénio com tendência a diminuir em profundidade; assim, o contacto das amostras de água com o ar provoca rápidas alterações da sua composição química, pelo que deve ser evitado um contacto prolongado com o ar.

Há, ainda, que ter em conta que as amostras de águas subterrâneas podem ficar sujeitas a uma série de processos como sejam: libertação de gases, oxidação em presença de ar, adsorção, desadsorção e troca iónica induzida por variação de temperatura e pH, presença de microrganismos, etc. Estas são algumas das reacções mais frequentes que podem alterar a composição das amostras, logo após a sua colheita. É necessário tê-las em conta, por forma a serem minimizados erros, através de condições específicas de colheita e de conservação de amostras.

No caso específico da monitorização de águas subterrâneas na envolvente às estradas, pretende-se detectar eventuais efeitos de poluição das estradas, necessitando para o efeito de saber também as condições de qualidade a montante desse foco de poluição.

Na elaboração de um programa de monitorização para uma área específica, devem ser definidos:

- Parâmetros físico-químicos e tipo de poluentes a analisar;
- Locais a monitorizar (densidade de pontos, localização e tipo de infra-estruturas);
- Frequência de monitorização;
- Técnicas e métodos de monitorização e equipamento necessário.

Nas secções seguintes analisam-se estes diferentes aspectos.

4.2.2 Parâmetros a analisar

Os parâmetros a analisar no meio hídrico subterrâneo são os encontrados nas águas de escorrência, acrescidos de alguns parâmetros que auxiliam na compreensão da dinâmica da poluição no meio subterrâneo, onde se incluem os aniões e catiões maiores presentes nas águas subterrâneas. Sugere-se a análise dos seguintes parâmetros, estando **a negrito o conjunto de parâmetros principais** que se sugere **serem analisados em todas as análises químicas** de águas subterrâneas (Quadro 10).

Quadro 10 - Parâmetros a analisar nas águas subterrâneas em áreas envolventes a estradas

Parâmetros a medir <i>in situ</i>	Parâmetros para análises químicas	
Temperatura	Hidrocarbonetos Totais	Cádmio
pH	Óleos e gorduras	Crómio
Potencial redox	Carbono Orgânico Total	Chumbo
Condutividade eléctrica	Nitratos	Cobre
Oxigénio dissolvido	Fósforo total	Zinco
	Aniões: cloretos, bicarbonato, sulfato	
	Catiões: cálcio, magnésio, sódio, potássio	

Nota: Parâmetros que devem ser sempre analisados
Outros parâmetros com interesse

A proposta de medição dos aniões e catiões maiores acima referidos nas águas subterrâneas deve-se ao facto de estes nos permitirem determinar a especiação dos elementos presentes na água, como os metais, fornecendo informação acerca da propensão daqueles elementos para permanecer em solução ou na forma sólida (retidos no solo). Essa informação, de baixo custo, é extremamente importante para avaliar a facilidade de migração dos poluentes em determinadas condições físico-químicas.

Este conjunto de parâmetros deve ser reequacionado com base nos resultados que se vão obtendo ao longo do programa de monitorização.

4.2.3 Locais a monitorizar

4.2.3.1 Considerações gerais

De acordo com a Directiva 2000/60/CE, uma rede de monitorização de águas subterrâneas deverá ser "concebida de modo a proporcionar uma panorâmica coerente e completa do estado químico das águas subterrâneas ..., bem como permitir detectar a presença de tendências a longo prazo, antropogenicamente induzidas, para o aumento das concentrações de poluentes".

A concepção de uma rede de monitorização deve considerar: (1) o número de furos (densidade); (2) a sua localização e (3) infra-estruturas e métodos de furação.

As características de heterogeneidade do meio hídrico subterrâneo podem originar a presença de poluentes num determinado local e a sua ausência a curta distância. De forma geral, o movimento de poluentes nas águas subterrâneas é muito lento, com excepção de formações cársicas e muito fracturadas.

Uma rede de monitorização de águas subterrâneas deve, assim, ser composta por furos correctamente localizados e em número suficiente para que, no seu conjunto, constituam as infra-estruturas básicas para a monitorização representativa das variáveis hidrodinâmicas do

aquífero e da qualidade da água, no espaço e no tempo.

4.2.3.2 Pontos de amostragem

A determinação da localização dos pontos onde devem ser recolhidas as amostras e a profundidade de amostragem, é essencialmente condicionada por três aspectos: os objectivos da amostragem (neste estudo definido como a análise da influência das águas de escorrência no meio hídrico receptor), as características do meio (maior ou menor homogeneidade) e o tempo de funcionamento da estrada. Para a amostragem ser representativa devem ser recolhidas amostras em diferentes períodos de tempo.

Atendendo ao facto de que a poluição de estradas é difusa linear (as descargas processam-se ao longo da estrada), recomenda-se que sejam adoptados os conceitos utilizados para a poluição pontual (tal como é feito para o caso dos aterros, que são outro tipo de poluição difusa) que exigem que, no mínimo, se faça uma recolha a montante e duas a jusante da fonte de poluição em relação ao sentido do escoamento, isto é, 3 pontos de amostragem.

Os furos, já existentes ou novos furos a instalar, devem permitir amostrar a qualidade da água original, *i.e.* não afectada pela eventual poluição - furos a montante - e permitir recolher a água subterrânea em áreas de jusante dos caminhos preferenciais de circulação de águas subterrâneas - furos a jusante (EPA, 1978). A sua localização e a profundidade devem ser definidos para cada caso, com base nas características hidrogeológicas do local.

Para o caso da análise de eventuais efeitos da poluição de estradas nas águas subterrâneas, a amostragem deve ser efectuada na área envolvente à estrada, dentro de uma distância à estrada razoável, atendendo ao tempo de funcionamento da estrada. A importância do tempo de funcionamento da estrada na selecção dos locais de amostragem deve-se ao facto do maior tempo de funcionamento permitir a migração dos poluentes para distâncias maiores, na medida em que a distância atingida é directamente proporcional à velocidade de propagação (que depende das características do meio) e do tempo.

Essa distância limite poderá ser definida através da velocidade do escoamento e do tempo de funcionamento da estrada. Para o efeito será necessário considerar a permeabilidade do meio, o gradiente hidráulico, a sua porosidade eficaz e o tempo de funcionamento da estrada. Boulding (1995) apresenta um conjunto de tabelas com intervalos de valores para porosidade eficaz e condutividade hidráulica em função do tipo de materiais.

Por exemplo, numa estrada em exploração há 10 anos, cujo solo apresente valores de permeabilidade da ordem de 10 m/d, uma porosidade eficaz de 20% e um gradiente hidráulico de 1/100 não se poderá esperar encontrar poluentes a mais de 1825 m de distância à estrada.

$$V = \frac{k.i}{n} = \frac{10.0,01}{0,20} = 0,5 \text{ m/d}$$

$$x = V.t = 0,5.3650 = 1825 \text{ m}$$

onde:

x (m) - distância à estrada

V (m/d) - velocidade do escoamento subterrâneo

t (d) - tempo de funcionamento da estrada

k (m²/d) - permeabilidade do meio

i (-) - gradiente hidráulico

n (-) - porosidade eficaz

Contudo, este cálculo preliminar poderá ser radicalmente diferente se houver captações de águas subterrâneas em funcionamento, pois esta acção induz o forte aumento do gradiente hidráulico acelerando a velocidade de percolação local e, assim, a migração dos poluentes. Um outro aspecto a ter em consideração é a elevada variação dos valores de permeabilidade, de local para local, em formações cársicas e muito fracturadas.

O cálculo preliminar apresentado para a distância máxima onde será possível encontrar efeitos da poluição de estradas nas águas subterrâneas não significa que haja poluentes nesses locais, pois há ainda que contar com o tempo em que se processa a migração na vertical até se atingir o nível saturado. Por outro lado, também os factores químicos e físicos responsáveis pela retenção de poluentes, tais como a diluição, a dispersão e a adsorção, diminuem significativamente a concentração e a migração da poluição.

Chama-se, também, a atenção que a permeabilidade vertical é significativamente inferior à horizontal (pelo menos 10 vezes inferior, em termos genéricos), pelo que os furos que se encontrem a captar a profundidades muito grandes não deverão ser seleccionados para infra-estruturas de monitorização dos efeitos das águas de escorrência de estradas, especialmente em estradas abertas há pouco tempo e em solos com baixa permeabilidade vertical.

Na sequência do exposto, caso seja necessário instalar piezómetros de monitorização, estes deverão começar por ser colocados em zonas próximas da estrada, da ordem de dezenas de metros, e com os ralos para entrada de água colocados de forma a amostrar o primeiro estrato geológico com expressão e em toda a sua espessura. Caso se detectem situações de poluição nesses piezómetros, deverão então ser equacionados outros locais mais distantes, dentro dos limites onde é expectável encontrar poluição, tendo em atenção as características hidrodinâmicas e químicas do meio.

Nas situações onde existam furos ou poços na vizinhança do local, estes podem ser seleccionados para amostragem, desde que apresentem distâncias apropriadas e desde que se encontrem a captar os estratos superiores.

4.2.4 Frequência de monitorização

O objectivo das directrizes de monitorização definidas neste estudo visam a avaliação dos efeitos das águas de escorrência no meio hídrico subterrâneo, pelo que será necessário o registo da situação antes (valores de referência) e depois da construção, quando a via entra em funcionamento. Desse modo, e como os poluentes originados durante a fase de construção não são os mesmos da fase de exploração (à excepção das situações de alargamento em que se mantém a circulação automóvel), os dados obtidos com a monitorização do meio hídrico durante a construção não são directamente comparáveis com os dados durante a exploração, servindo sim para analisar os efeitos temporários da construção da estrada no meio hídrico.

A frequência de amostragem das águas subterrâneas é muito diferente da das águas superficiais, face à hidrodinâmica que caracteriza estes dois meios, entre outros aspectos. De facto, enquanto que para as águas superficiais é possível efectuar amostragem em diferentes pontos de uma linha de água a jusante da descarga de águas de escorrência para análise dos efeitos de um evento de precipitação, para as águas subterrâneas não é possível detectar de forma tão directa uma relação causa-efeito. As águas de escorrência infiltram-se no solo a velocidades muito baixas (em meios porosos e fracturados serão maioritariamente inferiores a 1 m/d, embora este valor possa variar várias ordens de grandeza) sendo difícil determinar o tempo após o qual se verifica a sua chegada a um furo, além do seu percurso não ser linear devido à dispersão no meio subterrâneo.

Deste modo, a determinação da frequência de monitorização deve resultar de um balanço entre o número desejável de amostras necessário para se obterem dados representativos e as verbas disponíveis. A representatividade dos dados depende de um conjunto de especificidades do meio envolvente, tais como a velocidade do escoamento, a natureza dos poluentes e as suas possíveis interações com o meio, a vulnerabilidade do aquífero e os objectivos da monitorização. Todos estes aspectos tornam difícil estabelecer um padrão de frequência de amostragem universal.

No sentido de ultrapassar esta incerteza pode-se, nas fases iniciais de amostragem e sempre que possível, efectuar medições mais frequentes de alguns parâmetros principais, como o pH, o Eh, a temperatura, o oxigénio dissolvido e a condutividade, com dispositivos de medição próprios para o efeito. Quando se reconhecem padrões na qualidade das águas subterrâneas ao longo do ano, adopta-se a frequência de amostragem que mais se ajusta à recolha de amostras representativas dos diferentes períodos.

Na sequência do exposto, sugere-se que a amostragem de águas subterrâneas se faça

duas a três vezes por ano, em diferentes períodos do ano hidrológico, *i.e.* época húmida e seca.

4.2.5 Técnicas e métodos de monitorização e equipamento necessário

4.2.5.1 Procedimentos prévios à recolha de amostras

Uma vez determinado o número e a localização dos furos e antes de se dar início à recolha de amostras de água para análise química laboratorial, há um conjunto de medições de campo que importa realizar sem perturbar o equilíbrio físico e químico com a própria acção de amostragem. Denomina-se este processo de *monitorização em condições estáticas* (Leitão, 1997). Em geral, deve decorrer pelo menos uma semana de intervalo entre a instalação de um novo furo e a recolha de qualquer informação por forma a poder restabelecer-se o equilíbrio das condições naturais do aquífero (Eijkelkamp, 1993). Este valor pode ser maior ou menor em função da dinâmica do aquífero em presença.

Aller *et al.* (1989) e Canter *et al.* (1987), sugerem um conjunto de práticas ou de procedimentos gerais para medição de parâmetros físicos e químicos, com o aquífero em equilíbrio, que são o registo contínuo dos seguintes parâmetros na água: condutividade eléctrica, pH, temperatura e, se possível, oxigénio dissolvido, sólidos dissolvidos totais e Eh.

O registo dos parâmetros físicos e químicos referidos deve ser, em condições ideais, efectuado com recurso a uma sonda multiparamétrica (Fig. 37) que permita o registo a diversas profundidades. Na ausência de instrumentação para o fazer, estes registos poderão ser efectuados para uma amostra de água representativa de todo o furo ou em amostras recolhidas em determinadas profundidades.

Este tipo de medição fornece uma primeira aproximação da variação vertical das propriedades da água, nomeadamente se existe estratificação da qualidade da água; é um excelente auxiliar no estudo da qualidade das águas, na medida em que permite detectar, caso existam, diferenças marcantes de qualidade, conforme se pode observar no exemplo da Fig. 38. As medições devem ser realizadas à medida que a sonda desce, e não quando sobe, para evitar a mistura das águas.



Fig. 37 - Sonda multiparamétrica para monitorização *in situ* de águas subterrâneas

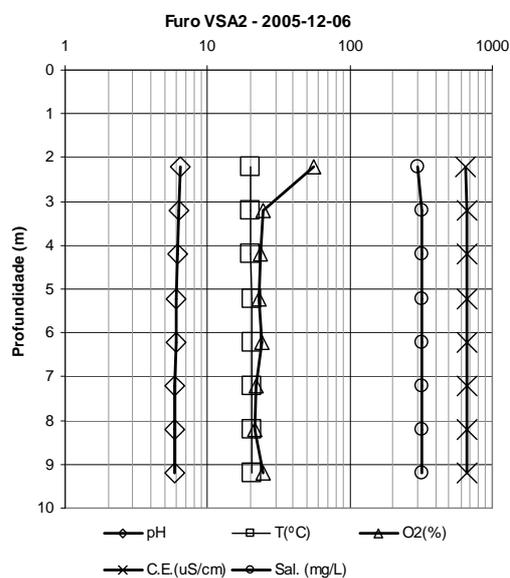


Fig. 38 - Exemplo da variação vertical dos valores da temperatura, condutividade eléctrica, salinidade, oxigénio dissolvido e pH medidos com uma sonda multiparamétrica num furo

4.2.5.2 Procedimentos para a recolha de amostras

Relativamente aos procedimentos gerais tendo em vista a recolha de uma amostra representativa, o plano de amostragem deve incluir, para cada ponto, as seguintes operações:

- Localização e identificação do ponto de água subterrânea;
- Medição do nível da água de cada furo antes da purga e antes da recolha de cada amostra;
- Medição da profundidade do ponto de água subterrânea;
- Recolha, identificação e preservação das amostras;
- Medição de parâmetros físico-químicos nas amostras recolhidas;
- Controle de qualidade no campo e no laboratório.

Os parâmetros que devem ser preferencialmente medidos no local, numa porção da amostra recolhida que deve posteriormente ser rejeitada, são: pH, Eh, condutividade eléctrica, temperatura e oxigénio dissolvido.

Os eléctrodos de medição devem ser previamente lavados com a água recolhida no local; imergem-se os eléctrodos na amostra, pelo menos 2 cm, (por forma a que estejam mais de metade dentro da mesma), afastados do fundo e das paredes do recipiente, e aguardam-se alguns minutos antes de se efectuar a leitura, de modo a atingirem o equilíbrio, e regista-se o valor do parâmetro de acordo com as escalas e unidades correspondentes. Os eléctrodos deverão ser lavados com água destilada e acondicionados até à colheita da amostra seguinte.

As metodologias de colheita de amostras de água subterrânea são definidas consoante se pretende: (1) a caracterização da qualidade das águas a diferentes profundidades ou (2) a recolha de uma amostra representativa da qualidade da água do furo, para o período de colheita correspondente. No caso da amostragem de águas subterrâneas nas zonas envolventes às estradas, a amostragem representativa é a mais indicada para a caracterização global da situação.

No caso de se pretender a caracterização da qualidade das águas a diferentes profundidades, há que atender ao facto de alguns poluentes provenientes das estradas não serem solúveis - o caso dos hidrocarbonetos, como o gasóleo e a gasolina – pelo que as características de solubilidade e de densidade os levam a migrar verticalmente no solo até atingirem a superfície freática para depois se espalharem sobre ela. Este aspecto tem que ser considerado no processo de instalação dos piezómetros e na colheita de amostras de águas subterrâneas, conforme o definido da secção 4.2.1.

Para efectuar uma amostragem representativa da água do furo, é necessário observar o seguinte procedimento, antes de se proceder à sua colheita para análise: extrair continuamente água do furo, através de uma bomba, para se analisar, no local, a variação dos parâmetros condutividade, temperatura e pH da água que vai sendo extraída do furo (Aller *et al.*, 1989). A água deve ser extraída até que haja estabilização dos valores dos parâmetros referidos. Observa-se que, de um modo geral, os parâmetros citados estabilizam ao fim de se bombear o equivalente a três volumes da água que ocupa a zona saturada no furo (Clark, 1993). Quando este equilíbrio é atingido considera-se que as amostras são representativas da qualidade da água do local. Nessa altura, o caudal de bombagem deve ser gradualmente diminuído até se atingir a velocidade própria para amostragem (entre 0,1 e 0,5 l/min). Nesta fase, mede-se novamente o nível piezométrico e pode proceder-se à colheita de amostras para os frascos identificados com a referência da amostra e previamente preparados em laboratório.

O plano de amostragem deve incluir um protocolo escrito dos procedimentos de amostragem, incluindo as instruções e as tarefas a efectuar, considerando um conjunto de aspectos referidos em Anexo.

4.2.5.3 Equipamento para monitorização

Para a medição *in situ* e a diversas profundidades das características físicas das águas, pode recorrer-se a sondas multiparamétricas, equipadas com uma grande variedade de eléctrodos, que fazem a leitura de vários parâmetros em simultâneo, como por exemplo: temperatura, pH, Eh, condutividade, oxigénio dissolvido, etc.

Tendo em atenção um dos procedimentos fundamentais de controlo de qualidade das medições efectuadas *in situ* e em laboratório, todos os eléctrodos devem ser verificados/calibrados. São fornecidas as soluções tampão apropriadas a cada parâmetro para a calibração ou verificação dos eléctrodos correspondentes.

No caso da monitorização da variação de parâmetros de qualidade da água ao longo do tempo, em pontos de água subterrânea, pode-se recorrer a sondas multiparamétricas (pH, Eh, condutividade eléctrica da água, nitratos e cloretos) instaladas com diversos sistemas de transferência dos dados registados; um deles é o registo directo em computador, outro é a transmissão de dados através de sistemas automáticos de registo, armazenamento e transferência de dados: *data logger*.

Para a recolha de amostras de água, os principais dispositivos são os amostradores (Fig. 39 e Fig. 40), as bombas manuais de sucção com válvulas de fundo, as bombas submersíveis e as bombas peristálticas.

Os amostradores permitem a recolha de amostras pontuais e, por isso, apenas representam as características da água no instante da recolha.



Fig. 39 - Exemplos de amostradores de água

O procedimento de recolha deste tipo de amostradores consiste na abertura e colocação dos dispositivos à profundidade desejada (Fig. 40) respeitando um período de cerca de alguns minutos antes da recolha da amostra, para repor a circulação natural da água.

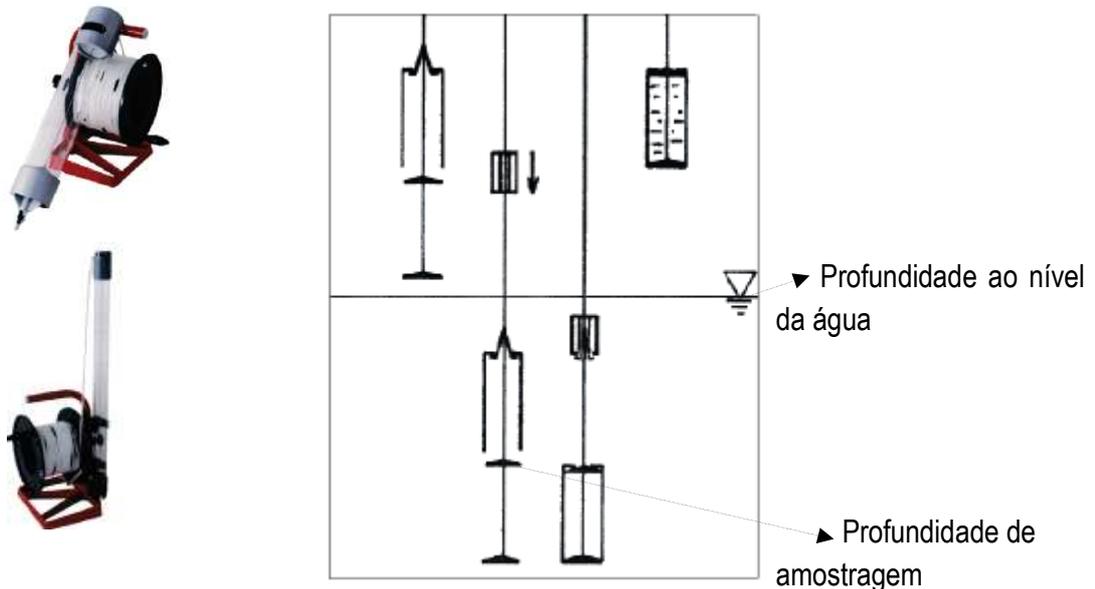


Fig. 40 - Amostradores de águas subterrâneas e representação esquemática do seu funcionamento (adaptado do catálogo da SEBA Hydrometrie)

No caso de se estar perante a contaminação de água subterrânea por óleos e gorduras ou hidrocarbonetos é aconselhável a utilização de um amostrador adequado. A Fig. 41 apresenta o amostrador para a colheita de amostras de água subterrânea contaminada por hidrocarbonetos ou óleos e gorduras e o respectivo esquema de funcionamento.

Este tipo de amostrador permite a amostragem dos primeiros 50 cm da pluma contaminante medidos a partir do seu topo. As camadas de pluma contaminante podem ser observadas nas paredes do amostrador e a sua espessura lê-se através de uma escala. O amostrador está equipado com um sensor que emite um sinal sonoro quando contacta com a superfície da pluma contaminante. Um tubo interior ligado pelo cabo serve para o armazenamento e limpeza do dispositivo de amostragem.

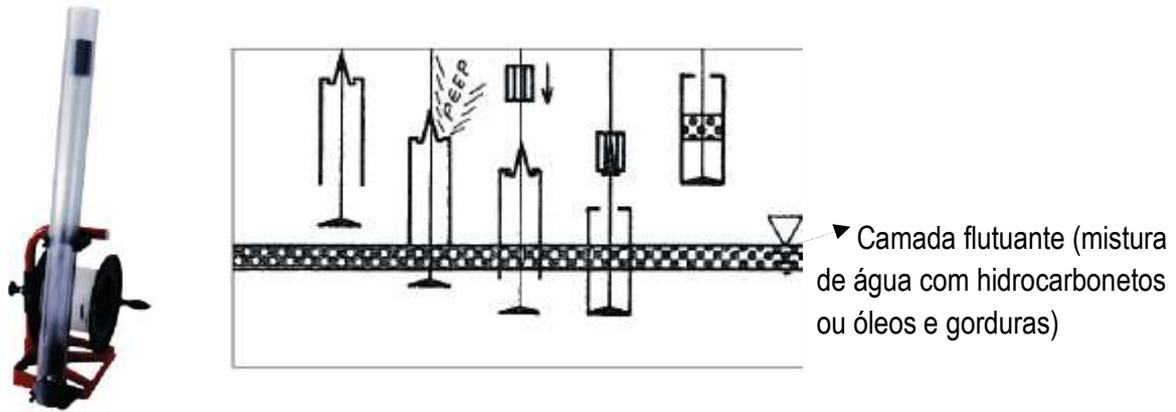


Fig. 41 - Amostrador de águas subterrâneas contaminadas com hidrocarbonetos ou óleos e gorduras e representação esquemática do seu funcionamento (adaptado do catálogo da SEBA Hydrometrie)

As bombas de sucção com válvulas de fundo, podem ser manuais ou motorizadas e permitem a recolha de amostras pontuais, em piezómetros com diâmetros desde 15 mm, até profundidades superiores a 50 metros. Trata-se de um sistema muito prático e de fácil instalação. O risco de contaminação das amostras é reduzido, pois o tubo e as válvulas podem ser facilmente substituídos e lavados pela água do próprio furo.

O seu funcionamento consiste num contínuo e rápido subir e descer de um tubo de baixo diâmetro ao longo de um piezómetro. Este tubo possui no seu fundo uma válvula de esfera (não retorno) que, no movimento descendente, abre, permitindo a entrada de água e, no movimento ascendente, fecha, mantendo a água no interior do tubo (Fig. 42).

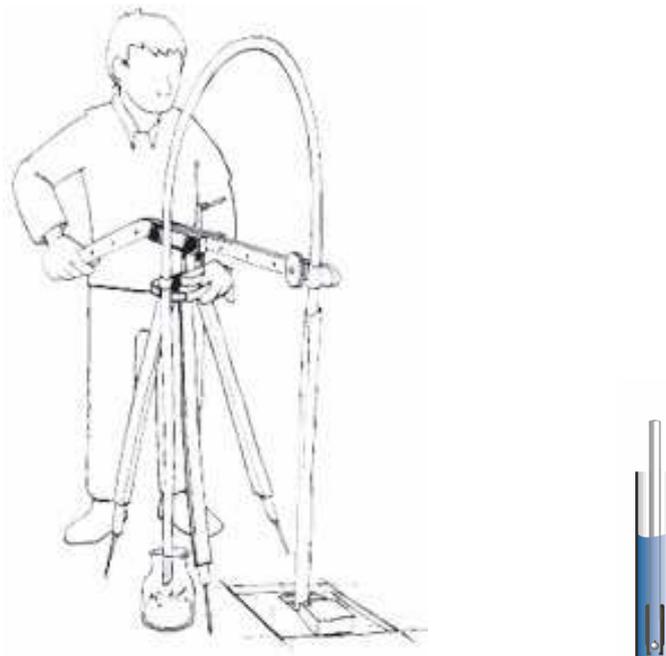


Fig. 42 - Esquema de instalação e recolha de amostras com bomba manual de sucção e esquema de funcionamento de válvulas de fundo (<http://www.aquagri.com/equipamentos>)

As bombas submersíveis são alimentadas a baterias de 12 volts, especialmente concebidas para a purga e recolha de amostras pontuais em piezómetros até 9 metros de profundidade. Quando instaladas com dispositivos de pressurização ou *boosters* (Fig. 43) a capacidade de pressurização pode aumentar até 36 metros de profundidade.

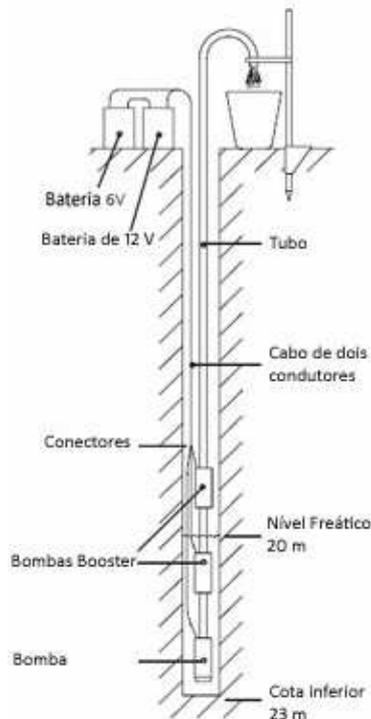


Fig. 43 – Esquema do funcionamento de bombas submersíveis instaladas com dispositivos de pressurização para permitir a recolha de amostras a profundidades até 36 metros (<http://www.aquagri.com/equipamentos>)

As bombas peristálticas podem funcionar manualmente ou em modo automático quando instaladas com baterias de 12 volts. São especialmente utilizadas na operação de purga em piezómetros e para recolha de amostras de água subterrânea, de uma forma contínua, até ao máximo 8 a 9 metros de profundidade, com caudal regulável até 2-3 l/minuto. O seu funcionamento baseia-se no alternar entre a compressão e descompressão de um tubo, permitindo a aspiração e condução da água. Assim, a água recolhida não entra em contacto com nenhum componente da bomba, excepto com o tubo que é descartável, o que favorece a colheita de amostras não contaminadas. Podem, ainda, ser adaptadas a um sistema de célula de fluxo. Esta célula, instalada em linha, funciona como célula de passagem para eléctrodos de um medidor multiparamétrico (Fig. 44).

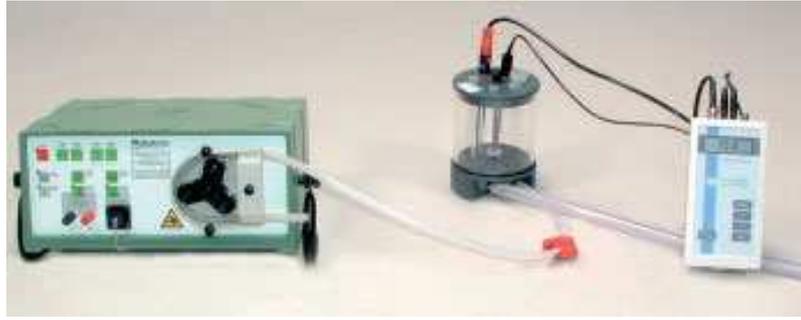


Fig. 44 - Bomba peristáltica instalada com célula de fluxo e medidor multiparamétrico
<http://www.aquagri.com/equipamentos>

O dispositivo consiste numa câmara transparente (onde a água tem o mínimo contacto com o ar mantendo as características originais) onde serão instalados diversos eléctrodos para leituras de pH, condutividade eléctrica, temperatura, oxigénio dissolvido, etc. O equipamento permite também a adaptação de um sistema de filtros descartáveis (0,45 μm), para remoção de partículas de solo da amostra de água.

Na Fig. 45 observa-se o esquema de funcionamento de uma bomba peristáltica manual; neste caso o movimento rotativo para aspiração do líquido é manual.

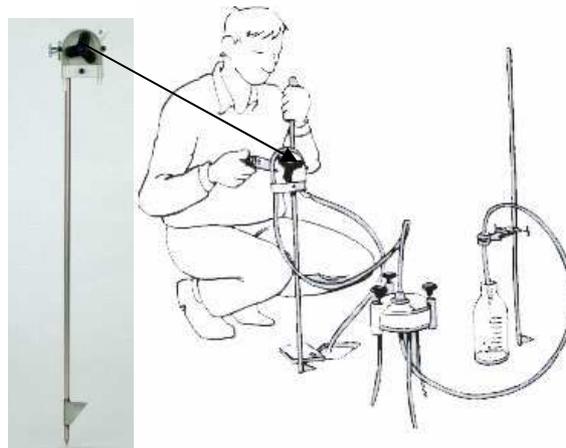


Fig. 45 - Esquema do modo de recolha de amostras com uma bomba peristáltica manual
<http://www.aquagri.com/equipamentos>

4.2.6 Conservação das amostras

Os processos de conservação e manuseamento de amostras de água deve ter em atenção a informação referida no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1998), e que serve como guia, devendo sempre ser consultado o laboratório onde as análises irão ser efectuadas. O mesmo laboratório também facultará indicações sobre o volume mínimo

necessário para cada determinação e sobre os recipientes para guardar as amostras contendo já o ácido para conservar, quando necessário. As amostras devem ser transportadas até ao laboratório de análises em condições que garantam a não degradação da sua qualidade desde o momento da recolha.

O Quadro 11 apresenta uma síntese dos processos de conservação e armazenamento de amostras para os parâmetros de monitorização recomendados, com base no definido no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1998).

Quadro 11 - Resumo de processos de conservação e armazenamento de amostras, para os parâmetros de monitorização recomendados

Parâmetro	Tipo de recipiente	Preservação	Período máximo de armazenamento recomendado
Sólidos		Refrigerar	7 dias
Dureza	Plástico (polietileno ou equivalente) ou vidro	Adicionar HNO ₃ até pH<2	6 meses
CQO		Analisar o mais rapidamente possível ou adicionar H ₂ SO ₄ até pH < 2; refrigerar	7 dias
CBO₅		Refrigerar	6 horas
COT	Vidro	Analisar o mais rapidamente possível ou adicionar HCl até pH<2; refrigerar	7 dias
Metais totais (geral)	Plástico (polietileno ou equivalente) ou vidro, passado por uma solução 1+1 HNO ₃ .	Adicionar HNO ₃ até pH<2	6 meses
Óleos e gorduras	Garrafas de vidro de boca larga	Adicionar H ₂ SO ₄ até pH<2; refrigerar	28 dias
Hidrocarbonetos totais	Vidro		
Nitratos	Plástico (polietileno ou equivalente) ou vidro	Analisar tão cedo quanto possível, refrigerar	48 horas
Fósforo total	-	Adicionar H ₂ SO ₄ ou HCl até pH<2 ou congelar sem qualquer aditivo	-

Nota: Informação sintetizada a partir do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1998)

4.3 Amostragem de solos

4.3.1 Parâmetros a analisar

A caracterização dos solos deve integrar, além dos poluentes provenientes das águas de escorrência, algumas das características dos solos que mais interferem no processo de propagação dos mesmos: o tipo de solo, a textura, a capacidade de troca catiónica, o conteúdo em matéria orgânica, carbonatos e nitratos, a percentagem de finos e o pH.

Deste modo, os solos devem ser caracterizados em termos físicos (distribuição granulométrica, permeabilidade, peso específico) e químicos, tendo em atenção a componente orgânica e a não orgânica. Os parâmetros principais a considerar deverão ser os seguintes:

Metais (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Fe)	}	Detecção de eventuais efeitos de poluição
Alcalinidade		
SST		
HAPs		
Óleos e gorduras		
Granulometria	}	Para caracterização: <ul style="list-style-type: none">• das propriedades do solo e• da dinâmica de poluição expectável
CTC		
pH		
Eh		
Tipo de argila		
Matéria orgânica		
Carbonatos		

4.3.2 Locais a monitorizar

A selecção dos locais de amostragem deve ter em atenção a necessidade de obter informação sobre as características dos solos nos locais de descarga, na área envolvente à estrada e a situação natural ou de referência.

Através de observações de campo será possível identificar áreas contendo solo visivelmente manchado (derrame de hidrocarbonetos) ou locais onde haja qualquer mancha à superfície detectável pela alteração de cor devido à presença de contaminantes.

Há ainda os casos onde existem construídos sistemas de drenagem e/ou de tratamento de águas de escorrência, como o caso das bacias, e onde a análise do solo permite verificar a capacidade de retenção desses poluentes e o grau de saturação dos solos. Estes aspectos são essencialmente importantes nas bacias que não estão impermeabilizadas e onde o solo deve ser renovado antes de se atingir a saturação. Nestes casos, a amostragem deve ser efectuada, em 2 ou 3 locais de descarga e a 2 ou 3 profundidades (abaixo de 5 cm). A detecção e a intensidade de poluição encontradas deverão ditar a necessidade de efectuar análises noutros locais de descarga e também a necessidade de analisar a influência de poluentes apenas por deposição aérea.

4.3.3 Metodologias de colheita de solos

A caracterização da poluição dos solos na área envolvente de uma estrada reveste-se de grande importância na medida em que são eles que integram a história da poluição desse local. Os solos que recebem directamente as águas de escorrência são aqueles que contêm maiores concentrações de poluentes.

A análise dos solos deverá integrar duas fases, a caracterização dos solos: (1) que recebem directamente as águas de escorrência, ou através de sistemas de drenagem, e (2) que estão sujeitos à poluição das estradas através da deposição de poluentes atmosféricos, de forma seca ou húmida.

Devido à grande variabilidade a nível microscópico, resultante da constituição dos solos, a metodologia mais apropriada para a recolha de solos é a recolha de amostras compostas, em que as amostras devem ser recolhidas em vários locais e adicionadas para perfazer uma única amostra.

No caso solos para análise química, para se obterem amostras representativas, na envolvente a estradas, geralmente recolhem-se amostras compostas, i.e. constituídas por 3 ou mais sub amostras retiradas a pequena distância (1 a 2m metros) umas das outras.

A Fig. 46 apresenta dois exemplos de distribuição da malha de amostragem para obtenção de amostras compostas; a área a monitorizar é dividida em quadrados ou triângulos e os pontos de recolha localizam-se, ou no centro de cada unidade, ou nos pontos de intersecção.

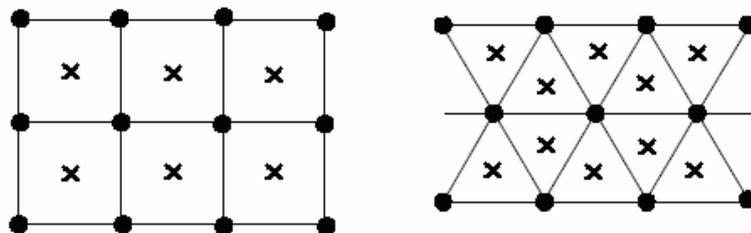


Fig. 46 - Exemplos de redes de amostragem para recolha de amostras compostas

Quando o objectivo é a análise de compostos orgânicos voláteis no solo, não se recomenda a recolha de amostras compostas.

4.3.4 Procedimentos para a separação de um volume representativo de amostra

Quando se pretende separar dum certo volume de solo recolhido no campo uma amostra nas quantidades necessárias para a sua caracterização é necessário efectuar o esquarteamento. O processo de redução da amostra em pequenas porções representativas da amostra inicial de forma manual consiste no procedimento seguinte:

- 1) mistura-se a amostra em cima de uma superfície limpa (papel ou plástico) e amontoa-se, de modo que as partículas se disponham sob a forma de um cone;
- 2) espalha-se o solo com uma forma circular com espessura uniforme;
- 3) divide-se a amostra em quatro partes iguais;
- 4) retira-se o material de duas partes diagonalmente opostas;
- 5) mistura-se de novo a amostra e repete-se o procedimento até obter a quantidade desejada.

Os procedimentos do método do esquartelamento encontra-se descrito com maior pormenor na Informação Científica e Técnica do LNEC (Correia, 1980). Nessa informação refere-se que quando se pretende retirar uma amostra dum certo volume de solo é necessário que essa amostra seja representativa das características da totalidade do volume.

Segundo Correia (1980) o volume de amostra recolhido deve ser suficiente para ser considerado representativo do local onde foi amostrado, sem impedir uma homogeneização satisfatória das sub amostras que o compõe e possuir material suficiente para execução das análises necessárias e repetições se necessário.

De uma forma geral, considera-se que 500 g de amostra de solo fino (peneira 2 mm) são o suficiente para realizar a sua caracterização química. Dessa forma, o ideal seria colher em torno de 2 kg de solo, possibilitando, assim, além das análises químicas, repetições e outras determinações necessárias.

4.3.5 Valores de referência para a análise da qualidade dos solos

Em relação aos valores de referência sobre a qualidade dos solos, em Portugal, não existem limites estabelecidos, sendo que geralmente se utilizam os valores de referência da legislação do Canadá, legislação esta que foi adoptada pelo Instituto dos Resíduos em Portugal, e a legislação Holandesa para o caso dos hidrocarbonetos.

Na legislação portuguesa apenas existe referência a dois parâmetros: o Benzo(a)pireno e os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP) para água de consumo (Decreto-Lei n.º 243/01 de 5 de Setembro), cujo Valor Paramétrico é 0,01 e 0,1 µg/l, respectivamente.

A título de referência, apresentam-se no Quadro 12 valores de concentração para o Pb, o Cu e o Zn em solos agrícolas, sintetizados por Alloway (1990).

Quadro 12 - Concentração de metais pesados em solos agrícolas (Alloway, 1990)

		Cu	Pb	Zn
Concentração (mg/kg)	Intervalo	2-250	2-300	10-300
	Valor típico	20-30	10-30	50

O Quadro 13 apresenta os valores limite de concentração de metais pesados nos solos receptores de lamas e nas lamas para utilização na agricultura (Anexo I do Decreto-Lei 118/2006 de 21 Junho).

Quadro 13 - Valores limite de concentração de metais pesados em solos (Decreto-Lei n.º 118/2006)

Parâmetro	Valores limite em solos (mg/kg de matéria seca)		
	pH ≤ 5,5	5,5 < pH ≤ 7,0	pH > 7,0(*)
Cádmio	1	3	4
Cobre	50	100	200
Níquel	30	75	110
Chumbo	50	300	450
Zinco	150	300	450
Mercúrio	1	1,5	2
Crómio	50	200	300

(*) Aplicável a solos onde se efectuem culturas com fins comerciais e destinadas unicamente ao consumo animal. As direcções regionais de agricultura indicarão o número e a natureza dos locais em causa.

Analisando os valores limite de concentração de metais pesados na legislação canadiana e holandesa, Leitão *et al.* (2005) propõem que, mesmo que uma estrada apresente concentração média do local (CML) inferior aos valores indicados anteriormente, caso o solo da sua envolvente apresente um ou mais valores do mesmo poluente de referência acima de, respectivamente:

- Pb: 530 mg/kg;
- Cu: 190 mg/kg;
- Zn: 720 mg/kg.

se deverão considerar medidas de minimização das descargas poluentes das estradas.

4.3.6 Equipamento para a recolha de solos

A selecção do equipamento mais apropriado para a recolha de solos depende da profundidade de amostragem, do tipo de solos, do tipo de amostra (perturbada ou indeformada), e tendo em conta os parâmetros a analisar e as determinações a efectuar.

A colheita de solos faz-se geralmente com o auxílio de pás, trados manuais ou mecânicos e amostradores tubulares de meia-cana ou tubo fechado. A Fig. 47 apresenta alguns exemplos do equipamento de recolha de solos.



Fig. 47 - Exemplo de alguns equipamentos de recolha de amostras de solos (<http://www.aquagri.com/equipamentos>)

O procedimento mais simples e expedito de recolha de amostras de solos superficiais consiste em remover a camada superior do solo utilizando uma enxada ou instrumento similar, até à profundidade desejada, recolhendo a amostras com uma pá.

Os trados manuais e mecânicos são também indicados para a recolha de amostras compostas, desde que não se deseje analisar substâncias voláteis; o movimento de rotação realizado durante a sua operação homogeneiza as amostras, o que facilita a libertação de voláteis USEPA (1989).

Para o caso de se pretender analisar metais pesados deve-se evitar a utilização de qualquer utensílio de natureza metálica, quer durante o procedimento de recolha das amostras de solo quer no seu posterior tratamento, de modo que não sejam contaminadas através do seu manuseamento. A recolha pode ser efectuada com o auxílio de uma pá de plástico para sacos ou frascos de plástico (polietileno) de boca larga.

O equipamento utilizado na amostragem deve ser descontaminado efectuando a remoção de partículas de solo aderentes às suas paredes e a lavagem com água e detergente isento de fosfatos.

4.3.7 Conservação das amostras

As amostras de solo raramente são preservadas com adição de reagentes químicos, sendo conservadas, regra geral, por refrigeração.

Devem ser recolhidas para recipientes de vidro/plástico em polietileno (frasco/saco) e devidamente identificadas. A identificação das amostras é efectuada através de uma etiqueta e por uma ficha de colheita onde deverão constar, entre outros aspectos, a identificação da amostra, a data de colheita e o tipo de análises a efectuar pelo laboratório.

As amostras devem ser transportadas até ao laboratório de análises em condições que garantam a não degradação da sua qualidade desde o momento da recolha.

O Quadro 14 apresenta uma síntese do período máximo de conservação e o tipo de recipiente para alguns parâmetros segundo as exigências de USEPA (1989). Todas as amostras devem ser conservadas no frio, à temperatura de 4° C, e ao abrigo de luz.

Da experiência adquirida com alguns laboratórios, verifica-se que é possível aumentar o tempo de armazenamento, recorrendo à congelação de amostras de solos, de acordo com o parâmetro a analisar.

Quadro 14 - Resumo de processos de conservação e armazenamento de amostras de solos, para alguns parâmetros de monitorização recomendados USEPA (1989)

Parâmetro	Tipo de recipiente	Período máximo de armazenamento recomendado
pH		14 dias
Alcalinidade		14 dias
COT		28 dias
Sulfatos		28 dias
Nitratos	Garrafas de plástico (polietileno) ou vidro	48 horas
Nitritos		28 dias
Amónia		28 dias
Metais (geral)		6 meses
Cr (VI)		48 horas
Ortofosfato		48 horas
Fósforo total		28 dias
PAH's	Garrafa de vidro escuro, tampa de Teflon	-
Hidrocarbonetos clorados		
Hidrocarbonetos halogenados	Garrafa de vidro escuro, septo de Teflon	14 dias
Hidrocarbonetos aromáticos		
Fenóis	Garrafa de vidro	28 dias
Fósforo	Garrafa de vidro	48 horas
Óleos e graxas	Garrafas de vidro	48 horas
Compostos orgânicos clorados	Garrafa de vidro escuro, tampa de Teflon	7 dias após a extracção
Pesticidas organoclorados	Garrafa de vidro, tampa de Teflon	30 dias após a extracção

4.4 Monitorização das águas superficiais

4.4.1 Objectivos da monitorização

O objectivo principal da monitorização de águas superficiais é a obtenção de dados que permitam, de forma clara, a comparação da qualidade das águas a jusante e a montante de pontos de descarga de águas de escorrência de uma determinada estrada.

Um programa ideal de monitorização com estes objectivos deve recolher dados da situação ambiental de referência e continuar a caracterização ao longo do período de exploração da estrada.

Embora as águas superficiais sejam meios particularmente vulneráveis à poluição, uma vez que estão directamente expostas à poluição atmosférica ou proveniente de qualquer ponto da bacia hidrográfica, incluindo as descargas directas, têm a vantagem de permitir o acesso mais directo a processos de monitorização quando comparadas com as águas subterrâneas (FHWA, 1996a). Por outro lado, as águas superficiais também beneficiam ao possuírem uma capacidade de regeneração muito superior às águas subterrâneas uma vez que o escoamento se processa a velocidades muito superiores.

Um plano de monitorização deve conter informação quanto aos parâmetros a analisar, aos locais de monitorização, à frequência de monitorização e às técnicas e métodos de monitorização.

4.4.2 Parâmetros a monitorizar

Os poluentes rodoviários provenientes da combustão, do desgaste de materiais, de fugas de líquidos, entre outros, são depositados à superfície da estrada sendo posteriormente arrastados durante os períodos de precipitação. Por outro lado, as práticas de manutenção das estradas, tais como a aplicação de pesticidas, pinturas, sal para degelo, etc., contribuem para a carga de poluentes gerada. O tipo de ocupação da envolvente, tal como a presença de indústrias ou áreas agrícolas, também representa uma fonte de poluição que, após transporte atmosférico, se pode depositar nos pavimentos rodoviários e assim condicionar a qualidade das escorrências.

Nas massas de águas superficiais os poluentes gerados podem provocar alterações diversas como o decréscimo de luminosidade, eutrofização, carência de oxigénio e mudanças no pH e na temperatura da água.

Até à data existe um conhecimento escasso sobre a CQO e a CQO₅ das águas de escorrência de estradas, em Portugal. Porém, em estudos recentes na zona de Aveiro, de Peniche e da Covilhã (Antunes e Barbosa, 2005; Barbosa *et al.*, 2003; Barbosa *et al.*, 2006 e Albuquerque, 2006) detectaram-se valores muito significativos de SST e de CQO, inclusive

superiores ao valor limite de emissão (VLE) de águas residuais (Anexo XVIII do Dec.-Lei n.º236/98). Tendo em conta que os VLE respeitam a descargas pontuais, estes dados exigem uma atenção redobrada e a monitorização da CQO (e dos SST) no meio hídrico receptor de forma a averiguar potenciais impactes.

Tal como para o estudo do efeito da poluição em qualquer outro tipo de meio, as análises químicas a realizar para as águas superficiais devem conter os parâmetros analisados também nas águas de escorrência da estrada, por ex. metais pesados, sólidos suspensos totais e óleos e gorduras. Com base nesse objectivo, apresentam-se no Quadro 15 a negrito o conjunto de parâmetros principais a analisar.

Adicionalmente, na perspectiva da obtenção de informação adicional importante para a interpretação dos processos de poluição também se poderão incluir um conjunto de outros parâmetros apresentados no Quadro 15 (sem ser a negrito). O parâmetro Bioquímica de Oxigénio (CBO₅) deve ser determinado sempre que possível, sendo um indicador da matéria orgânica biodegradável (enquanto a CQO representa a totalidade da matéria orgânica). Comparativamente com a CQO, a CBO₅ apresenta requisitos mais exigentes no que respeita à conservação e rapidez da determinação analítica.

O fósforo total e o azoto total são nutrientes que determinam o estado de eutrofização, sendo parâmetros relevantes em diversas situações de drenagem de águas para meios lênticos. A dureza total e o pH permitem avaliar a o grau de solubilidade dos metais pesados. A determinação da presença e concentração de metais é relevante para a protecção da vida aquática, em rios, albufeiras e lagos. Apesar de se indicar o chumbo como um dos metais a determinar sempre, esta indicação deverá ser avaliada após os resultados das primeiras monitorizações. Com efeito, este metal encontra-se em concentrações cada vez mais reduzidas nas próprias águas de escorrência sendo possível que os efeitos de diluição possam inviabilizar a sua determinação no meio hídrico receptor.

Quadro 15 - Parâmetros a analisar nas águas superficiais em áreas envolventes a estradas

Parâmetros a medir <i>in situ</i>	Parâmetros para análises químicas	
Temperatura	Sólidos suspensos totais	Cádmio
pH	Hidrocarbonetos totais	Crómio
Condutividade eléctrica	Óleos e gorduras	Chumbo
Oxigénio dissolvido	Carência Química de Oxigénio	Cobre
<u>Turbidez</u>	<u>Carência Bioquímica de Oxigénio</u>	Zinco
Salinidade (quando existe possibilidade de influência do oceano, por ex., em zonas de estuário ou costeiras)	Dureza total	
	Azoto total	
	Fósforo total	

Nota: Parâmetros que devem ser sempre analisados

Parâmetros a analisar sempre que possível

Outros parâmetros com interesse

Não se indicam os hidrocarbonetos totais no Quadro 15, uma vez que, na maioria dos estudos, se tem verificado que estes se encontram abaixo dos limites de detecção. Esta análise é onerosa e o parâmetro óleos e gorduras contém também os hidrocarbonetos. Todavia sempre que se saiba que as escorrências da estrada apresentam uma contribuição relevante de hidrocarbonetos totais ou da sua fracção mais tóxica, estes deverão ser analisados.

A decisão do tipo de parâmetros a analisar é muitas vezes condicionada por constrangimentos orçamentais e por vezes é mais importante obter informação suficiente centrada num conjunto de parâmetros. Outro tipo de condicionante é a originada pelas exigências de amostragem e conservação associadas a cada tipo de parâmetro.

Importa avaliar não só a carga poluente com origem na estrada, mas também determinar se os poluentes presentes na água de escorrência se encontram, ou não, na forma tóxica e se estarão presentes durante muito tempo em concentrações excessivas nas águas receptoras, tornando-se prejudiciais, ou não, para a vida aquática ou para outros usos associados a essas águas.

4.4.3 Locais a monitorizar

4.4.3.1 Selecção dos pontos de monitorização

A selecção dos pontos de monitorização reveste-se de particular importância em todo o processo de monitorização. Propõem-se 3 etapas para a selecção destes pontos:

- i. Identificação e caracterização quantitativa e qualitativa, de todas as massas de água superficial da zona em estudo para onde ocorrem descargas de escorrências de estradas. Posteriormente, haverá que seleccionar os locais a monitorizar que deverão ser escolhidos de forma a haver uma representatividade de diferentes tipos de meios hídricos; por exemplo, incluir linhas de água com caudal permanente, linhas de água sazonais, albufeiras ou outros corpos estáticos de água, etc. Naturalmente, zonas sensíveis deverão ser objecto de monitorizações específicas, com maior frequência de amostragem e/ou maior número de parâmetros de qualidade.
- ii. Há que assegurar uma representatividade das descargas. Por exemplo, a descarga de trechos com maior área drenada proporciona, em princípio, um conhecimento maior e uma maior probabilidade de se terem concentrações poluentes mensuráveis. Em caso de dúvida entre duas áreas idênticas, pode-se optar por aquela cujo tráfego rodoviário é mais elevado.
- iii. Finalmente, há que assegurar que os locais que cumprem as condições i e ii são acessíveis, para viaturas e pessoas, e passíveis de procedimentos de segurança.

A selecção de locais de monitorização de estradas deve também considerar zonas de mistura de águas que permitam recolher o número mínimo de sub amostras de modo a compor uma amostra. É importante não esquecer a marcação e identificação através de fotografia, cartografia e, se possível marcas indeléveis, dos locais de monitorização para que, nas futuras amostragens, sejam recolhidas amostras nos mesmos locais.

A selecção do número e tipo de pontos de amostragem encontra-se dependente de condicionantes materiais, como o orçamento e os meios humanos e materiais disponíveis para o efeito. Dada a variabilidade das características quantitativas e qualitativas das águas de escorrência das estradas e das linhas de água, o princípio de “quanto mais melhor” (pontos de amostragem, amostras e parâmetros) é válido, principalmente quando se está a conhecer o local, no início da monitorização, ou quando ocorre alguma alteração nas condições locais.

4.4.3.2 Pontos de amostragem

A monitorização de massas de água superficiais depende da forma como se processa a descarga, do tipo de massa de água, entre outros aspectos, tornando-se difícil estabelecer regras sobre a sua monitorização. Burton e Pitt (2002) aconselham que se comece por monitorizar uma só massa de água para onde sejam descarregadas as águas de escorrência (e.g. o local de descarga na massa de água superficial) onde se farão colheitas apenas numa estação do ano, mas em 2 locais diferentes, em 5 eventos de precipitação diferentes, i.e. 10 análises químicas. Em função destes resultados, o programa de monitorização deverá ser alargado.

Antes de se seleccionarem os pontos de amostragem, há que proceder à caracterização das águas em termos de quantidade, sendo desejável determinar valores de caudal tanto da descarga das águas de escorrência, como da linha de água. Neste último caso há ainda que medir a velocidade da corrente.

A caracterização do meio receptor superficial deve ser efectuada antes e após as descargas das escorrências da estrada. O local a montante da descarga deve ser isento de outras fontes de poluição que possam vir a influenciar a qualidade da água e deve estar a uma distância suficiente que evite a passagem de poluentes de jusante em períodos de cheias ou em zonas sob a influência da maré. Os locais de jusante devem garantir a mistura completa entre a massa de água e as águas de escorrência. Estas amostragens devem ser efectuadas em 2 ou 3 pontos equidistantes entre si e à zona de mistura das águas. Caso ocorram variações bruscas de valores, as distâncias devem ser aumentadas. FHWA (1996a) sugere 30 a 60 m a jusante da confluência, embora tal dependa do caudal da linha de água e da água de escorrência.

Em linhas de água maiores é natural ser necessário mais do que uma amostra para um mesmo ponto, uma vez que não é fácil haver uma mistura completa das águas. Devem

também programar-se recolhas a diferentes profundidades. No caso de linhas de águas efémeras a possibilidade de amostragem poderá ocorrer em apenas alguns dos eventos anuais. Pode não existir, de todo, possibilidade de monitorização do meio líquido, tornando-se uma alternativa interessante a monitorização de sedimentos, uma vez que estes integram o historial de poluição da estrada. Há que dar particular atenção aos processos de geração e transporte de sedimentos, na interpretação dos resultados.

Note-se que a validação de impactes nas águas superficiais tendo unicamente por base a análise de concentrações de poluentes, pode induzir em erro. Por vezes o efeito da diluição e a existência de limites de detecção analítica poderão mascarar a existência de impactes cumulativos. Por exemplo, James (1999) refere que determinados peixes passaram a evitar linhas de água para onde eram descarregados efluentes de estradas mas onde as concentrações de poluentes eram reduzidas. É natural esperar diferenças na qualidade em função do escoamento, pelo que se devem prever impactes no caso de situações mais críticas (impactes cumulativos).

Finalmente, de referir que, tendo em atenção a extensão das estradas e o seu desenvolvimento em meios com diferentes sensibilidades e características, a análise dos efeitos das descargas das águas de escorrência de uma estrada no meio hídrico, em termos globais, só pode ser conseguida através da execução de planos de monitorização com as características atrás referidas em diversas massas de água com características diferentes localizadas ao longo da estrada.

Quando o meio hídrico apresenta ecossistemas sensíveis, recomenda-se analisar a hipótese de fazer testes de ecotoxicidade (por exemplo com a *Daphna Magna*). Não existe experiência relevante sobre este tema, mas é uma área que está a merecer reflexão em virtude dos requisitos da Directiva Quadro da Água relativamente ao Bom Estado Ecológico das massas de água.

4.4.4 Frequência de monitorização

A frequência ou periodicidade de monitorização é outro dos aspectos que pode ser muito variável em função das condições da massa de água, dos objectivos estabelecidos e até do orçamento disponível.

O objectivo destas directrizes de monitorização é a análise das alterações qualitativas provocadas pelas de escorrência de estradas no meio hídrico receptor, pelo que será necessário o registo da situação antes (valores de referência) e depois da construção, quando a via entra em funcionamento. Desse modo, e como os poluentes originados durante a fase de construção não são os mesmos da fase de exploração (à excepção das situações de alargamento em que se mantém a circulação automóvel), os dados obtidos com a monitorização do meio hídrico durante a construção não são directamente comparáveis com os

dados obtidos durante a exploração, servindo sim para analisar os efeitos temporários da construção da estrada no meio hídrico.

FHWA (1996a) defende a teoria de que a monitorização deve ser realizada em períodos predefinidos, com alguma flexibilidade em função dos eventos de precipitação e consequente escoamento superficial. Apresenta tabelas onde são exaustivamente referidos os períodos de monitorização em função do tipo de parâmetro, se é antes ou depois da construção e se são amostras a jusante ou a montante. Aconselha-se a sua consulta para uma informação mais aprofundada sobre o tema.

De uma forma geral, tendo em conta que as águas de escorrência são fruto dos eventos pluviométricos e estes ocorrem em Portugal com maior frequência no período entre Outubro e Maio, poder-se dizer que a maior parte dos esforços de monitorização deverão concentrar-se nestes meses. Para o caso de linhas de água com caudal permanente, pode-se sugerir que, tendo estabelecido o número de amostragens possíveis, se execute 25% deste número no período de transição Verão/Outono; 45% durante os meses mais pluviosos (Dezembro a Fevereiro, sensivelmente); 25% no período de transição seguinte (por ex., Março a Maio) e 5% no período de Verão, se for possível, para angariar alguma informação sobre os extremos de qualidade da linha de água receptora.

Naturalmente, no caso de linhas de água efémeras, há que concentrar esforços na época mais pluviosa. Os registos de precipitação e estudos hidrológicos nacionais são importantes apoios nesta análise.

4.4.5 Técnicas e métodos de monitorização e equipamento necessário

4.4.5.1 Técnicas e métodos de monitorização

As amostras de águas superficiais podem ser de dois tipos principais: amostras que representam a qualidade da água num determinado período ou amostras compostas que representam essa qualidade para um intervalo de tempo. Para a monitorização da influência de descargas de águas de escorrência de estradas, é habitual optar-se pelo primeiro tipo de monitorização, pois permite caracterizar a influência imediata da descarga na linha de água que se está a qualificar. Contudo, pode pretender-se verificar a variação da qualidade ao longo de um determinado período, para o que se pode recorrer a amostras compostas efectuadas em intervalos de tempo predeterminados. Note-se que a obtenção de amostras compostas tem como principal objectivo reduzir os custos de determinação analítica, visto se poder retirar o mesmo tipo de informação com várias amostras discretas.

Uma vez que há poluentes transportados na forma particulada e outros que se encontram dissolvidos no seio da massa de água, o método de amostragem, a profundidade e local face ao escoamento, podem condicionar grandemente os resultados obtidos. Para a obtenção de

amostras representativas é importante que a monitorização se faça num ponto onde haja uma mistura completa das águas mas sem demasiada turbulência. Esse ponto deve estar afastado das margens ou da superfície de forma a evitar a mistura insuficiente devido a correntes e pontos de águas mais estagnadas. No caso de amostras automáticas deve zelar-se para que a integridade da amostra seja mantida durante a transferência e armazenamento.

Deve, ainda, atender-se às necessidades de volume de água a amostrar, que deve ser estimado pelo laboratório em função dos parâmetros de monitorização seleccionados de forma a permitir efectuar todas as análises pretendidas, bem como a manter reservas para futuras verificações.

A maioria dos laboratórios de análises químicas tem definido o conjunto de procedimentos adequados para a preservação das amostras e o seu acondicionamento até se realizar a análise química. É importante seleccionar um laboratório que demonstre capacidade (técnica e analítica) para analisar os parâmetros seleccionados e que siga os métodos analíticos adequados, nomeadamente os indicados na legislação portuguesa. O *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998)* é um livro de referência internacional e apresenta informações sobre a conservação das amostras e métodos de determinação analítica mais adequados.

O operador deve certificar-se se o material de amostragem está limpo e sem qualquer vestígio de contaminação - geralmente esta tarefa é desempenhada pelo laboratório contratado para efectuar as análises. A limpeza do material de amostragem incluirá, por esta ordem, a passagem por água quente, a lavagem com um detergente sem fosfatos, a passagem por água quente, a imersão em solução ácida (para eliminar metais pesados) e a limpeza final com água destilada. No campo, nunca se deve esquecer a passagem do recipiente pela própria água de amostragem entre 1 a 3 vezes.

No âmbito do curso "Amostragem de Águas e Águas Residuais" (LNEC, 1997) apresentam-se um conjunto de metodologias de amostragem, incluindo tipo de equipamentos e materiais de recolha e procedimentos gerais de amostragem de águas que poderão ser consultados para uma análise de maior pormenor.

4.4.5.2 Equipamento para monitorização

A amostragem nas águas superficiais pode ser efectuada a partir da terra (das margens, de uma ponte ou passadiço), a partir dum barco ou caminhando no próprio leito do rio (se as condições do leito e do escoamento o permitirem em condições de segurança). Neste último caso, há que atender à turbulência que a movimentação do amostrador e o processo de recolha ocasionam. As Fig. 48 e Fig. 49 ilustram algumas destas hipóteses.



Fig. 48 - Ilustração de recolha de água no leito do rio Guadiana



Fig. 49 - Medição de parâmetros com sonda multiparamétrica, a partir duma ponte para peões sobre o rio Sado (notar como a velocidade da corrente arrasta a sonda)

A recolha de águas superficiais pode ser efectuada por amostragem manual, utilizando dispositivos simples como baldes ou garrafas atadas a uma corda. Pode ser necessário, consoante a velocidade do escoamento, adicionar pesos que funcionem como lastros, para

impedir que a corda e o recipiente de amostragem em vez de se deslocarem em profundidade, façam um trajecto na horizontal, em função do escoamento (cf. Fig. 49).

A garrafa de *Van Dorn* é um dos dispositivos de amostragem mais conhecidos (cf. Fig. 50). É bastante útil em particular quando se pretendem recolher amostras a vários níveis na coluna de água, uma vez que este dispositivo se pode fechar quando for pretendido retirar a amostra de água sem afectar o conteúdo amostrado, o que já não sucede no caso das garrafas e baldes, principalmente se a velocidade do escoamento for suficiente para perturbar a verticalidade da recolha.

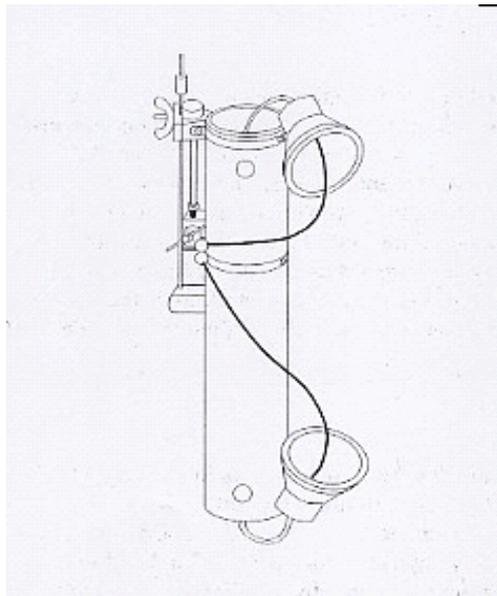


Fig. 50 - Garrafa de Van Dorn

Além deste tipo de equipamento existem outros tipos mais sofisticados que permitem a recolha automática de amostras, podendo esta ser programada em função do caudal ou para um determinado período de tempo. Chama-se a atenção para que a utilização deste tipo de equipamento não implica necessariamente que estes permaneçam instalados no campo, uma vez que podem ser transportados para os pontos de recolha pelo operador, nas datas estipuladas para as mesmas.

Os amostradores automáticos necessitam de ter uma fonte de energia associada. Caso permaneçam no campo por determinado período de tempo, devem ser instalados de forma a garantir a sua segurança e protecção (contra actos de vandalismo e intempéries) e um bom acesso aos mesmos, em condições de segurança. A escolha do tipo de amostrador automático dependerá das características do local a amostrar, dos objectivos e do orçamento disponível. Alguns amostradores apresentam um contentor único de 5 l ou mais de capacidade, permitindo amostras compostas; outros várias garrafas individuais, com 1 a 3 l de capacidade (ou mais).

O tipo de material e volume do contentor (garrafa) de recolha e armazenamento das amostras tem que ser adaptado à amostragem e ao tipo de análises químicas pretendidas. Assim, por um lado o material deve ser inerte (não interagindo química ou fisicamente com os elementos que se pretendem analisar) e, por outro, deve ser substituído à primeira indicação de degradação (como descoloração), aspecto que também é extensível ao caso de tubagens. Encontram-se no mercado uma gama variadíssima deste tipo de frascos ou contentores, devendo ler-se as especificações técnicas para cada um e, caso necessário, perguntar ao fabricante. Em geral, o material inerte utilizado é o Teflon® (para nutrientes, pH, SST e metais, cf. Parker, 1992 e 1994) e o vidro escuro (orgânicos). Existem materiais neste momento que permitem fazer amostragem simultaneamente adequada à determinação de metais e de orgânicos (por exemplo, o vidro borossilicato).

Outro equipamento útil para a monitorização da qualidade são as sondas multiparamétricas, as quais permitem medições *in situ* de parâmetros indicadores de qualidade, tais como a temperatura, pH, oxigénio dissolvido, potencial redox, salinidade e turbidez. A Fig. 49 representa um caso destes, onde a sonda tem um cabo de vários metros de comprimento, permitindo a sua utilização a partir de pontes ou pontos altos nas margens da linha de água. Considera-se que este equipamento deveria ser utilizado sempre que possível, por proporcionar dados reais e de baixo custo. Naturalmente, a sonda deverá encontrar-se sempre calibrada e deverão atender-se aos procedimentos de limpeza da mesma.

4.4.6 Conservação das amostras

Os processos de conservação e manuseamento de amostras de água deve ter em atenção a informação veiculada no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1998) e que serve como guia, devendo sempre ser consultado o laboratório onde as análises irão ser efectuadas. O mesmo laboratório também facultará indicações sobre o volume mínimo necessário para cada determinação e, geralmente, os recipientes para guardar as amostras contendo já o ácido para conservar, quando necessário.

O Quadro 16 apresenta uma síntese dos processos de conservação e armazenamento de amostras para os parâmetros de monitorização recomendados, com base no definido no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1998).

Quadro 16 - Resumo de processos de conservação e armazenamento de amostras, para os parâmetros de monitorização recomendados

Parâmetro	Tipo de recipiente	Preservação	Período máximo de armazenamento recomendado
Sólidos		Refrigerar	7 dias
Dureza		Adicionar HNO ₃ até pH<2	6 meses
CQO	Plástico (polietileno ou equivalente) ou vidro	Analisar o mais rapidamente possível ou adicionar H ₂ SO ₄ até pH<2; refrigerar	7 dias
CBO₅		Refrigerar	6 horas
Metais totais (geral)	Plástico (polietileno ou equivalente) ou vidro, passado por uma solução 1+1 HNO ₃ .	Adicionar HNO ₃ até pH<2	6 meses
Óleos e gorduras	Garrafas de vidro de boca larga	Adicionar H ₂ SO ₄ até pH<2; refrigerar	28 dias
Hidrocarbonetos totais	Vidro		
Nitratos	Plástico (polietileno ou equivalente) ou vidro	Analisar tão cedo quanto possível, refrigerar	7 dias
Azoto Kjeldahl	Vidro	Adicionar H ₂ SO ₄ até pH<2; refrigerar	7 dias
Fósforo total	-	Adicionar H ₂ SO ₄ ou HCl até pH<2 ou congelar sem qualquer aditivo	-

Nota: Informação sintetizada a partir do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998)

Capítulo 5: Síntese Conclusiva

A importância da poluição de estradas nos recursos hídricos é uma temática que tem sido objecto de vários estudos na Europa e Estados Unidos da América nas últimas décadas, em Portugal desde a década de 90. Os diferentes estudos abordaram informação sobre emissões e processos de dispersão de poluentes provenientes da estrada, tendo sido identificada a sua importância relativamente a outro tipo de poluições bem como os processos mais adequados à sua minimização, através de diversos casos de estudo.

Apesar do reconhecimento da existência de poluição de estradas, medida nas suas águas de escorrência, em muitos casos a influência dessa poluição nos meios hídricos não pode ser inequivocamente atribuída àquela origem e há situações em que a presença de poluentes não é evidenciada nos meios hídricos. De facto, na grande maioria das situações há várias outras fontes próximas da estrada que poderão estar na origem da poluição encontrada.

Em relação à presença de poluentes nos meios hídricos, há que ter em conta que o seu aparecimento nos pontos monitorizados depende da distância a que se encontram da origem e da dinâmica de escoamento e de transporte desse meio. É sabido que os meios hídricos superficiais têm uma maior exposição que a maioria dos meios hídricos subterrâneos pelo que são mais vulneráveis mas, por outro lado, também é mais fácil a poluição ser removida em fases posteriores. Por outro lado, o meio receptor das águas de escorrência, solos e águas, tem uma capacidade natural de remoção de poluentes (até eventualmente atingir um ponto de saturação) que é muito variável de meio para meio e que constitui uma primeira barreira à dispersão de poluentes. Uma vez ultrapassada essa capacidade, os poluentes são transportados em dissolução para os meios hídricos superficiais e subterrâneos mas todo este processo de transporte até ao ponto de monitorização geralmente não ocorre nos primeiros anos de funcionamento de uma estrada, pelo que importa ter dados de monitorização por um período de tempo alargado.

Em Portugal, e atendendo aos casos analisados neste relatório, observa-se a contribuição potencial de outras fontes de poluição nos locais de recolha de informação onde foi encontrada poluição e regista-se que muitos dos programas de monitorização são realizados com infra-estruturas desadequadas (p.e. furos captando a profundidades muito elevadas e/ou longe da estrada; equipamento do furo em liga metálica, etc.). Acresce que os poucos resultados que existem não abrangem, em muitos casos, as duas fases de construção e de exploração e, ainda, muitas das análises químicas da água são efectuadas utilizando limites de detecção de

parâmetros demasiado elevados, evitando a detecção de eventuais elementos presentes em concentrações apreciáveis. Por este motivo, torna-se imperioso que os programas de monitorização sejam adequados e que, sempre que possível, funcionem durante ambos os períodos de construção e de exploração, para que essa monitorização a longo prazo permita ser conclusiva sobre os potenciais efeitos da poluição de estradas nos recursos hídricos.

Por outro lado, é fundamental manter uma gestão adequada das infra-estruturas de minimização da poluição de águas de escorrência de estradas em funcionamento, construídas ou futuras. Esta premência deve-se ao facto de poder haver uma inversão dos objectivos para que foram projectadas as medidas de minimização, *i.e.* poder passar a haver uma concentração de poluentes susceptíveis de serem libertados para os meios hídricos envolventes, caso os processos de retenção, tratamento, ou mesmo infiltração para que foram concebidos não estejam a desempenhar adequadamente a sua função.

No capítulo 4, foram apresentadas as directrizes para a elaboração de planos de monitorização de águas superficiais, subterrâneas e solos, na envolvente de estradas que incluem procedimentos e equipamento de monitorização, e a lista de parâmetros a analisar em águas superficiais, subterrâneas e solos em áreas envolventes a estradas.

Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Maio de 2008

VISTOS



J.P. Cárcamo Lobo Ferreira
Chefe do Núcleo de Águas Subterrâneas



João S. Rocha
Chefe do Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

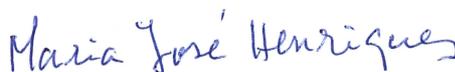


Rafaela de Saldanha Matos
Directora do Departamento de Hidráulica e Ambiente

AUTORIAS



Teresa E. Leitão
Doutora em Hidrogeologia
Investigadora Principal do LNEC
Núcleo de Águas Subterrâneas



Maria José Henriques
Geóloga, Técnica Superior de 2ª Classe
da Carreira Técnica Superior do LNEC
Núcleo de Águas Subterrâneas



Ana Estela Barbosa
Ph.D. em Biotecnologia e Engenharia do Ambiente
Investigadora Auxiliar do LNEC
Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

BIBLIOGRAFIA

Albuquerque, M., 2006 - *Estudo do funcionamento hidráulico-sanitário de uma bacia de tratamento da ligação Norte da Auto-estrada A23 – Ligação à Covilhã*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Geotecnia Ambiental. Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura. Covilhã, Dezembro de 2006, 110 pp.

Albuquerque, M., Barbosa, A.E. e Albuquerque, A., 2006 - *Avaliação do funcionamento de um sistema de tratamento da A23 – Ligação Covilhã (Norte)*, 12.º Encontro Nacional de Saneamento Básico (12.º ENaSB), 24-27 de Outubro, Cascais, APESB, 15 pp.

Aller, L., Truman, W.B., Hackett, G., Petty, R., Lehr, J.H., Sedoris, H., Nielsen, D.M. and Denne, J.E., 1989 - *Handbook of Suggested Practices for the Design and Installation of Ground Water Monitoring Wells*. US Environmental Protection Agency. EPA 600/4-89/034. Dublin, Ohio, 398 pp.

Alloway, B., 1990 – *Heavy Metals in Soils*, Londres, Blackie e John Wiley & Sons, 1990, 339 pp.

Almeida, C., Mendonça, J.J.L., Jesus, M.R., Gomes, A.J., 2000 – *Actualização do Inventário dos Sistemas Aquíferos de Portugal*, Centro de Geologia do INAG, 2000, <http://www.snirh.pt/>.

Antunes, P.A. e Barbosa, A. E., 2005 - *Highway Runoff Characteristics in Coastal Areas – A case Study in Aveiro, Portugal*, 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, 21-26 August, 6 pp.

Barbosa, A. E. e Hvitved-Jacobsen, T., 1996 - *Impactes das Estradas nos Recursos Hídricos – Redução da Poluição através de Sistemas de Detenção. Um Caso de Estudo no Norte de Portugal*, 3º Congresso da Água, 25-29 Março, Lisboa, 15 pp.

Barbosa, A. E. e Hvitved-Jacobsen, T., 2000 - *Projectar Bacias de Infiltração para a Gestão de Águas Pluviais*. 5.º Congresso da Água, 25-29 de Setembro, Lisboa, APRH, 15 pp.; in *Recursos Hídricos*, 21 (3), pp.125-132.

Barbosa, A. E., 2000 - *O Projecto Rodoviário e a Protecção dos Recursos Hídricos. Projectar Bacias de Infiltração em Portugal – Um Novo Método*, 1.º Congresso Rodoviário Português, 28-30 Novembro, Lisboa, Centro Rodoviário Nacional, Vol. I, pp. 53-66.

Barbosa, A.E., 1999 - *Highway Runoff Pollution and Design of Infiltration Ponds for Pollutant Retention in Semi-Arid Climates*. Tese de doutoramento, Environmental Engineering Laboratory, Aalborg University, Denmark, ISBN 87-90033-19-1.

Barbosa, A.E., 2003 - *Modelos para a previsão da qualidade das águas de escorrência de estradas em Portugal*, pp. 93-107, in "Curso Sobre Características de Águas de Escorrência de Estradas em Portugal e Minimização dos seus Impactes", 13-15 de Outubro de 2003, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 176 pp.

Barbosa, A. E., Fernandes, J. e Henriques, M. J. (2006) - *Características poluentes duma*

estrada costeira e avaliação do sistema de tratamento das suas escorrências, 12º Encontro Nacional de Saneamento Básico (12º ENaSB), 24-27 de Outubro, Cascais, APESB, 15 pp.

Barbosa, A. E. Leitão, T., Carvalho, C.R., 2003 - *Águas de escorrência de estrada. Sistemas para minimização de impactes*, 1.º Relatório, Relatório 233/03-NRE/DHA, 130 pp.

Boulding, J.R., 1995 - *Practical Handbook of Soil, Vadose Zone, and Ground-Water Contamination. Assessment, Prevention, and Remediation*. Florida, Lewis Publishers, Inc., 1995, 948 pp.

Canter, L.W., Knox, R.C. e Fairchild, D.M., 1987 - *Ground Water Quality Protection*. Michigan, Lewis Publishers, Inc., 1987, 562 pp.

Carvalho, S., Midões, C., Duarte, P., Orlando, M., Pais Quina, A., Simões Duarte, R., Cupeto, C., Almeida, C., Oliveira da Silva, M., 1998 – *Sistemas Aquíferos de Estremoz-Cano e Elvas-Vila Boim – Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo*. Lisboa, Comunicação apresentada ao 4.º Congresso da Água “A Água como Recurso Estruturante do Desenvolvimento”, pp. 16.

Carvalhosa, A., Gonçalves, F., Oliveira, V. 1987 - *Carta Geológica de Portugal, 1:50 000, Notícia Explicativa da Folha 36-D: Redondo*. Serviços Geológicos de Portugal, pp. 63.

Clark, L., 1993 - *Monitoring and Protecting Ground Water Quality. Pollution Prevention*, Vol. 3, Issue 4, pp. 51-56.

COBA, 2005 – *A 10 Auto-estrada Bucelas – Carregado – Sublanço Bucelas – Arruda dos Vinhos – Prestação de Serviços de Monitorização do Ambiente*, Relatório Anual de Monitorização 2004, Abril de 2005.

COBA, 2005a – *A2 Auto-estradas do Sul - Prestação de Serviços de Monitorização do Ambiente*, Nota Técnica, Janeiro de 2005.

COBA, 2005b - *A2 Auto-estradas do Sul - Prestação de Serviços de Monitorização do Ambiente*, Relatório Anual de Monitorização 2004, Junho de 2005.

Correia, A. G., 1980 – *Ensaios para Controlo de Terraplenagens. Reimpressão, 1995. ICT, Especialização e Aperfeiçoamento*. Departamento de Vias de Comunicação (CPP 524). Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 224 pp.

Cupeto, C.A., 1991 – *Contribuição para o Conhecimento Hidrogeológico do Maciço Calcário de Estremoz (Cano-Sousel)*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, pp. 180.

Diamantino, C., 2002, 2003 - *Poluição Causada pelo Tráfego Rodoviário nos Solos e nas Águas Subterrâneas. Um caso de estudo na EN10 – Recta do Cabo*. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para a obtenção do grau de mestre em Geologia Económica e Aplicada, 2002 e Edição Teses de Mestrado LNEC - TM 7 (2003). Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 227 pp.

Diamantino, C., Leitão, T.E. e Silva, M.O., 2004 - *Estudo da Poluição causada pelo Tráfego Rodoviário nos Solos e nas Águas Subterrâneas, realizado na EN10 - Recta do Cabo*. 7.º

Congresso da Água, organizado pela APRH, Lisboa, 8 a 12 de Março de 2004, 16 pp.

Eijkelkamp, 1993 - *How to Choose an Environmental Soil Research System*. Eijkelkamp Agrisearch Equipment, Holanda, 26 pp.

EPA, 1978 - *Process Design Manual Municipal Sludge Landfills*. U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service, EPA, Cincinnati, OH. Eijkelkamp, 1993 - *How to Choose an Environmental Soil Research System*. Eijkelkamp Agrisearch Equipment, Holanda, 26 pp.

FHWA, 1996 - *Evaluation and Management of Highway Runoff Water Quality*. Publicação da Federal Highway Administration n.º FHWA-PD-96-032, U.S. department of Transportation, Washington, 457 pp.

IMPACTO 2000, 1990 – *A1 - Auto-estrada do Norte, Sublanço Torres Novas/Fátima: Estudo para aprofundamento de aspectos relacionados com a geologia e a hidrogeologia*, 90 pp.

INAG, 1997 - *Definição, Caracterização e Cartografia dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. Estudo coordenado pelo Prof. Costa Almeida, Faculdade de Ciências de Lisboa, para o Instituto da Água, Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, Divisão de Recursos Subterrâneos, 236 pp.

INAG, 1999 - *Sistemas Aquíferos. Estremoz-Cano (A4) e Elvas-Vila Boim (A5)*. Folheto do Plano Nacional de Protecção e Gestão de águas Subterrâneas. MAOT.

James, C., 1999 – *The Impact of Pollutants from Roads and Vehicles on the Local Natural Environment*. POLMIT Project Report, PR/SE/603/99, RO-97-SC.1027. Transport Research Laboratory, 1999, 131 pp.

Lehmann, N., Holm, P., Leitão, T.E., Lobo Ferreira, J.P.C. e Van Beek, C., 1998 - WP2-WP4 - *Pollution of Groundwater and Soil by Road and Traffic Sources: Dispersal Mechanisms, Pathways and Mitigation Measures*, VKI e LNEC, Dezembro de 1998, 28 pp.

Leitão, T. E., Barbosa, A. E., Henriques, M.J., Ikävalko, V. e Menezes, J. T. M., 2005 - *Avaliação e Gestão Ambiental das Águas de Escorrência de Estradas*, Relatório Final. Relatório 109/05 – NAS, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Abril de 2005, 243 pp..

Leitão, T. E., Barbosa, A. E., Ikävalko, V., Menezes, J. T. e Zakharova, T. V., 2002 - *Avaliação e Gestão Ambiental das Águas de Escorrência de Estradas*, 2.º Relatório, Relatório 205/02 – GIAS, Agosto de 2002, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 61 pp.

Leitão, T.E., Lehmann, N., Smets, S., Lobo Ferreira, J.P.C. Holm, P., 2000a - WP2/4 *Pollution from Roads and Vehicles and Dispersal to the Local Environment: Mass Flux and Mass Balance Calculations; Assessment of Pollution of Groundwater and Soils by Road and Traffic Sources*. LNEC e VKI, 47 pp.

Leitão, T.E., Lobo Ferreira, J.P.C. e Diamantino, C., 1999 - POLMIT - *Pollution of Groundwater and Soil by Road and Traffic Sources: Dispersal Mechanisms, Pathways and Mitigation Measures*. 2.º Relatório de Progresso 230/99 - GIAS/DH, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Outubro de 1999, 97 pp.

Leitão, T.E., Moreira, P., Lobo Ferreira, J.P.C., Oliveira, M.M., Moinante, M.J. e Henriques, M. J., 2000b - *Caracterização dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Área Abrangida pelo Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo. Anexo Temático 10 - Qualidade dos Meios Hídricos. Tomo B - Qualidade das Águas Subterrâneas*. Relatório Final da Fase 1. Maio de 2000, 139 pp.

Leitão, T.E., 1997 - *Metodologias para a Reabilitação de Aquíferos Poluídos*. Tese de Doutoramento da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, publicada nas Teses e Programas de Investigação do LNEC, TPI 11, ISBN 972-49-1733-9, Lisboa, 1997, 493 pp.

LNEC, 1997 - *Curso sobre Amostragem de Águas e Águas Residuais*, 17 a 19 de Fevereiro de 1997.

Lopes, A., Rodrigues, R., Orlando, M., 2005 – *O Aproveitamento Sustentável dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Sistema Aquífero Querença-Silves na Seca de 2004/2005*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Instituto da Água, Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, pp. 28.

Manuppella, G., Balacó, J.C., Graça e Costa, J.R., Crispim, J.A., 1985 – *Calcários e Dolomitos do Maciço Calcário Estremenho*. Lisboa, Direcção Geral de Geologia e Minas, Estudos Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro, Tomo 27, pp. 3-48.

Monteiro, J.P., Silva, J.M., Guerreiro, P., Martins, J. e Reis, E., 2007 - *Modelação de Relações entre Águas Superficiais e Subterrâneas nos Aquíferos do Algarve Central*. Comunicação apresentada ao Seminário sobre Águas Subterrâneas, organizado pela APRH, Lisboa, 1 e 2 de Março de 2007, 16 pp.

NORINTER/EGI Ambiente, 2004 – *IP3 - Scut Interior Norte – Projecto de Execução*, Lanço C Vila Real/Régua, Abril de 2003.

Norma Holandesa, 1994 – *Intervention Values and Target values, Soil Quality Standards*, Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, Directorate-General for Environment Protection, Department of Soil Protection, 1994.

Oliveira, M. M., Novo, M.E., Lobo Ferreira, J. P., Moinante, M. J., 2000 - *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo – 1.ª Fase – Análise e Diagnóstico da Situação Actual. Anexo Temático 4 - Recursos Hídricos Subterrâneos, Tomo A - Caracterização do Balanço Hídrico Subterrâneo*. Estudo realizado para a Hidrotécnica Portuguesa – Consultores para Estudos e Projectos Lda., Relatório PBH - Tejo Proc. 607/1/13022 – LNEC.DH.GIAS, Lisboa, Maio 2000, 379 pp.

Oliveira, M.M., Leitão, T.E., Moinante, M.J., Barbosa, A. E., Fernandes, J., Antunes, S., Patrício, J. e Mira, A., 2005 - *Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal*. Relatório 376/05 - NAS, LNEC, 2005.

Parker, L.V., 1992 - *Suggested Guidelines for the Use of PTFE, PVC and Stainless Steel in Samplers and Well Casings*, in "Current Practices in Ground Water and Vadose Zone Investigations", Eds. D.M. Nielsen e M.N. Sara, ASTM STP 1118, American Society for Testing and Materials, Filadélfia, 1992, pp. 217-229.

Parker, L.V., 1994 - *The Effects of Ground Water Sampling Devices on Water Quality: A Literature Review*. Ground Water Monitoring Review, Primavera de 1994, pp. 130-141.

Reis, E., 2006 – *Impacte das Vias Rodoviárias do Algarve (IC1 e A2) na Qualidade da Água*, Abril de 2006.

Santos, D., Aguilera, A., 2004 – *Monitorização Ambiental, Ano 2003/2004, Qualidade da Água*, Relatório Final, elaborado pela UAlgarve, EAHS, para a EuroScut, Outubro de 2004.

SEIA, 1995 - *Programas de Monitorização das Águas de Escorrência e Subterrâneas*. Relatório Final para a BRISA, 51 pp.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998 - 20th ed., American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.

TECNINVEST, 2001 – *A 10 – Auto-estrada Bucelas / Carregado - Sublanço Bucelas / Arruda dos Vinhos* – Relatório Complementar ao Estudo de Impacte Ambiental – Relatório Técnico, Fevereiro de 2001.

UNL, 2001 – *Programa de Monitorização de Impactes Ambientais, A2 – Auto-estrada do Sul*, Fase de Construção, Setembro de 2001.

UNL, 2002a – *Plano Geral de Monitorização do Ambiente – A2 – Auto-estrada do Sul – Fase de Exploração*, Novembro de 2002.

UNL, 2002b - *Programa de Monitorização de Impactes Ambientais – 1.º Relatório de Progresso, A2 – Auto-estrada do Sul, Fase de Construção*, Janeiro de 2002.

UNL, 2002c - *Programa de Monitorização de Impactes Ambientais – 2.º Relatório de Progresso, A2 – Auto-estrada do Sul, Fase de Construção*, Maio de 2002.

UNL, 2002d - *Programa de Monitorização de Impactes Ambientais – 3.º Relatório de Progresso, A2 – Auto-estrada do Sul, Fase de Construção*, Agosto de 2002.

UNL, 2003a - *Plano Geral de Monitorização do Ambiente - Adenda – A2 – Auto-estrada do Sul – Fase de Exploração*, Junho de 2003.

UNL, 2003b - *Programa de Monitorização de Impactes Ambientais – Relatório Final, A2 – Auto-estrada do Sul, Fase de Construção*, Dezembro de 2003.

United States Environmental Protection Agency, 1989 – *USEPA. Soil Sampling Quality Assurance User's Guide*, EPA 600/8-89/046. Las Vegas, NV, DC, Environmental Monitoring Systems Laboratory, 1989.

Vieira da Silva, A.M., 1991 - *Hidrogeologia de uma Área do Sistema Aquífero de Elvas-Vila Boim*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, pp. 224.

ANEXO

Protocolo de procedimentos de amostragem

Um plano de amostragem deve incluir um protocolo escrito de procedimentos de amostragem, incluindo as instruções e as tarefas a efectuar, considerando o seguinte conjunto de aspectos:

Preparação do material em laboratório

- verificação do equipamento de medição de parâmetros *in situ* incluindo a calibração dos eléctrodos;
- verificação do estado dos instrumentos de medição do nível piezométrico e de localização do ponto de água subterrânea (GPS);
- verificação de todo o material de recolha (frascos, amostradores automáticos ou manuais);
- separação dos frascos de acordo com os parâmetros a analisar;
- identificação dos frascos de forma fácil e expedita;
- preparação de material auxiliar diverso (pipetas, esguicho, fitas pH, sistema de filtração, etc.);
- preparação de soluções conservantes, se necessário;
- meios de protecção do pessoal (luvas, botas, etc.);
- caixas térmicas com termoacumuladores;
- meios de limpeza (água destilada, água e papel);
- documentação necessária (caderno de registos, etiquetas, canetas, etc.).

Observações a ter em conta durante a campanha de amostragem

- verificar as condições climatéricas e tomar medidas de conservação das amostras durante a campanha de amostragem, uma vez que os químicos se degradam mais rapidamente na presença de elevadas temperaturas;
- garantir a não contaminação das amostras pelo seu manuseamento (falta de luvas ou de lavagem de material auxiliar utilizado durante a recolha) ou através do transporte e armazenamento (variação da temperatura, tipo de recipiente não adequado, tempo de conservação desadequado, etc.);
- recolher volume suficiente para permitir realizar as determinações necessárias, bem como repetições e testes de qualidade;
- encher os frascos até ao fim para garantir a não existência de ar à superfície da amostra quando a tampa for colocada. Mas:
 - quando se tratar da análise de elementos com densidades diferentes da da água, não se deve encher o frasco, por forma a evitar vazar elementos sobrenadantes);
 - quando houver necessidade de conservar a amostra por congelação não encher o frasco completamente para permitir a expansão do líquido por variação no volume;

- quando houver necessidade de agitar a amostra (material em suspensão) não encher o frasco completamente;
- deixar a água a correr pelo menos durante 5 -10 minutos quando a recolha da amostra se efectua num ponto de água subterrânea (furo) com bomba e se vai utilizar uma torneira;
- localizar o ponto de água subterrânea com o auxílio de um GPS ou outro sistema de medição de coordenadas;
- medir a profundidade ao nível da água e as características geométricas do ponto de água subterrânea (altura da boca, diâmetro e profundidade).

Procedimentos de recolha de amostras:

- etiquetar os frascos com a respectiva identificação e data de colheita;
- lavar os amostradores com água destilada;
- medir os parâmetros temperatura, pH, condutividade eléctrica, Eh, oxigénio dissolvido colocando os eléctrodos imersos até metade e afastados cerca de 2 cm das parede e do fundo do recipiente que contém a água; aguardar alguns minutos de modo a permitir que seja atingido o equilíbrio, e registar o valor do parâmetro de acordo com as escalas e unidades de leitura;
- lavar os frascos de colheita, pelo menos duas vezes, com a água de amostragem, salvo situações em que o frasco contenha conservantes ou esteja esterilizado;
- recolher a amostra directamente no frasco em que vai ser transportado;
- recolher as amostras para a determinação de:
 - hidrocarbonetos: em frascos de vidro escuro e encher até 3 cm abaixo do gargalo da garrafa;
 - outros compostos orgânicos: em frascos de vidro escuro, encher completamente e fechar hermeticamente;
 - compostos voláteis: em frascos de vidro escuro com septo, encher completamente evitando a formação de bolhas de ar;
 - metais totais: encher o frasco completamente e adicionar ácido nítrico até pH<2;
 - metais dissolvidos: filtrar no local com membrana filtrante 0,45 µm e adicionar ácido nítrico ao filtrado até pH < 2;
 - metais particulados: guardar a membrana usada na filtração em caixa e refrigerar;
 - OD, CBO, CQO: encher completamente o frasco evitando a formação de bolhas de ar e rolar bem; para o CQO e OD, adicionar conservantes imediatamente após a colheita;
- efectuar a ficha de campo com a identificação da amostra, local e data de amostragem e parâmetros a analisar.

