



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE E ACOMPANHAMENTO DOS TRABALHOS
DE REABILITAÇÃO PARA MELHORIA DA SITUAÇÃO
AMBIENTAL ENVOLVENTE AOS FUROS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO CONCELHO DE
PRAIA DA VITÓRIA, AÇORES**
Relatório Final

Entidade Reguladora de Águas e Resíduos dos
Açores, ERSARA

LISBOA • dezembro de 2013

I & D Hidráulica e Ambiente

RELATÓRIO 407/2013 – DHA/NRE

Autoria

Teresa E. Leitão

Investigadora Principal com Habilitação, Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

Departamento de Hidráulica e Ambiente

J.P. Cárcamo Lobo-Ferreira

Investigador-Coordenador, Coordenador de Relações Internacionais

Conselho Diretivo

Manuel M. Oliveira

Investigador Auxiliar, Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

Departamento de Hidráulica e Ambiente

Colaborações

Maria José Henriques

Técnica Superior, Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

Copyright © Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I. P.
Av. do Brasil 101 • 1700-066 Lisboa
e-mail: Inec@Inec.pt
www.Inec.pt

Relatório 407/2013

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

Proc. 0605/1/18422

Resumo

Apresenta-se o Relatório Final elaborado para a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores (ERSARA) relativo à "Análise e acompanhamento dos trabalhos de reabilitação para melhoria da situação ambiental envolvente aos furos de abastecimento de água do concelho de Praia da Vitória, Açores", promovidos pelas Forças Armadas dos Estados Unidos da América nas Lajes, através de uma assessoria técnica anual. Este relatório corresponde à assessoria relativa ao ano 2012/2013.

O relatório contém uma descrição da área de estudo, suas principais características e problemas de poluição existentes. Apresenta-se uma análise crítica dos trabalhos de reabilitação e de monitorização em curso pela Força Aérea Americana, as conclusões obtidas através trabalhos de monitorização conduzidos pelo LNEC em relação à evolução da qualidade da água e à ligação hidráulica entre diferentes níveis piezométricos e, ainda, uma análise sobre os resultados do programa de controlo da qualidade da água para consumo humano. Por fim, apresentam-se as principais conclusões e recomendações.

Palavras-chave: Concelho de Praia da Vitória, águas subterrâneas, reabilitação, monitorização.

Analysis and Monitoring of the Rehabilitation Works for Improvement of the Environmental Situation surrounding the Water Supply Wells of Praia da Vitória Municipality, Azores. Final Report

Abstract

This Final Report was prepared for the Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores (ERSARA) and presents the analysis and monitoring of the rehabilitation works carried out to improve the environmental situation surrounding the water supply boreholes in the municipality of Praia da Vitória, Azores. The rehabilitation is being promoted by the U.S. Air Force in Lajes. This report corresponds to LNEC analysis relative to 2012/2013

The report contains a description of the study area, its main characteristics and existing pollution problems. It presents a critical analysis of the works of rehabilitation and ongoing monitoring by the U.S. Air Force, the conclusions obtained by monitoring work conducted by LNEC regarding the evolution of water quality and hydraulic connection between different piezometric levels, and also an analysis of the results of the monitoring program of water quality for human consumption. Finally, the main conclusions and recommendations are presented.

Keywords: Praia da Vitória municipality, groundwater, rehabilitation, monitoring.

Índice

1	Introdução	1
2	Objetivos e metodologia	3
3	Área de estudo	5
	3.1 Descrição geral	5
	3.2 Caracterização geológica e hidrogeológica	7
	3.2.1 Geologia	7
	3.2.2 Hidrogeologia e modelo concetual	9
	3.2.3 Propriedades hidráulicas e produtividades	15
	3.2.4 Recarga e descargas	17
	3.3 Vulnerabilidade das águas subterrâneas à poluição	21
	3.4 Focos de poluição e risco para o meio hídrico subterrâneo	22
4	Análise dos trabalhos de reabilitação e de monitorização promovidos pela USAF USAFE 65 CES/CEAN	25
	4.1 Considerações iniciais	25
	4.2 Relatórios analisados	26
	4.3 Análise dos trabalhos de monitorização	27
	4.3.1 Objetivos	27
	4.3.2 Locais a monitorizar	27
	4.3.3 Frequência de monitorização	28
	4.3.4 Parâmetros em análise	28
	4.3.5 Procedimentos amostragem	29
	4.3.6 Programa analítico e metodologia	30
	4.4 Análise dos trabalhos de reabilitação	30
5	Monitorização da qualidade das águas subterrâneas	33
	5.1 Descrição das campanhas realizadas	33
	5.2 Resultados obtidos	38
	5.2.1 Considerações gerais	38
	5.2.2 Porta de Armas (Main Gate, Site 3001)	38
	5.2.3 South Tank Farm (Site 5001/AOC-1)	42
6	Monitorização da ligação hidráulica entre diferentes níveis piezométricos	44
	6.1 Descrição do trabalho realizado	44
	6.2 Fatores que condicionam a variação do nível piezométrico	46
	6.3 Tratamento e análise da informação	47
	6.4 Resultados obtidos	49
7	Mapeamento regional de perímetros de proteção de captações para o abastecimento público	53
	7.1 Considerações iniciais	53
	7.2 Dados de entrada	53
	7.3 Análise dos resultados	55
8	Análise do programa de controlo da qualidade da água para consumo humano	62
9	Síntese, conclusões e recomendações	68
	Referências bibliográficas	76
	ANEXOS	79

Índice de figuras

Figura 3.1 - Localização da área de estudo, altitudes, principais falhas e furos de abastecimento.....	5
Figura 3.2 - Geologia da área de estudo (adaptado de Lloyd e Colis, 1981) (extraído de Henriques <i>et al.</i> , 2013).....	8
Figura 3.3 - Sistemas aquíferos na região do graben das Lajes e zonas envolventes (extraído de Schaller <i>et al.</i> , 2005).....	10
Figura 3.4 - Esboço do posicionamento dos aquíferos suspensos e de base face ao nível do mar (extraído de Schaller <i>et al.</i> , 2005)	11
Figura 3.5 - Localização de furos de bombagem e piezómetros construídos no estudo do LNEC (extraído de Lobo-Ferreira <i>et al.</i> , 2010)	12
Figura 3.6 - Logs das sondagens (extraído de Lobo-Ferreira <i>et al.</i> , 2010)	12
Figura 3.7 - Localização e perfis litológicos (sobre-elevação vertical de 10x) (extraído de Lobo-Ferreira <i>et al.</i> , 2010)	13
Figura 3.8 - Vetores da direção do fluxo subterrâneo (aquífero basal) (extraído de Lobo-Ferreira <i>et al.</i> , 2010)	14
Figura 3.9 - Isopiezas (aquífero basal) (Henriques <i>et al.</i> , 2013).....	15
Figura 3.10 - Profundidade ao nível registada no piezómetro FP6B e precipitação diária registada em Praia da Vitória (extraído de Lobo-Ferreira <i>et al.</i> , 2010)	18
Figura 3.11 - Profundidade ao nível registada no piezómetro FP6A e precipitação diária registada em Praia da Vitória (extraído de Lobo-Ferreira <i>et al.</i> , 2010)	18
Figura 3.12 - Zonamento do potencial hidrogeológico da área de estudo (incluindo as áreas sobre exploradas)	20
Figura 3.13 - Índice DRASTIC de vulnerabilidade à poluição para as formações hidrogeológicas suspensas (extraído de Lobo-Ferreira <i>et al.</i> , 2010)	21
Figura 3.14 - Índice DRASTIC de vulnerabilidade à poluição para o aquífero de base (extraído de Lobo-Ferreira <i>et al.</i> , 2010).....	22
Figura 3.15 - Localização dos locais contaminados e potencialmente contaminados (extraído de Lobo-Ferreira <i>et al.</i> , 2010)	23
Figura 3.16 - Localização dos tanques de combustível e depósitos de resíduos na área de <i>South Tank Farm</i> (extraído de Lobo-Ferreira <i>et al.</i> , 2010).....	23
Figura 4.1 - Espessura máxima de LNAPL em piezómetros localizados nas formações hidrogeológicas superficial e intermédia no Site 3001	31
Figura 4.2 - Evolução da espessura de LNAPL sobrenadando o nível piezométrico, entre setembro de 2012 e 2013 (dados de MWH retirados dos relatórios referidos no ANEXO IV).....	31
Figura 5.1 - Localização dos 10 pontos de amostragem de águas subterrâneas em 2013	34
Figura 5.2 - Localização dos piezómetros existentes junto ao Site 3001	39
Figura 5.3 - Concentração em PAHs, TPH e BTEX em oito piezómetros localizados nas formações hidrogeológicas superficial e intermédia, dentro e fora do Site 3001	40
Figura 5.4 - Concentrações máximas registadas em PAHs, TPH e BTEX em oito piezómetros localizados nas formações hidrogeológicas superficial e intermédia, dentro e fora do Site 3001	41
Figura 5.5 - Localização dos pontos de monitorização na área junto à <i>South Tank Farm</i> (extraída de Lobo-Ferreira <i>et al.</i> (2010).....	42
Figura 5.6 - Concentração em PAHs, TPH e BTEX em piezómetros localizados dentro e fora do Site 5001 na área junto à <i>South Tank Farm</i>	43
Figura 6.1 - Profundidade do nível piezométrico registada nos piezómetros da família FP6x (sondas LNEC) e precipitação registada nas Lajes (dados FAA) em função do tempo	45

Figura 6.2 - Profundidade do nível piezométrico normalizada registada nos piezómetros da família FP6x (sondas LNEC) e precipitação registada nas Lajes (dados FAA) em função do tempo	48
Figura 6.3 - Variação do nível piezométrico registada durante o dia nos piezómetros da família FP6x (sondas LNEC) e a precipitação registada nas Lajes (dados FAA) em função do tempo	49
Figura 6.4 - Relação “precipitação registada nas Lajes (dados FAA) / Variação do NP no piezómetro FP6B (sonda LNEC)” em função dos valores mais elevados de precipitação registada nas Lajes	51
Figura 7.1 - Condutividade hidráulica (aquífero basal) (extraída de Henriques <i>et al.</i> , 2013)	54
Figura 7.2 - Espessura saturada (b) das formações aflorantes (extraída de Henriques <i>et al.</i> , 2013)	54
Figura 7.3 - Porosidade eficaz (<i>n</i>) das formações aflorantes (extraída de Henriques <i>et al.</i> , 2013)	55
Figura 7.4 - Raio de proteção máximo, mínimo e perpendicular para t = 20 dias e caudal de 5 L/s (extraída de Henriques <i>et al.</i> , 2013)	57
Figura 7.5 - Raio de proteção máximo, mínimo e perpendicular para a zona intermédia e caudal de 5 L/s (extraída de Henriques <i>et al.</i> , 2013).....	57
Figura 7.6 - Raio de proteção máximo, mínimo e perpendicular para a zona alargada e caudal de 5 L/s (extraída de Henriques <i>et al.</i> , 2013).....	58
Figura 7.7 - Raio de proteção máximo, mínimo e perpendicular para t = 20 dias e caudal de 10 L/s (extraída de Henriques <i>et al.</i> , 2013)	58
Figura 7.8 - Raio de proteção máximo, mínimo e perpendicular para a zona intermédia e caudal de 10 L/s (extraída de Henriques <i>et al.</i> , 2013).....	59
Figura 7.9 - Raio de proteção máximo, mínimo e perpendicular para a zona alargada e caudal de 10 L/s (extraída de Henriques <i>et al.</i> , 2013).....	59
Figura 7.10 - Perímetro de proteção Intermédio e Alargado para a captação Juncal 1, considerando os caudais de extração de 5 L/s e 10 L/s (extraída de Henriques <i>et al.</i> , 2013)	60
Figura 7.11 - Representação do fluxo geral do vale do graben das Lajes (a amarelo representa-se a linha aproximada de divergência do fluxo subterrâneo) (extraída de Henriques <i>et al.</i> , 2013).....	61

Índice de quadros

Quadro 3.1 - Porosidades estimadas das formações da ilha Terceira	15
Quadro 3.2 - Caudais máximos e mínimos registados em furos da Base das Lajes	16
Quadro 3.3 - Valores de transmissividades por local de ensaio	17
Quadro 3.4 - Caudais de extração nos furos de abastecimento da CMPV	20
Quadro 5.1 - Características dos pontos de água monitorizados em 2013.....	35
Quadro 5.2 - Parâmetros químicos analisados em 2013.....	36
Quadro 6.1 - Localização e características dos piezómetros monitorizados com sondas automáticas.....	44
Quadro 6.2 - Parâmetros de normalização das séries de profundidade ao nível piezométrico	48
Quadro 6.3 - Coeficientes de determinação (quadrado dos coeficientes de correlação) obtidos entre as variações dos níveis piezométricos ou a precipitação.....	50
Quadro 6.4 – Taxa de saída de água das formações hidrogeológicas superficiais (por drenância e/ou escoamento subterrâneo lateral) para períodos de ausência de precipitação.....	52
Quadro 8.1 - Proposta de parâmetros a serem analisados nas águas subterrâneas para consumo humano da Câmara Municipal de Praia de Vitória	62
Quadro 8.2 - Resultados de análises químicas em furos de captação para abastecimento público.....	67

Agradecimentos

Agradece-se todo o apoio do Comando Português da Zona Aérea dos Açores (FAP) para a realização deste trabalho, no que diz respeito à componente de realização das reuniões nas Lajes e do trabalho de campo, em especial aos Senhores Major Paulo Roda, Capitão Pêva Soares, Alferes Alexandre Soares e Sargento-Mor Filipe, bem como às Forças Armadas dos Estados Unidos da América nas Lajes (65 ABW da USAFE, FAA), em nome da Eng.^a Susana Simões.

Agradece-se todo o apoio e troca de opiniões com o Eng. Hugo Pacheco, da ERSARA, que em muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Os autores deste relatório agradecem a colaboração no trabalho de monitorização e de recolha de amostras de água desenvolvido pelo Eng. José Morais, da AmbiPar Control, e da Dr.^a Maria José Henriques, do LNEC.

Por fim, agradece-se ao Dr. Tiago Martins pelo texto de síntese elaborado para este relatório sobre o texto relativo aos perímetros de proteção desenvolvido em Henriques *et al.* (2013).

Glossário

BTEX - benzeno, tolueno, Etilbenzeno, Meta-para xileno e orto-xileno

DNAPL - fase líquida densa não aquosa (Dense Non- Aqueous Phase Liquid)

FAA - Forças Armadas dos Estados Unidos da América nas Lajes, 65 ABW da USAFE ou Força Aérea Americana

FAP - Comando Português da Zona Aérea dos Açores ou Força Aérea Portuguesa

HTP - hidrocarbonetos totais do petróleo

LNAPL - fase líquida leve não aquosa (Light Non-Aqueous Phase Liquid)

NAPL - fase líquida não aquosa (Non- Aqueous Phase Liquid)

NP - níveis piezométricos

Site 3001 - Porta de Armas ou Main Gate

Site 5001 - South Tank Farm ou AOC-1

1| Introdução

A Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores (ERSARA) solicitou ao LNEC a análise e o acompanhamento dos trabalhos de reabilitação para melhoria da situação ambiental envolvente aos furos de abastecimento de água do concelho de Praia da Vitória, Açores.

Este trabalho surge no seguimento do estudo desenvolvido pelo LNEC, para a Câmara Municipal da Praia da Vitória e para o Governo Regional dos Açores, intitulado "*Análise e Parecer sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores*". O seu principal objetivo foi a avaliação ambiental da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos ao longo de toda a área do concelho de Praia da Vitória onde existiam captações que estavam, ou podiam vir a estar afetadas, por situações de poluição associadas às infraestruturas da Base das Lajes, nelas se incluindo algumas importantes estruturas externas à área da base propriamente dita (ex.: *Cinder Pit Pipeline, Cinder Pit Fuel Tanks, South Tank Farm*).

Os trabalhos, então, desenvolvidos (cf. ANEXO I) tiveram por base a análise e a interpretação de um vasto conjunto de nova informação recolhida ao longo de um ano e meio, incluindo novos dados de caracterização litológica de logs (com seis novos furos no aquífero basal e dez novos piezómetros), de prospeção geofísica (40 perfis de resistividade elétrica em 32 alinhamentos), de medição de características hidráulicas (sete ensaios de caudal e centenas de medições do nível piezométrico) e de qualidade das águas subterrâneas (11 610 análises químicas efetuadas em 54 pontos de água em diversos períodos) e um modelo numérico de escoamento, para permitir compreender e justificar os resultados obtidos e para analisar possíveis cenários de evolução da situação atual.

Da análise do estado da qualidade e da quantidade das águas subterrâneas, das perspetivas de evolução futura e da sua interligação com a avaliação da qualidade dos solos e a prospeção geofísica, uma das principais recomendações apresentadas foi justamente que as origens de poluição deveriam ser controladas e o processo de reabilitação, natural e/ou induzido, das áreas afetadas deveria ser posto em marcha pela Força Aérea Americana, sob supervisão do Estado Português. Este trabalho decorre dessa recomendação.

Os estudos foram objeto de apresentação pública e participação em meios de comunicação social da Região Autónoma dos Açores, nomeadamente:

- Síntese no Jornal da Noite da RTP Açores da Apresentação Pública por solicitação do Governo Regional dos Açores na Cidade de Praia da Vitória, em fevereiro de 2011.
- Apresentação e discussão na especialidade à Comissão de Assuntos Parlamentares, Ambiente e Trabalho, Horta, Açores, em 15 de março de 2011 (cf. http://base.alra.pt:82/4DACTION/w_recebe_pesquisa_geral/?wassunto=requerimento&wlegis=T) do Relatório da CAPAT sobre as audições efetuadas a requerimento do PS e do PSD, nos termos do artigo 102.º do Regimento da ALRAA, aos Secretários Regionais da Presidência e do Ambiente e do Mar e, ao Conselho de Administração da Praia Ambiente, EEM, relativamente ao estudo "Análise e parecer sobre a situação ambiental nas áreas de captação dos furos de abastecimento do Concelho de Praia da Vitória - Açores", elaborado pelo LNEC, através do Eng. João Paulo Lobo-Ferreira, na qualidade de coordenador do referido estudo.

2| Objetivos e metodologia

O objetivo global do presente estudo é a "Análise e Acompanhamento dos Trabalhos de Reabilitação para Melhoria da Situação Ambiental envolvente aos Furos de Abastecimento de Água do Concelho de Praia da Vitória, Açores", promovidos pelas Forças Armadas dos Estados Unidos da América nas Lajes, 65 ABW da USAFE, (adiante referida por Força Aérea Americana ou FAA), através de uma assessoria técnica anual. Este relatório corresponde à assessoria relativa ao ano 2013.

As principais linhas de atuação definidas para cumprir o objetivo proposto foram:

- a) definir o caderno de encargos das análises químicas a serem efetuadas para este estudo, por um laboratório químico acreditado;
- b) avaliar a adequação da proposta de reabilitação promovida pela Força Aérea Americana, na perspetiva da proteção das águas subterrâneas para abastecimento público do concelho de Praia da Vitória;
- c) analisar, acompanhar e promover a boa execução dos trabalhos de reabilitação diligenciados pela FAA, através da:
 - i. deslocação ao Concelho para acompanhamento parcial dos trabalhos;
 - ii. promoção e realização de três reuniões anuais, em coordenação com o Comando Português da Zona Aérea dos Açores (adiante referido por Força Aérea Portuguesa ou FAP), com a participação do LNEC e da ERSARA e de representantes do destacamento da Força Aérea Americana nas Lajes para acompanhamento do desenvolvimento e da eficácia dos trabalhos em curso;
 - iii. leitura, avaliação e emissão de parecer (expresso nos relatórios referidos nas alíneas f) e g)) dos documentos que forem sendo elaborados para a FAA sobre esta temática;
 - iv. monitorização semestral *in situ* de parâmetros globais da qualidade da água (nível piezométrico, condutividade elétrica, temperatura, pH) nos furos e piezómetros instalados aquando do estudo do LNEC, localizados a montante dos furos de captação;
 - v. recolha semestral de amostras de água para análises químicas, visando o complemento e a fiscalização dos dados obtidos pela FAA na perspetiva da salvaguarda da água para consumo humano;

- vi. tratar a informação recolhida.
- d) analisar o programa de controlo da qualidade da água para consumo humano apresentado pela entidade gestora (DLR n.º 8/2010/A, art.º 7.º 1d) e propor eventuais alterações que se julguem necessárias face aos resultados obtidos, incluindo a validação dos métodos analíticos e limites de deteção usados pelos laboratórios que executam as análises (DLR n.º 8/2010/A, art.º 7.º 1f);
- e) mapear regionalmente os perímetros de proteção de água para consumo humano (concelho de Praia da Vitória) de forma a avaliar as eventuais restrições de utilidade pública ao uso e transformação do solo, de forma a salvaguardar a qualidade das águas subterrâneas captadas, considerando a definição de zonas de proteção de captações destinadas ao abastecimento público de água obrigatórias, pelo Decreto-Lei n.º 382/99, de 22 de Setembro; utilização do método de Krijgsman e Lobo-Ferreira;
- f) elaborar um relatório semestral com a síntese da informação obtida para apresentação à ERSARA;
- g) elaborar um relatório final com a análise do ponto de situação dos trabalhos de reabilitação para melhoria da situação ambiental envolvente aos furos de abastecimento de água do concelho de Praia da Vitória, após integração das recomendações e comentários acordados entre o LNEC e a ERSARA;
- h) apoiar a ERSARA em qualquer questão técnico-científica que entenda colocar, incluindo o apoio durante as reuniões para que possa ser chamado.

3| Área de estudo

3.1 Descrição geral

A área de estudo localiza-se no sector oriental da ilha Terceira, Açores, no concelho da Praia da Vitória, numa faixa orientada NW-SE, designada por Graben das Lajes, com cerca de 8,5 a 10 km de extensão e 3,5 a 4 km de largura, estendendo-se entre Praia da Vitória - Cabo da Praia, a sul, e Vila Nova, a norte (Figura 3.1). Este graben é uma depressão alongada, de origem tectónica, delimitada por duas escarpas de falha: (1) escarpa de Santiago, que delimita o sector da Serra de Santiago a Oeste, ao longo de uma direcção NW-SE e (2) a escarpa das Fontinhas - Pico Celeiro, que define o bordo nordeste da Serra do Cume. O graben das Lajes está assim compreendido entre a Serra de Santiago, a ENE, e a Serra do Cume, a WSW, e o mar respetivamente a norte e a sul.

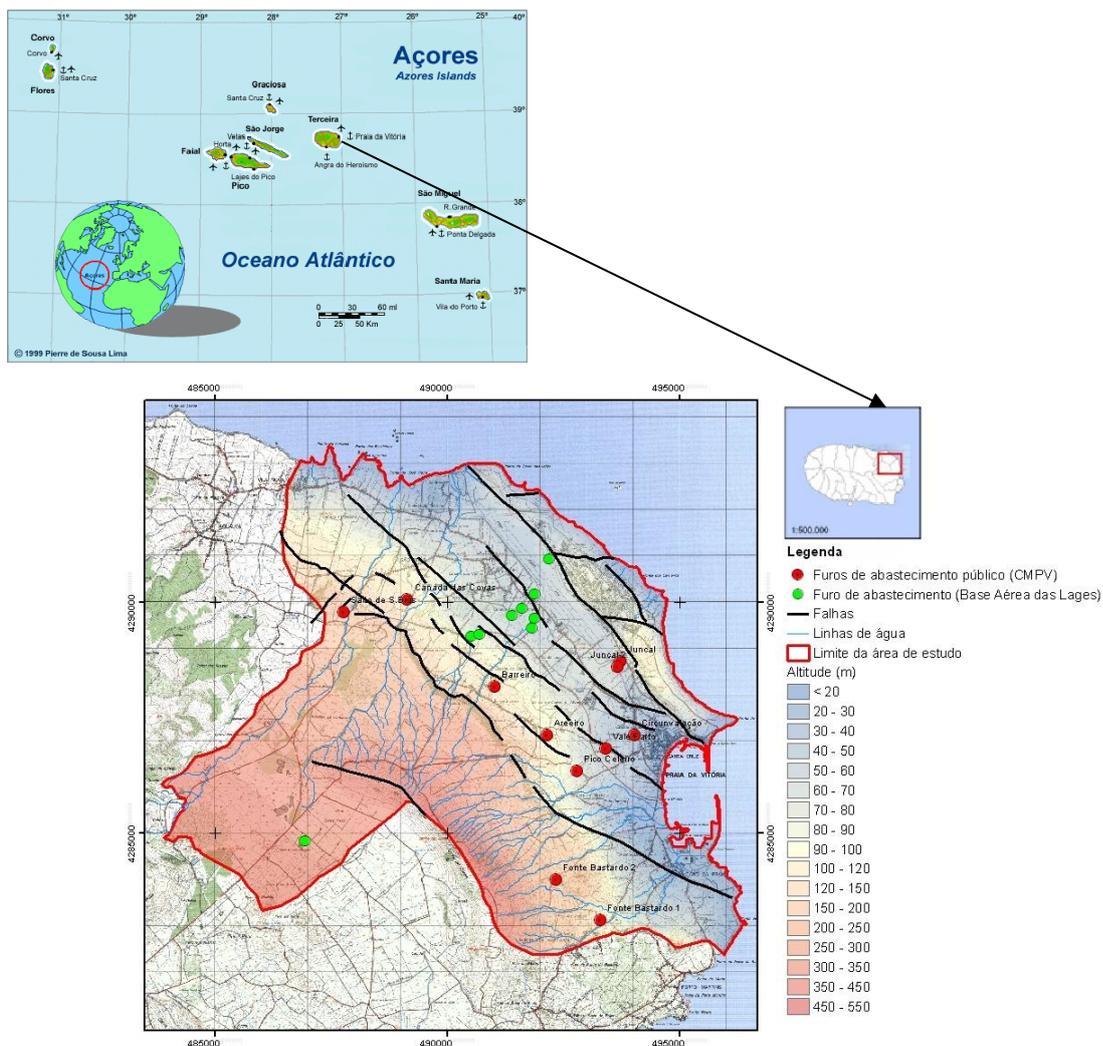


Figura 3.1 - Localização da área de estudo, altitudes, principais falhas e furos de abastecimento

Lobo-Ferreira *et al.* (2010) definiram a área de estudo (representada na Figura 3.1 pelo traço vermelho) com base na bacia hidrográfica delimitada pelas principais ribeiras com contribuição para a área do graben das Lajes e na análise da ocorrência das principais falhas e descontinuidades.

A Serra do Cume delimita o graben das Lajes na sua bordadura ocidental através da falha das Fontinhas, orientada NW-SE. O topo da Serra do Cume tem cotas variando entre os 450 e os cerca de 500 m ao longo de uma cornija apertada, descendo para o graben por uma vertente abrupta até aos 300 m, definindo a partir daí uma zona mais aplanada até aos cerca de 200 a 250 m, cotas estas que definem o bordo da escarpa da falha das Fontinhas. Esta escarpa é abrupta, inclinada para NW, vencendo um desnível de cerca de 50 a 100 m, passando a sua base aproximadamente aos 150 m de altitude.

A serra de Santiago é uma estrutura alongada na direção NW-SE, delimitada a oeste pela falha de Santiago, com orientação NW-SE. Esta serra é caracterizada por uma topografia aplanada ao longo de todo o seu topo, inclinada para NE na direção do mar; tem cotas que variam entre cerca de 100-120 m no sector entre Portela e Santa Rita, e cotas predominantemente entre os 50 e os 70 m na plataforma entre Santa Rita e Caparica; para sul de Portela as cotas descem suavemente dos 120 até aos cerca de 28 m (Ponta do Facho). A falha de Santiago define uma vertente abrupta, inclinada para SW que faz a transição entre as cotas mais elevadas da Serra do Cume (entre os 100 e 120 m) e a planura do graben das Lajes.

O graben das Lajes é uma zona planar deprimida e alongada, de direção NW-SE, delimitada a leste e oeste pelas falhas de Santiago e das Fontinhas. As cotas médias do graben situam-se entre os 50 e os 70 m de altitude, com cotas na ordem dos 100 m na zona da base da falha das Fontinhas. Esta superfície aplanada inclina divergentemente para N e para S, até atingir o nível do mar no litoral, fazendo-se essa divergência ao longo de um eixo aproximadamente NE-SW que passa na área entre o Juncal e Santa Luzia.

A Serra do Cume apresenta uma densa rede de drenagem radial de linhas de água que se apresentam bastante encaixadas nos depósitos piroclásticos que a recobrem descendo em direção ao graben das Lajes, onde desaparecem (devido às deficientes condições de escorrência superficial) quase completamente após ultrapassar a escarpa das Fontinhas. As duas únicas ribeiras que se prolongam para o interior do graben (embora acabem também por desaparecer) são a ribeira do Marques e a ribeira que passa entre as Fontinhas e a Canada dos Doidos. Toda a superfície situada entre a Fonte do Bastardo e Porto Martins é desprovida de rede de drenagem superficial, refletindo a permeabilidade das formações que a constituem.

O maior centro urbano localiza-se na vila das Lajes; a restante área habitada é ocupada por aglomerados de carácter rural associados à produção de milho, vinha, batata, citrinos e frutos subtropicais e a atividades pecuárias (produção de bovinos para carne e leite) com diversos espaços dispersos para pastagens. A área florestal está ocupada por várias espécies, destacando-se a criptoméria, o eucalipto, a acácia e o pinheiro.

O Aeroporto Internacional das Lajes localiza-se na vila das Lajes e partilha as estruturas de controlo e de apoio (com exceção do terminal de passageiros) com a Base Aérea Militar das Lajes. O abastecimento de água à Base Aérea das Lajes e à comunidade americana residente é efetuado através de furos próprios (Figura 3.1).

A empresa pública Praia Ambiente, E.M., assegura o fornecimento de água ao município da Praia da Vitória, com origem nos furos e nascentes assinalados na Figura 3.1.

3.2 Caracterização geológica e hidrogeológica

3.2.1 Geologia

A caracterização geológica e hidrogeológica que aqui se apresenta foi retirada de Lobo-Ferreira *et al.* (2010).

A Terceira é uma ilha vulcânica recente, formada pela atividade de três centros vulcânicos principais: (1) o maciço vulcânico dos Cinco Picos, (2) o maciço vulcânico de Guilherme Moniz-Pico Alto e (3) o maciço vulcânico de Santa Bárbara. É, portanto, uma ilha vulcânica recente constituída quase exclusivamente por:

- materiais vulcânicos de natureza efusiva – escoadas de lavas;
- materiais vulcânicos de natureza explosiva – ignimbritos, lapilli e bagacinas, bombas, cones de escórias, depósitos freatomagmáticos, bombas, etc.;
- depósitos termais – precipitados siliciosos e depósitos fumarolianos da Furna do Enxofre e (Zbyszewski *et al.*, 1971); são formações com uma representação muito secundária;
- formações sedimentares – aluviões, cascalheiras, dunas e depósitos de praia (Zbyszewski *et al.*, 1971); são formações com representação muito secundária.

Do ponto de vista hidrogeológico, as formações presentes na área de estudo (Figura 3.2) são muito heterogéneas e anisotrópicas, constituídas por materiais muito permeáveis associados a escoadas lávicas e/ou a escoadas piroclásticas pouco alteradas, não compactadas e de textura média a grosseira. Na generalidade dos casos, os fluxos de lava apresentam uma intensa fracturação primária e secundária, zonas de brecha muito

desenvolvidas e um grande número de cavidades (Schaller *et al.*, 2005); são estas estruturas, em especial se associadas a um baixo grau de alterações, que conferem às escoadas lávicas a sua grande permeabilidade. Os paleossolos e escoadas piroclásticas alteradas, intercalados entre as demais formações, são materiais tipicamente de baixa permeabilidade, funcionando como barreiras impermeáveis a semipermeáveis à circulação vertical das águas, e que permitem a formação de aquíferos suspensos na região.

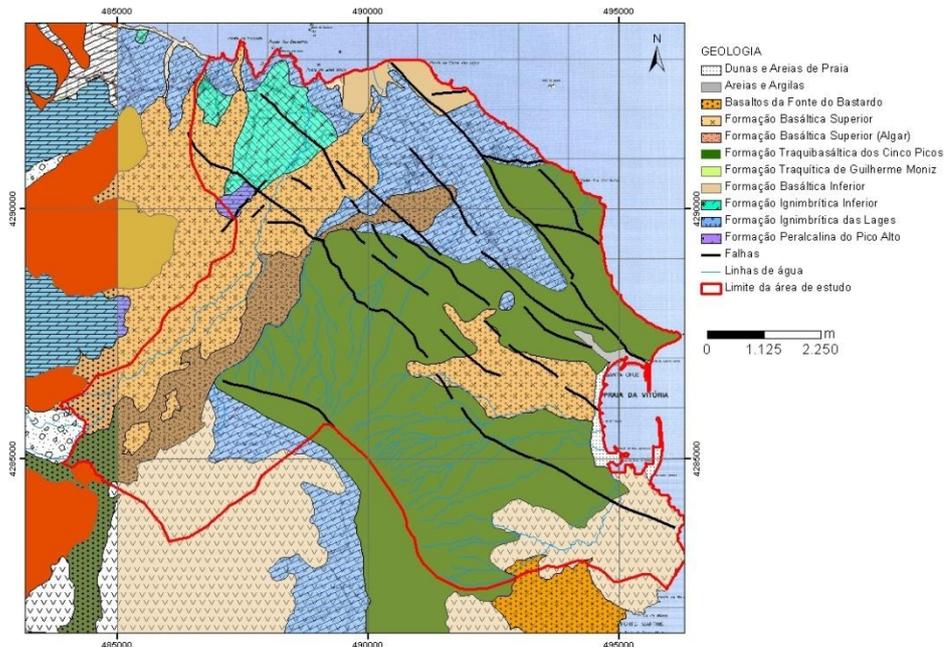


Figura 3.2 - Geologia da área de estudo (adaptado de Lloyd e Colis, 1981) (extraído de Henriques *et al.*, 2013)

Duas formações merecem particular destaque no funcionamento hidrogeológico da região em estudo:

- **Formação Traquibasáltica dos Cinco Picos** – todos os furos construídos, e que captam no aquífero basal, intercetam esta formação. É a formação mais antiga da ilha Terceira mas apresenta um grau de alteração relativamente reduzido e uma fraturação intensa, em especial na proximidade de falhas, o que torna estas zonas especialmente permeáveis; possui ainda alta percentagem de poros e pequenas cavidades, produzindo uma elevada permeabilidade das formações (Rodrigues, 2002 e Schaller *et al.*, 2005). Porém, individualmente, as lavas são muito heterogéneas quanto ao comportamento hidrogeológico, sendo os níveis de escórias do topo e da base geralmente muito permeáveis mas a parte central das escoadas (constituída por rocha compacta com poucas fraturas) tem permeabilidades relativamente baixas (Rodrigues, 2002 e Schaller *et al.*, 2005). Os depósitos piroclásticos (tefitos) intercalados nas lavas são no geral muito permeáveis e os materiais alterados (paleossolos e níveis de alteração em lavas e escoadas piroclásticas) têm

normalmente permeabilidade baixa, podendo dar origem a pequenos aquíferos suspensos (Schaller *et al.*, 2005).

- **Formação Ignimbrítica das Lajes** – aflorantes, e portanto constituindo uma das formações em que se desenvolve o sistema aquífero superficial, são fluxos piroclásticos muito permeáveis, com numerosas fraturas nas zonas basais, embora as regiões centrais da escoada se apresentem compactas (Schaller *et al.*, 2005). A sua significativa fracturação vertical é a principal responsável pela elevada **permeabilidade**, a qual é expressa pela ausência de uma rede de drenagem estruturada nas suas zonas de afloramento.

3.2.2 Hidrogeologia e modelo concetual

As estruturas tectónicas desempenham também um importante papel no funcionamento hidrogeológico da região em estudo. As zonas de falha podem funcionar como: (1) estruturas de infiltração preferencial e recarga para os aquíferos profundos e áreas de circulação preferencial dentro dos aquíferos, caso a sua permeabilidade seja elevada, ou (2) como barreiras à circulação, se estiverem preenchidas com materiais de alteração e/ou filões. Entre as falhas com comportamento de barreira à circulação está a **falha de Santiago**, pelo menos nos sectores mais superficiais, cuja caixa de falha é preenchida por materiais argilosos; o seu comportamento imperme é indiciado pela formação de pequenos charcos na zona do Juncal (Rodrigues, 2002), atestando a retenção das águas nos níveis mais superficiais; admite-se que esta mesma falha seja responsável pela ocorrência da nascente do Paúl na Praia da Vitória. A **falha das Fontinhas** é também, de acordo com Rodrigues (2002), uma falha com comportamento de barreira à circulação, o que é indiciado pelo desenvolvimento do aquífero superficial das Fontinhas, delimitado por esta falha ao longo da direção NW-SE. As **falhas na zona central do graben** e muito possivelmente o **sistema que se estende desde São Lázaro às Lajes** parecem funcionar basicamente como zonas de infiltração preferencial, mas os dados são escassos para efetivamente definir em que falhas e/ou troços de falhas tal comportamento se verifica.

Admite-se que o funcionamento hidrogeológico dos filões é basicamente de barreira ao fluxo horizontal e a sua presença tenderá, deste modo, a criar compartimentações nos aquíferos, os quais podem ter funcionamentos hidráulicos mais ou menos independentes. Mas, existem poucos dados sobre a distribuição espacial dos filões que intersectem os sistemas aquíferos e sobre o seu funcionamento hidráulico efetivo na área de estudo.

O conjunto de formações geológicas na área de estudo dá origem a um conjunto de aquíferos agrupáveis em três sistemas:

- (1) formação hidrogeológica superficial, localmente com nível piezométrico suspenso;

- (2) formação hidrogeológica intermédia, correspondendo a um aquífero suspenso;
- (3) aquífero de base.

Os dois primeiros sistemas correspondem, naturalmente, a formações com níveis piezométricos suspensos. A formação (2) corresponde a um aquífero suspenso que resulta da ocorrência de níveis sub-horizontais de baixa permeabilidade, intercalados nas formações vulcânicas, que funcionando basicamente como aquíferos¹, têm possança suficiente para permitir a retenção de águas num corpo aquífero. Origina-se deste modo um conjunto de numerosos corpos descontínuos, a diferentes profundidades (Figura 3.3 e Figura 3.4), que ocupam áreas onde a precipitação que se infiltra desde a superfície e é impedida de atingir o nível de base (Schaller *et al.*, 2005). Na região do graben das Lajes Rodrigues (2002) definiu dois sistemas aquíferos suspensos – o Superior e o Inferior – onde individualizou os aquíferos de Lajes I, Fontinhas, Lajes II, Santiago (este último responsável pelas nascentes de Zimbral, Facho e Amoreira).

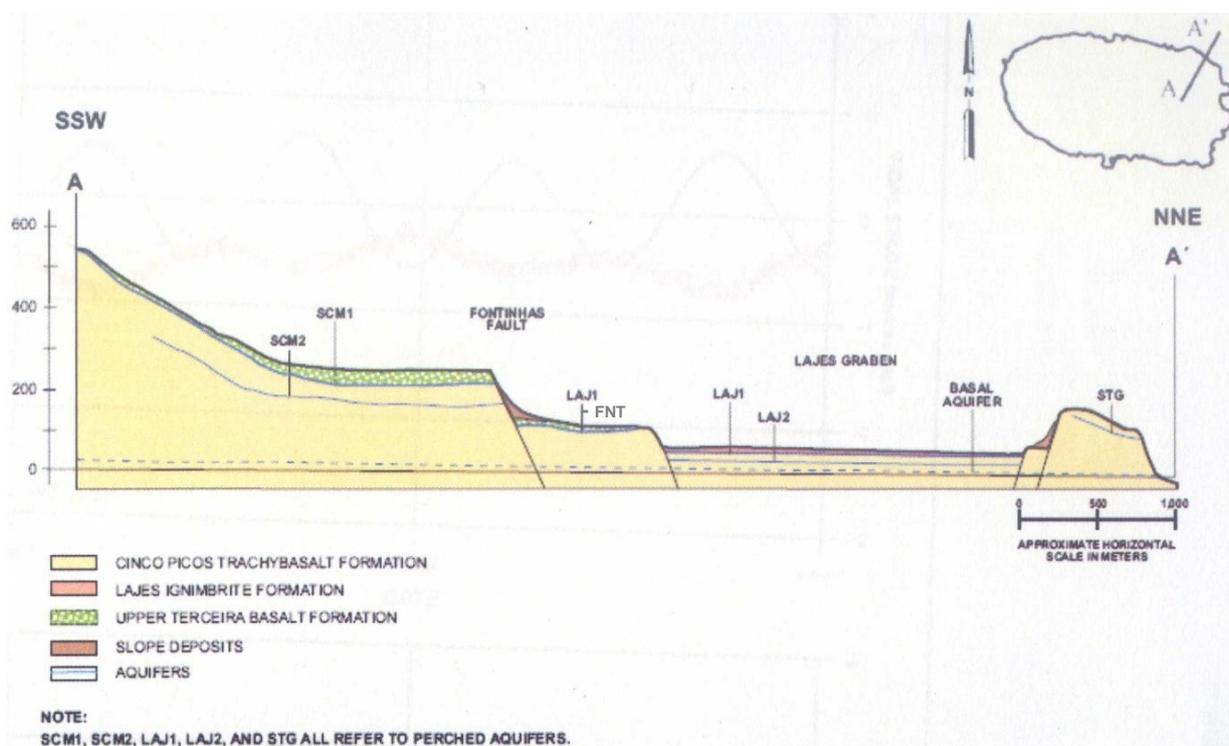


Figura 3.3 - Sistemas aquíferos na região do graben das Lajes e zonas envolventes (extraído de Schaller *et al.*, 2005)

¹ A infiltração em profundidade ao longo destes níveis de baixa permeabilidade assume-se que seja feita ao longo da rede de fraturas e falhas que os intersectam.

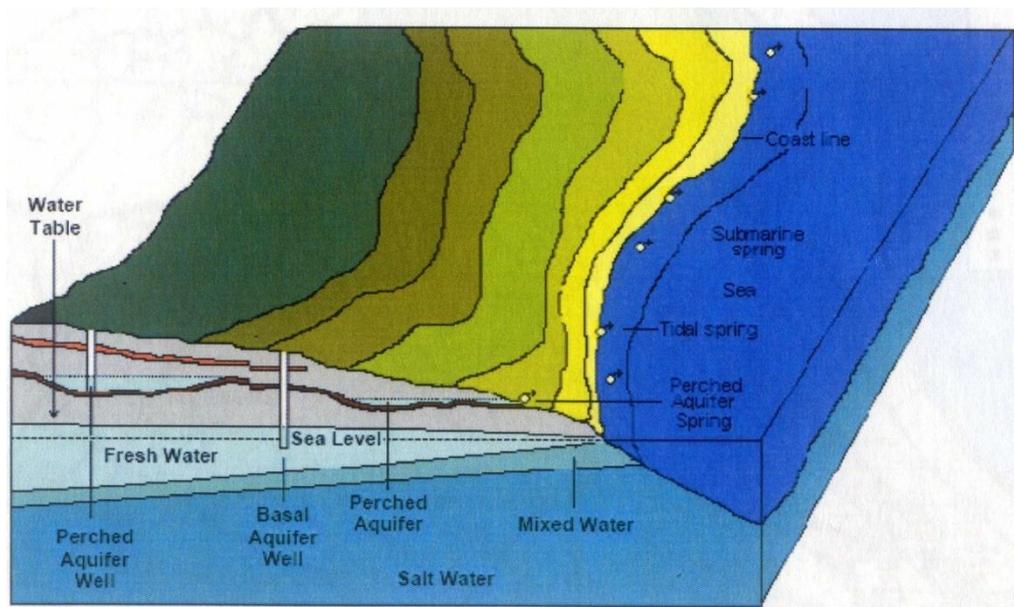


Figura 3.4 - Esboço do posicionamento dos aquíferos suspensos e de base face ao nível do mar (extraído de Schaller *et al.*, 2005)

O modelo conceitual de fluxo, considerado na modelação numérica por Lobo-Ferreira *et al.* (2010), admite a existência de três formações hidrogeológicas referidas, fundamentada na informação de relatórios com caracterização dos materiais litológicos atravessados pelas sondagens de seis furos e quinze piezómetros construídos no estudo do LNEC para a análise hidrogeológica da região (Figura 3.5).

A Figura 3.6 apresenta os *logs* das sondagens simplificados por grupos litológicos de acordo com as características hidrogeológicas. A Figura 3.7 representa a localização em planta e respetivos perfis litológicos resultantes da análise hidrogeológica.

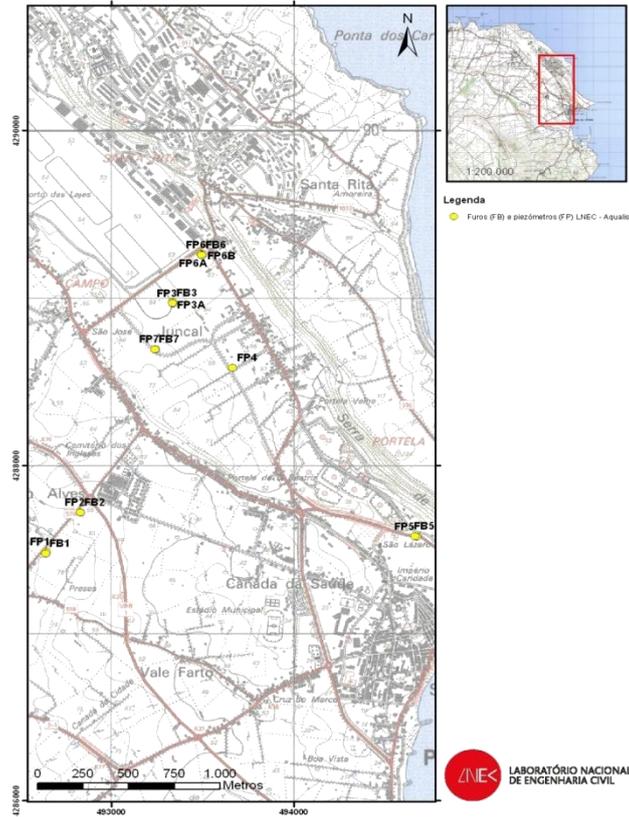


Figura 3.5 - Localização de furos de bombagem e piezómetros construídos no estudo do LNEC (extraído de Lobo-Ferreira *et al.*, 2010)

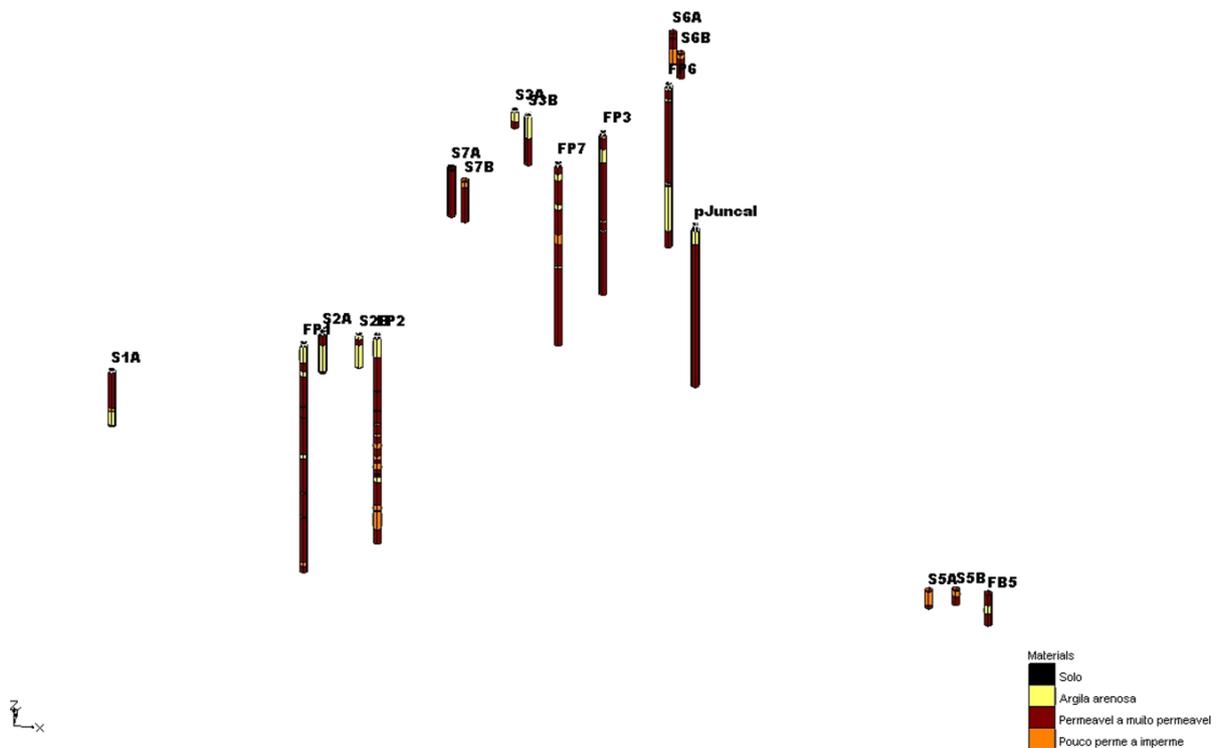


Figura 3.6 - Logs das sondagens (extraído de Lobo-Ferreira *et al.*, 2010)

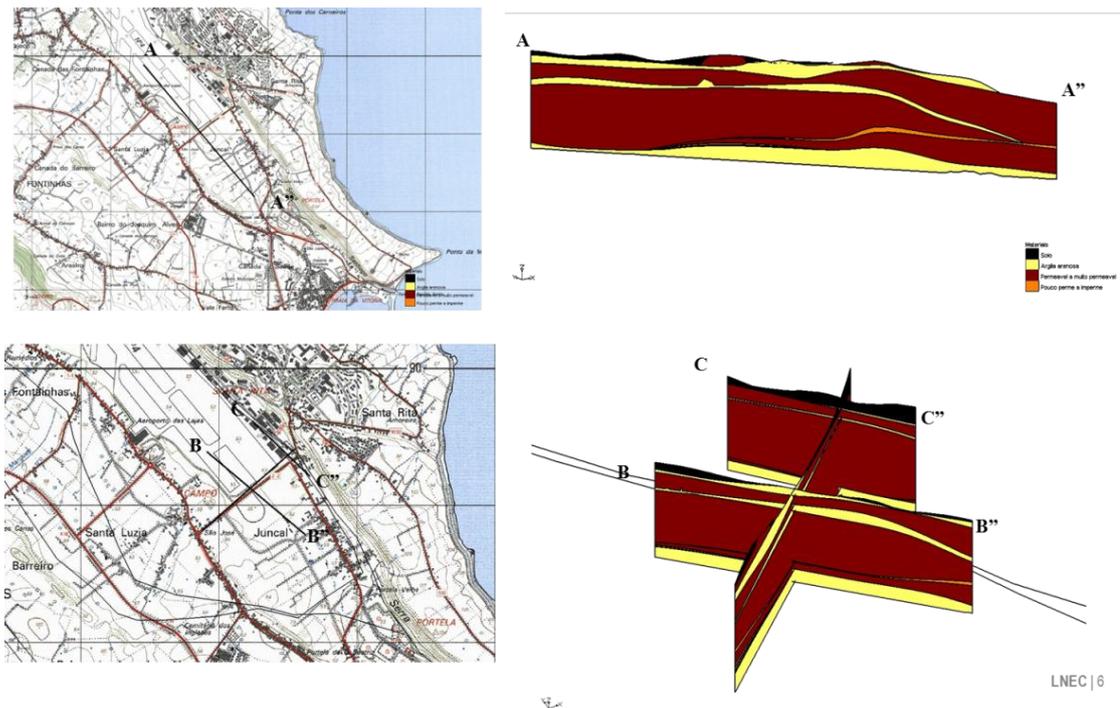


Figura 3.7 - Localização e perfis litológicos (sobre-elevação vertical de 10x) (extraído de Lobo-Ferreira *et al.*, 2010)

Para a simplificação do modelo numérico, Lobo-Ferreira *et al.* (2010) consideraram a existência de dois sistemas aquíferos principais: a) formações hidrogeológicas suspensas, de espessura variável, cujo topo corresponde à cota de terreno e a base ao sistema intermédio e b) o sistema aquífero basal.

O topo das formações hidrogeológicas suspensas corresponde à superfície do terreno (superfície topográfica) e foi definido com base no modelo digital do terreno (MDT).

A base das formações hidrogeológicas suspensas foi definida através das informações do relatório "Desenvolvimento de um inventário das águas subterrâneas dos Açores – Fase 3" (Novo *et al.*, 2001) e tendo em conta a informação da sondagem do furo FP3 que apresenta o último nível suspenso aos 19 metros de profundidade. Dessa forma a base do aquífero suspenso resultou numa superfície variável, com uma cota máxima de 41 m e mínima de 35 m.

Relativamente ao sistema aquífero basal, este foi delimitado à escala regional através do limite definido pela cumeada da Serra do Cume e pelo limite da bacia hidrográfica das principais ribeiras com contribuição para a área do graben das Lages.

É no sistema aquífero basal que os furos da CMPV se encontram a captar. O sistema aquífero desenvolve-se essencialmente, na zona do graben das Lajes, na formação dos Traquibasaltos dos Cinco Picos, em lavas vulcânicas muito fraturadas muito permeáveis. Na zona costeira alimenta um conjunto de nascentes litorais (e exurgências submarinas),

sendo nesta zona tradicionalmente explorado por poços de maré. É um aquífero fraturado, de produtividades médias a elevadas, com alguma variabilidade espacial dependente das características hidrogeológicas das estruturas geológicas e litologias intercetadas pelos furos de captação (Novo *et al.*, 2001). A alta permeabilidade das rochas neste aquífero é favorável à entrada de água do mar, criando as condições para a existência de um corpo contínuo de água salgada na sua base, sobre o qual se desenvolve um corpo de água doce que terá uma geometria lenticular, sobrenadante à água salgada (de acordo com o modelo de Ghyben-Herzberg).

A Figura 3.8 apresenta o resultado do modelo de fluxo do sistema aquífero basal, desenvolvido para a área do graben das Lajes. O modelo, que incorpora o caráter impermeável da Falha de Santiago e outros aspetos hidráulicos das estruturas geológicas presentes na área, permitiu concluir que existe um escoamento para SE, em direção ao litoral, no sector S do graben, e um escoamento para NW no sector N do graben, havendo uma linha divisória do fluxo, sita um pouco a jusante do campo de furos de abastecimento à Base das Lajes (Figura 3.8 e Figura 3.9).

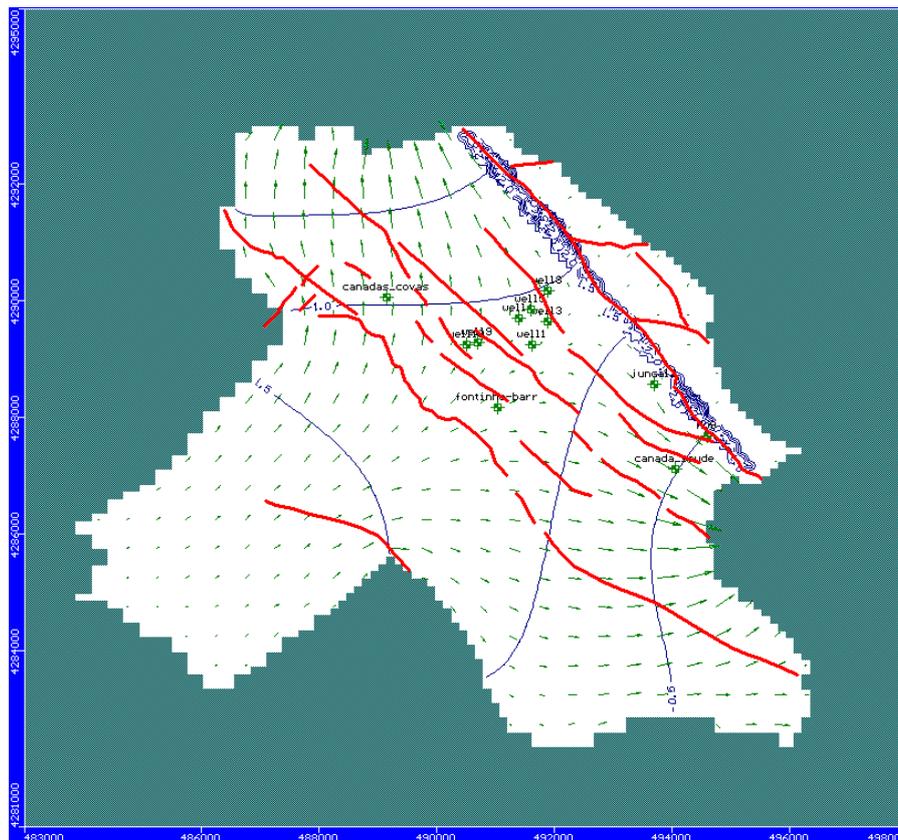


Figura 3.8 - Vetores da direção do fluxo subterrâneo (aquífero basal) (extraído de Lobo-Ferreira *et al.*, 2010)

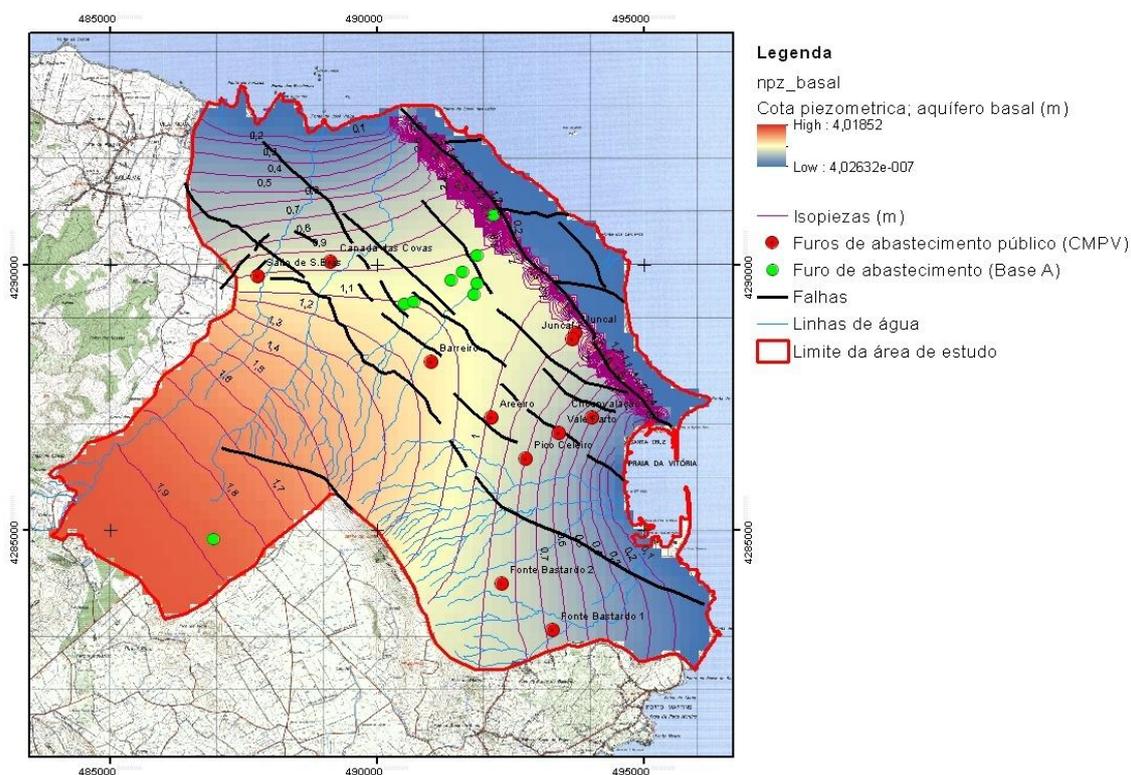


Figura 3.9 - Isopiezas (aquífero basal) (Henriques *et al.*, 2013)

3.2.3 Propriedades hidráulicas e produtividades

O Quadro 3.1 apresenta valores de porosidades para as formações vulcânicas constituintes dos aquíferos suspensos e de base determinados por Andersen *et al.* (1982). Estes valores indiciam que os aquíferos suspensos têm em geral coeficientes de armazenamento baixos (Novo *et al.*, 2001, *in* Lobo-Ferreira *et al.*, 2010).

Quadro 3.1 - Porosidades estimadas das formações da ilha Terceira

Formação	Porosidade (%)		
	Mínima	Média	Máxima
Basaltos superiores	6	7,5	9
Basaltos inferiores	3	--	6
Ignimbritos das Lajes	11	17	21
Formação Traquibasáltica dos Cinco Picos	--	6*	--

*universo de 1 amostra; Fonte: Andersen *et al.* (1982, *in* Novo *et al.*, 2001)

Relativamente às produtividades dos sistemas aquíferos tecem-se as seguintes considerações (retiradas de Lobo-Ferreira *et al.*, 2010):

Formações hidrogeológicas superficiais: – é um sistema que tem baixa produtividade (Lajes I). A sua principal nascente – Caldeira das Lajes – possui caudais médios de 0,1 L/s (Schaller *et al.*, 2005; Rodrigues, 2002) e caudal máximo de invernada que não ultrapassa os 0,4 l/s (Rodrigues, 2002). Lajes I é ainda interceptado por numerosos poços tradicionais de grande diâmetro na sua maior parte desativados.

Formações hidrogeológicas intermédias – na zona de estudo inclui os aquíferos de Lajes II e Serra de Santiago, os quais apresentam produtividades baixas a moderadas entre 0,1 e 15,2 L/s, este último valor correspondendo a captações na formação hidrogeológica de Lajes II, de acordo com Rodrigues (2002).

Sistema Aquífero de Base – este é o principal aquífero da zona, abastecendo a vasta maioria dos pontos de captação tanto para o concelho de Praia da Vitória como para a Base das Lajes. Allen e Hoshall (1990) consideram a zona do graben entre a falha de Santiago e a falha das Fontinhas como a de melhor potencial aquífero, registando produtividades entre 3,15 L/s a 31,54 L/s, por vezes superiores, dependendo da permeabilidade das formações intersetadas. Em datas mais recentes estão registadas produtividades entre os 8 e os quase 20 L/s para os furos camarários e um total de 23,7 L/s para os furos de abastecimento da Base das Lajes (Schaller *et al.*, 2005). Novo *et al.* (2001) fazem referência a dois furos (T-1011 e T-3001) com caudais de 4,7 L/s e 1,6 L/s respetivamente e registam caudais entre 10 e 22 L/s para os furos de abastecimento à Base das Lajes (Quadro 3.2); note-se que estes valores são superiores aos de Schaller *et al.* (2005), o que pode indiciar uma modificação nos regimes de exploração. Schaller *et al.* (2005) referem que apesar deste elevado potencial aquífero as captações são muito vulneráveis à salinização pois captam na lentícula de água sobrenadante à água do mar.

Quadro 3.2 - Caudais máximos e mínimos registados em furos da Base das Lajes

<i>Desig.</i>	<i>Caudal mínimo (L/s)</i>	<i>Caudal máximo (L/s)</i>
T-1301/ Well 1	18,4	19,8
T-1302/ Well 2	15,7	22,7
T-1303/ Well 3	12,9	18
T-1305/ Well 4	12,6	19
T-1306/ Well 5	19	--
T-928/ Well 8	10	11

Fonte: Novo *et al.* (2001)

Relativamente aos caudais específicos, Allen e Hoshall (1990) referindo Worts (1950) referem que ensaios em furos da base das Lajes indicaram caudais específicos de 0,2 L/s.m. Nos ensaios realizados pelo LNEC, os caudais específicos situam-se entre 0,01 e 0,21 L/s.m. O Quadro 3.3 apresenta a síntese dos valores de transmissividades calculados através da interpretação dos ensaios de bombagem efetuados pelo LNEC.

Quadro 3.3 - Valores de transmissividades por local de ensaio

<i>Desig.</i>	<i>Profundidade ao nível (m)</i>	<i>Local</i>	<i>Coord. E</i>	<i>Coord. N</i>	<i>Prof. do furo (m)</i>	<i>Espessura saturada (m)</i>	<i>Transmissividade (m²/d)</i>	<i>K estimado (m/d)</i>
FB1	81,04		492643	4287477	88	6,96	2290	329,0
FB2	67,76		492833	4287722	78	10,24	6927	676,5
FB3	55,65		493336	4288971	65	9,35	533	57,0
FB5	1,46	Paúl	494660	4287579	11,5	10,04	190	18,9
FB6	52,81		493495	4289258	65	12,19	285	23,4
FB7	62,94		493240	4288695	72	9,06	4370	482,3
Juncal 2	52,49	Juncal	493672	4288587	64,8	12,31	1452	118,0

Fonte: Lobo-Ferreira et al. (2010); Nota: medição da profundidade ao nível em relação ao solo (pela Aqualis)

3.2.4 Recarga e descargas

Admite-se que o graben das Lajes seja uma das áreas de recarga preferencial do aquífero basal da ilha Terceira, dado ser uma região com solos de textura grosseira e alta permeabilidade, topografia favorável à infiltração e coberto vegetal que é barreira eficaz ao escoamento superficial.

Novo *et al.* (2001) determinaram recargas de 708 mm/ano para a Serra de Santiago e graben das Lajes, o que equivale a volumes anuais de recarga de 4,5 hm³/ano para a Serra de Santiago e de 43,8 hm³/ano para o graben (recarga anual total = 48,3 hm³/ano para a totalidade destas duas regiões).

O Plano Regional da Água admite recargas de menos de 2 hm³/ano para os sistemas aquíferos de Serra de Santiago e do Graben, e recargas de menos de 10 hm³/ano para o sistema aquífero Ignimbritos das Lajes; considerando as áreas destes sistemas aquíferos e os limites máximos de recarga, obtêm-se recargas máximas de: (1) sistema Graben = cerca

de **113,8 mm/ano**, (2) sistema Ignimbritos das Lajes = cerca de **298,9 mm/ano** e (3) sistema Serra de Santiago = cerca de **407,3 mm/ano**.

Para o aquífero basal desconhece-se o valor de recarga mas havendo drenância por parte dos aquíferos superficiais considera-se que o valor de recarga do aquífero basal poderá situar-se entre os 10% e os 20% da recarga dos aquíferos superficiais. Assim, o valor de recarga do aquífero basal situa-se entre os 70,8 mm/ano e os 141,6 mm/ano, tendo em conta o valor de recarga obtida pelo modelo BALSEQ em Novo *et al.* (2001).

Lobo-Ferreira *et al.* (2010) investigaram a influência da precipitação nos níveis piezométricos. Para tal, foram instaladas sondas de nível com registos contínuos nos piezómetros FP6B e FP6A. Neste trabalho verificou-se, com recurso a medições com sondas automáticas, a correlação entre a precipitação e o nível de água subterrânea mais superficial e intermédio. Essa correlação é evidente nas Figura 3.10 e

Figura 3.11, onde se compara a profundidade ao nível nos piezómetros FP6B e FP6A e a precipitação diária entre 26 de Setembro e 21 de Outubro de 2010.

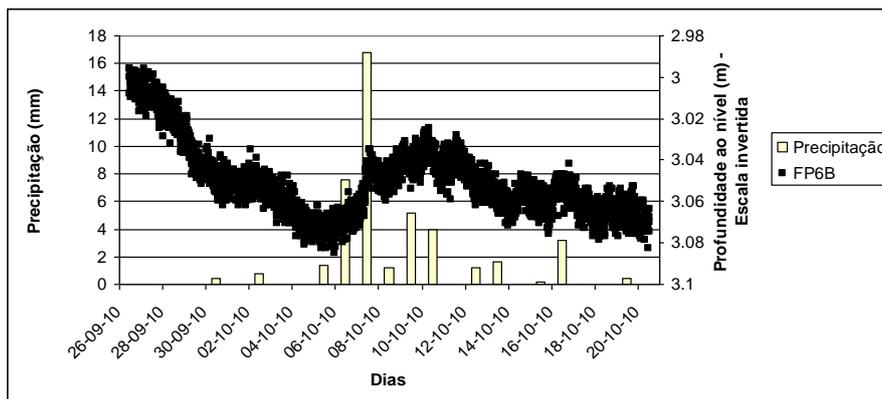


Figura 3.10 - Profundidade ao nível registada no piezómetro FP6B e precipitação diária registada em Praia da Vitória (extraído de Lobo-Ferreira *et al.*, 2010)

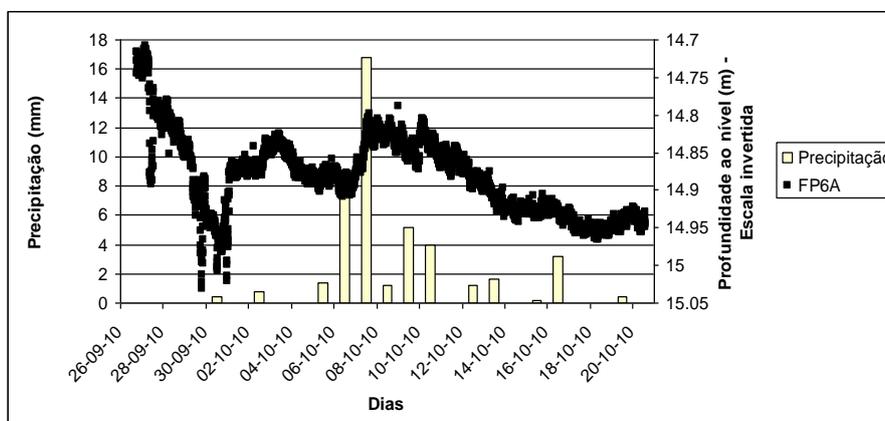


Figura 3.11 - Profundidade ao nível registada no piezómetro FP6A e precipitação diária registada em Praia da Vitória (extraído de Lobo-Ferreira *et al.*, 2010)

É possível verificar uma forte correlação entre o andamento das duas curvas, o que demonstra o claro efeito da precipitação na recarga e permite uma avaliação preliminar da drenância, entre estas formações e entre a intermédia e o aquífero basal, da ordem de grandeza de 1 a 1,5 cm/dia.

As **descargas subterrâneas naturais** ocorrem através de nascentes difusas ou concentradas, podendo ser (1) interiores, (2) litorais ou (3) submarinas. As nascentes interiores localizam-se em escarpas de falha como a escarpa das Fontinhas ou a Caldeira das Lajes. As nascentes litorais situam-se em (A) arribas, sendo principalmente nascentes difusas situadas na base ou a meia encosta de arribas (ex.: Amoreiras e Zimbral), (B) na bordadura da faixa litoral (ex.: nascentes Poço da Areia e Paul, de natureza difusa e situadas no litoral SE, na região de Praia da Vitória), em geral apenas visíveis durante a baixa-mar e apresentam evidências químicas de serem afetadas por mistura com água do mar (Rodrigues, 2002). As nascentes submarinas situam-se abaixo do nível de baixa-mar, constituindo um importante grupo de descargas naturais do aquífero de base; as nascentes submarinas mais importantes no litoral da área de estudo ocorrem na zona de Praia da Vitória e Caldeira das Lajes (Schaller *et al.*, 2005). Na área do graben das Lajes existem 20 nascentes, na sua maioria localizadas na escarpa de falha das Fontinhas (17) e apenas 1 na depressão da Caldeira das Lajes (Schaller *et al.* 2005; Rodrigues, 2002). O conjunto das nascentes da escarpa das Fontinhas tem um caudal total de 26 L/s no Inverno e de 10 L/s no Verão; a nascente da Caldeira das Lajes (na base da formação dos Ignimbritos das Lajes) tem caudal de 0,1 L/s no Verão e 0,9 L/s no Inverno (Schaller *et al.*, 2005; Rodrigues, 2002). Os caudais totais conjuntos das nascentes de arriba de Amoreiras, Zimbral e Facho são inferiores a 1 L/s (Rodrigues, 2002), sendo 0,023 L/s o caudal de Verão da fonte do Zimbral (Novo *et al.*, 2001). Há indicações de que os caudais das nascentes difusas de Praia da Vitória, e em especial das nascentes submarinas, são elevados (Schaller *et al.*, 2005) mas desconhecem-se os seus valores.

As **extrações** de águas subterrâneas são o somatório dos caudais de exploração dos furos (que captam maioritariamente o aquífero de base) e dos poços (captam essencialmente as formações hidrogeológicas suspensas e, na zona litoral, o aquífero de base). Allen e Hoshall (1990) registaram, entre Setembro de 1988 a Agosto de 1989, para os furos de abastecimento à base das Lajes, um volume diário de 2 649 780 l/dia, o que equivale a 967 170 m³/ano. Schaller *et al.* (2005), para o total dos furos de abastecimento no campo de furos de abastecimento Base das Lajes refere valores de cerca de 750 000 m³/ano². Os dados fornecidos por Praia Ambiente (email de 8/6/2009 enviado por Paulo Apura), apontam

² Tal pode indicar uma mudança no regime de extração destes furos, com redução dos caudais extraídos.

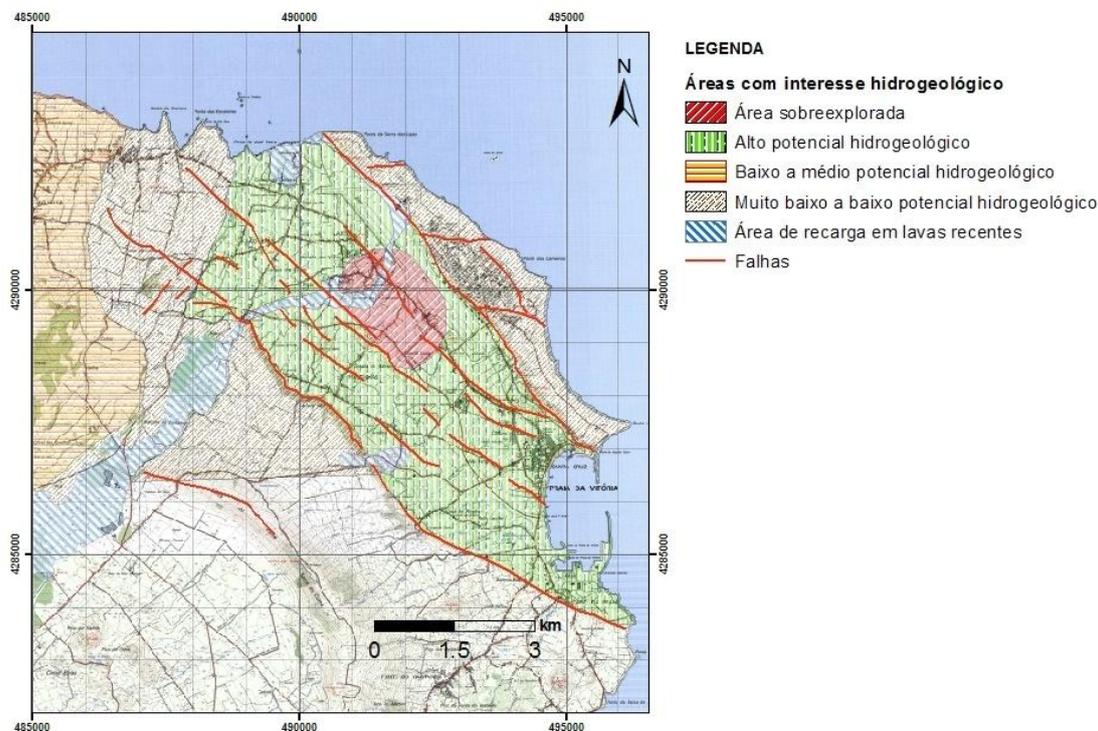
para volumes anuais totais de extração da ordem dos 972 991 m³/ano (cf. Quadro 3.4) para os furos de abastecimento ao concelho de Praia da Vitória. Deste modo o volume total de extração, considerando apenas os dados mais recentes, é de 1 719 781 m³/ano.

Quadro 3.4 - Caudais de extração nos furos de abastecimento da CMPV

Furos CMPV	L/s	% funcionamento	(m ³ /ano) real	(m ³ /dia) real
Barreiro (Fontinhas)	11,80	1,00	372124,80	1019,52
Areeiro	15,20	0,60	287608,32	787,97
Pico Celeiro	11,60	0,17	60969,60	167,04
Juncal	8,00	1,00	252288,00	691,20
Total	46,60	2,77	972990,72	2665,73
Média				666,43
Máximo				1019,52
Mínimo				167,04

Fonte: Henriques *et al.* (2013)

Na Figura 3.12 apresenta-se o mapa da Praia Ambiente onde são delimitadas as áreas com interesse hidrogeológico, referindo as áreas que se encontram sobre exploradas (sujeitas a fenómenos de intrusão marinha) devido ao efeito da oscilação da maré nos níveis piezométricos do aquífero de base.



Fonte: adaptado de Allen & Hoshall (1990), cedido por Praia Ambiente em 2009

Figura 3.12 - Zonamento do potencial hidrogeológico da área de estudo (incluindo as áreas sobre exploradas)

3.3 Vulnerabilidade das águas subterrâneas à poluição

A vulnerabilidade à poluição de um aquífero constitui um fator importante na definição das zonas de proteção das captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público. Quando está disponível o mapeamento da vulnerabilidade dos aquíferos de uma determinada região, os esforços relacionados com a definição de perímetros de proteção deverão ser aplicados com maior rapidez nas zonas consideradas mais vulneráveis.

A avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas à poluição por aplicação do Índice DRASTIC (Aller *et al.*, 1987) foi efetuada em Lobo-Ferreira *et al.* (2010). A Figura 3.13 e Figura 3.14 apresentam a cartografia do índice DRASTIC de vulnerabilidade à poluição para as formações hidrogeológicas suspensas e para o aquífero basal respetivamente. Verifica-se que as formações suspensas apresentam vulnerabilidade elevada a muito elevada. As formações do aquífero de base apresentam vulnerabilidade intermédia a elevada.

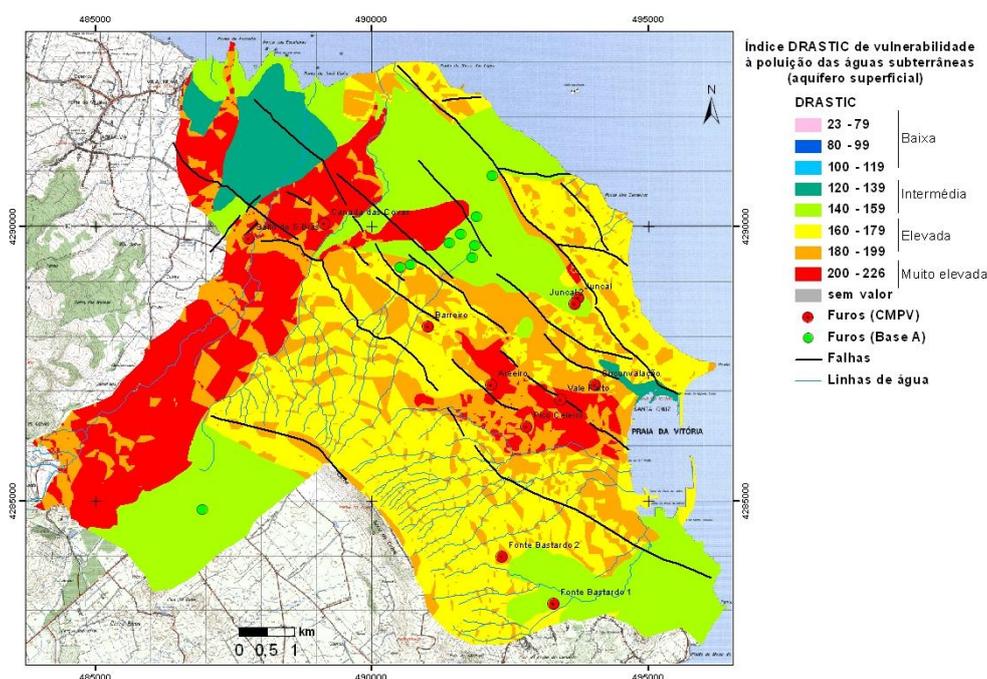


Figura 3.13 - Índice DRASTIC de vulnerabilidade à poluição para as formações hidrogeológicas suspensas (extraído de Lobo-Ferreira *et al.*, 2010)

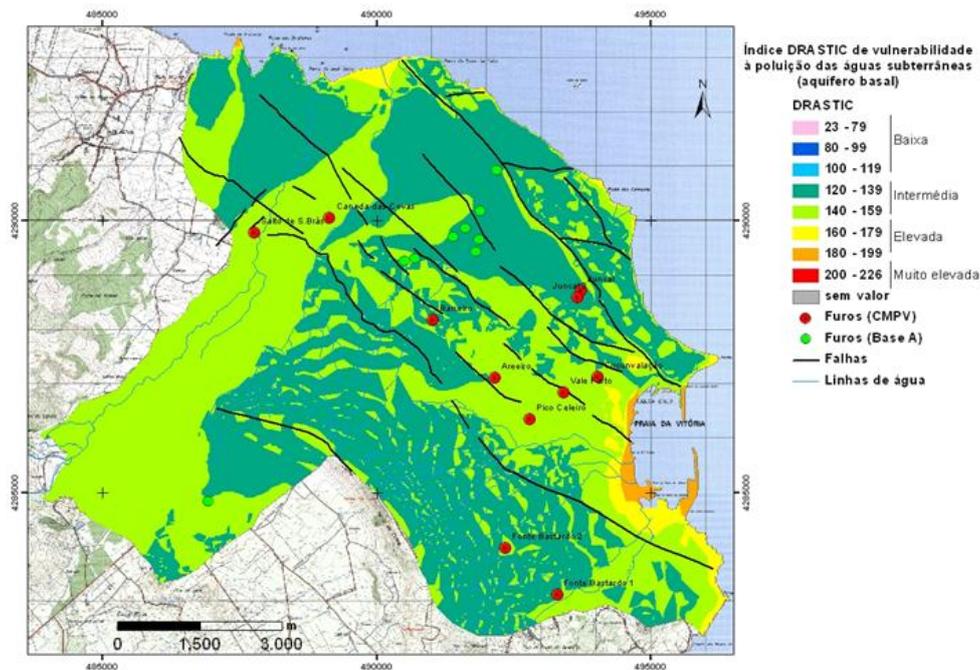


Figura 3.14 - Índice DRASTIC de vulnerabilidade à poluição para o aquífero de base (extraído de Lobo-Ferreira *et al.*, 2010)

3.4 Focos de poluição e risco para o meio hídrico subterrâneo

No estudo efetuado por Lobo-Ferreira *et al.* (2010) apresenta-se a localização das potenciais fontes de contaminação das águas subterrâneas (Figura 3.15) com origem em infraestruturas associadas ao funcionamento da Base Aérea das Lajes (armazenamento e adução de combustíveis fósseis dispersas pela área em estudo, cf. Figura 3.16). Salienta-se que grande parte destas infraestruturas se encontram atualmente desativadas.

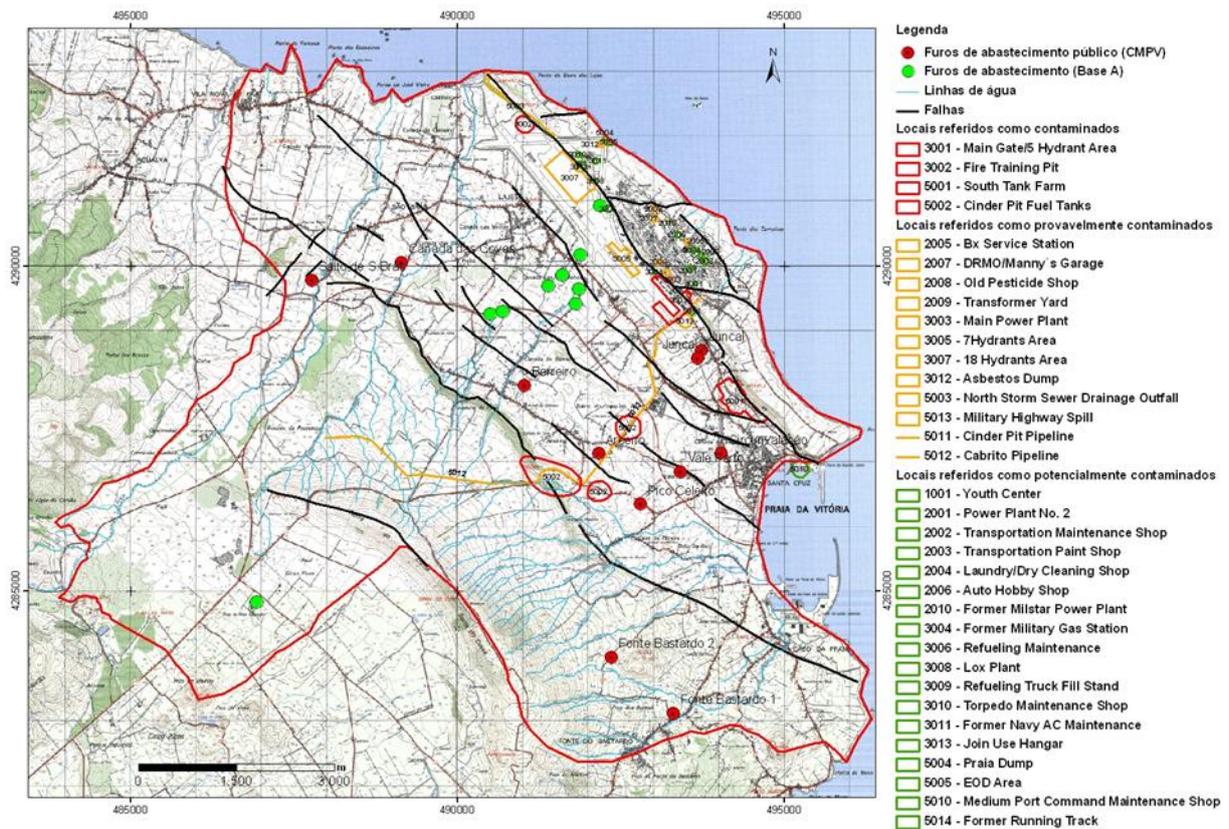


Figura 3.15 - Localização dos locais contaminados e potencialmente contaminados (extraído de Lobo-Ferreira et al., 2010)

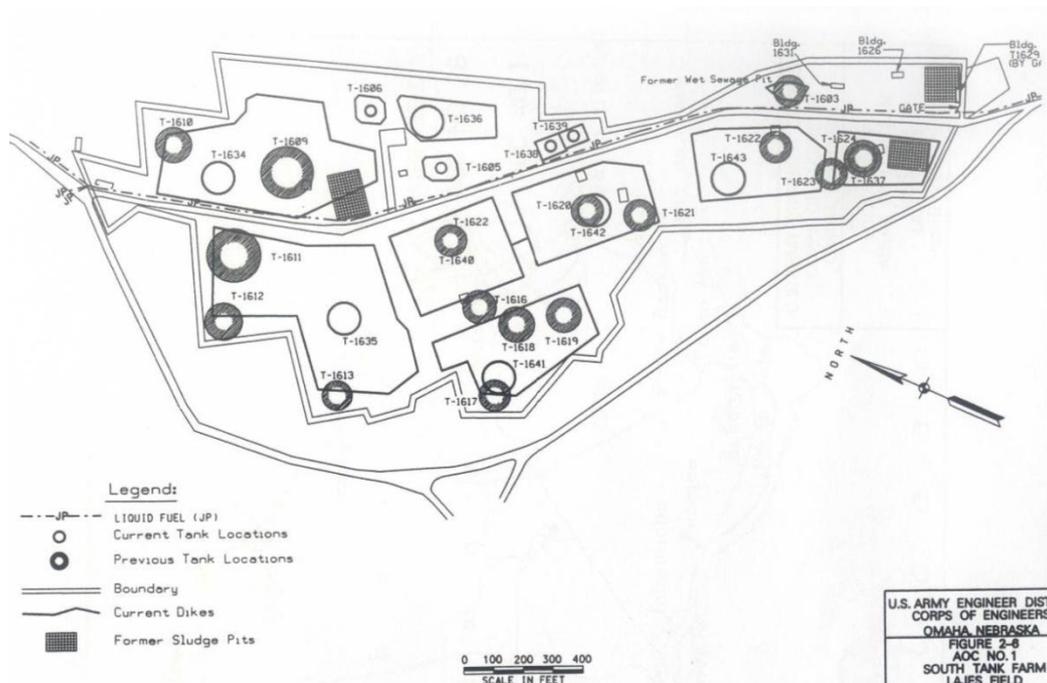


Figura 3.16 - Localização dos tanques de combustível e depósitos de resíduos na área de South Tank Farm (extraído de Lobo-Ferreira et al., 2010)

Segundo Lobo-Ferreira *et al.* (2010) o risco de poluição depende não só da vulnerabilidade, mas também, da existência de cargas poluentes significativas que possam entrar para o meio hídrico subterrâneo; é um conceito mais abrangente, e dinâmico que engloba a vulnerabilidade e a existência de focos de poluição. É possível existir um aquífero com alto índice de vulnerabilidade mas sem risco de poluição, caso não haja carga poluente significativa ou de haver um risco de poluição excepcional apesar do índice de vulnerabilidade ser baixo.

Os métodos para caracterização do risco podem ser de previsão ou de resposta. Os métodos de previsão podem caracterizar o risco por dois processos, um que considera o cálculo, em separado, da vulnerabilidade e da carga poluente; e outro que acopla a carga poluente e as características intrínsecas do meio. Os métodos de resposta usam a composição da água subterrânea para afirmar se determinada área em análise tem boas ou más condições de preservação das características atuais da qualidade da água, i.e. que o risco é baixo ou que o risco é elevado.

Nos métodos de previsão, para além do tempo de percurso, interessam as propriedades relacionadas com a circulação do poluente no meio, como sejam as propriedades de retardamento do meio, a carga poluente e a perigosidade do poluente.

O risco pode ser definido em relação a uma captação ou conjunto de captações de águas subterrâneas, ou pode ser definido em relação à totalidade de uma massa de água subterrânea.

Os problemas de poluição da área em estudo podem provir, além da poluição associada ao funcionamento da Base das Lajes, de diversas atividades associadas a práticas agrícolas deficientes, à rejeição de águas residuais não tratadas, à deposição não controlada de resíduos sólidos, e à salinização de captações por sobre exploração.

Refere-se, ainda, como aspeto relevante de poluição da área, constatado em inúmeros locais da Ilha, a utilização de antigos poços de abastecimento de largo diâmetro, presentemente utilizados como fossas sépticas e lixeiras. Esta questão poderá constituir, a prazo, um problema de poluição a atender.

A questão da sismicidade da Ilha é um fator que pode agravar as condições de qualidade das águas subterrâneas na medida em que poderá contribuir, como já aconteceu no passado, para causar a rutura de infraestruturas de armazenamento e/ou de transporte de produtos perigosos, contribuindo assim para o seu derrame.

4| Análise dos trabalhos de reabilitação e de monitorização promovidos pela USAF USAFE 65 CES/CEAN

4.1 Considerações iniciais

Neste capítulo faz-se uma avaliação da adequação da proposta de reabilitação promovida pela Força Aérea Americana, na perspetiva da proteção das águas subterrâneas para abastecimento público do Concelho de Praia da Vitória. Nesse contexto há dois aspetos que foram atendidos, por um lado, a adequação das propostas apresentadas para resolver o problema existente e, por outro, a avaliação da eficácia das medidas aplicadas. De referir, desde já, que este último aspeto é um processo que é necessariamente prolongado no tempo sendo, no final deste primeiro ano, apenas possível avaliar se os resultados da monitorização apontam para uma estabilização da situação da qualidade das águas subterrâneas.

No âmbito da análise, do acompanhamento e da promoção da boa execução dos trabalhos de reabilitação diligenciados pela FAA foram:

- Efetuadas deslocações ao local de estudo onde houve oportunidade de acompanhar os trabalhos desenvolvidos.
- Promovidas e realizadas três reuniões anuais (cf. ANEXO II com as atas das reuniões nas datas: 2013-01-04, 2013-04-30 e 2013-11-19), em coordenação com Força Aérea Portuguesa – Comando da Zona Aérea dos Açores, com a participação do LNEC e da ERSARA e de representantes do destacamento da Força Aérea Americana nas Lajes para acompanhamento do desenvolvimento e da eficácia dos trabalhos em curso e para análise de medidas alternativas de monitorização e de reabilitação.
- Efetuada a leitura, avaliação e emissão de parecer (cf. Nota Técnica do ANEXO III) dos documentos que foram sendo elaborados para a FAA sobre esta temática.

Conforme atrás referido, o ANEXO II apresenta-se as atas das três reuniões realizadas. As suas principais conclusões e recomendações são apresentadas ao longo do texto deste relatório.

Relativamente aos documentos elaborados pela FAA, apresenta-se uma análise dos mesmos nas secções seguintes.

4.2 Relatórios analisados

Os documentos promovidos pelas Forças Aéreas Americanas, desde o início do projeto, e enviados para o LNEC quer pela Força Aérea Portuguesa, quer pela ERSARA quer pelas FAA, foram os seguintes (por ordem cronológica) (cf. ANEXO IV):

2012:

- Ficheiro "Tab 2 - Final GW Monitoring Plan_ENG.pdf" designado "Plano Monitorização Final das Águas Subterrâneas", 48 páginas, datado de dezembro de 2012.
- Ficheiro "Tab 3 - Final GW Monitoring Plan_PORT.pdf" designado "Final Groundwater Monitoring Program Plan", 48 páginas, datado de dezembro de 2012.
- Ficheiro "Tab 4 - LNAPL LTM MWH memo.pdf", designado "Perform LNAPL (LIGHT NON-AQUEOUS PHASE LIQUID) extraction and long term monitoring at Sites 3001 and 5001 at Lajes Field, Azores, Portugal – Project Status update", 2 páginas, datado de 12.12.2012.

O primeiro documento apresenta uma descrição detalhada do plano de monitorização final das águas subterrâneas e o segundo é uma versão em inglês do primeiro. O plano de monitorização contém os dados relativos à extração de LNAPL, já efetuada, e uma proposta de monitorização a longo prazo prevista para os locais 3001 e 5001 visando o acompanhamento dos processos de reabilitação e de atenuação natural em curso. O terceiro relatório é um memorandum de duas páginas contendo uma síntese do segundo relatório referido.

2013:

- Ficheiro "Tab 3 - Proposed field work activities.pdf", sem título, 2 páginas, datado de 19.03.2013.
- Ficheiro "Tab 2 - Groundwater investigations AMEC report Apr 12 extract.pdf" designado "Site Investigation Activities and Site Characterizations at Lajes Field, Azores, Portugal", Contract No. FA8903-08-D-8766-0069, AMEC Project No. 775290069, Final Report Groundwater Investigations, 289 páginas, 12.04.2013.
- Ficheiro "Tab 1 - LNAPL LTM MWH memo_10May2013.pdf" designado "Perform LNAPL (LIGHT NON-AQUEOUS PHASE LIQUID) extraction and long term monitoring at Sites 3001 and 5001 at Lajes Field, Azores, Portugal – Project Status update", 2 páginas, datado de 10.05.2013.

- Ficheiro "MWH MEMO_4June2013.pdf" designado "Perform LNAPL (LIGHT NON-AQUEOUS PHASE LIQUID) extraction and long term monitoring at Sites 3001 and 5001 at Lajes Field, Azores, Portugal – Project Status update", 2 páginas, datado de 04.06.2013.
- Ficheiro "MWH MEMO_15Oct2013.pdf" designado "Perform LNAPL (LIGHT NON-AQUEOUS PHASE LIQUID) extraction and long term monitoring at Sites 3001 and 5001 at Lajes Field, Azores, Portugal – Project Status update", 2 páginas, datado de 15.10.2013.

4.3 Análise dos trabalhos de monitorização

4.3.1 Objetivos

O objetivo central proposto para a monitorização e a amostragem de águas subterrâneas foi documentar a evolução dos processos de remediação de LNAPL (fase líquida leve não aquosa) que está a ser realizada nos locais 3001 e 5001 da área de estudo, referidos em maior pormenor na secção 4.4. Para o efeito pretendeu-se: (1) avaliar a evolução da espessura do produto sobrenadante, (2) as concentrações de poluentes nos restantes piezómetros, (3) a potencial migração da pluma, e (4) reunir o máximo de informação indireta sobre a qualidade das águas subterrâneas que permita aferir a atenuação natural existente no local relativamente aos LNAPL.

Foi estabelecido um programa de monitorização, pela FAA, onde se definem os locais a monitorizar, a frequência de monitorização, os parâmetros a analisar e os procedimentos de amostragem. Este programa contempla uma rede de (1) Monitorização a Longo Prazo (LTM) e de (2) Monitorização da Atenuação Natural (MNA), que se propõe ser revista após os resultados do primeiro ano. Tecem-se algumas considerações sobre o programa de monitorização apresentado.

4.3.2 Locais a monitorizar

Foram propostos pela FAA 22 piezómetros para fazerem parte da rede de Monitorização a Longo Prazo, 18 dos quais localizados no Site 3001 e quatro no Site 5001. A justificação apresentada para a sua escolha foi considerada adequada na medida em que tem em conta o historial dos locais, nomeadamente aqueles em que se observa ou observou a presença de NAPL, os locais com vestígios e aqueles que historicamente nunca foram afetados. Por outro lado é dada maior incidência ao Site 3001, cujo interesse para a proteção aos furos de abastecimento de água ao concelho de Praia da Vitória é maior, dada a sua localização a jusante desse Site.

Por outro lado foi, ainda, proposta a monitorização de 7 piezómetros para fazerem parte do Programa de Atenuação Natural (com o ponto MW25 em comum).

Da proposta apresentada, apenas se sugeriu incluir também o ponto MW07 (Site 3001) na rede de monitorização LTM no que diz respeito apenas ao registo da piezometria, para facilitar a interpretação posterior da piezometria, na medida em que há poucos valores na envolvente. Os restantes locais propostos foram considerados adequados.

4.3.3 Frequência de monitorização

A frequência de monitorização prevista inclui campanhas semestrais de monitorização durante 1 ano (2 campanhas), incluídas no Plano de Monitorização a Longo Prazo e na Atenuação Natural Monitorizada (designadas por LTM e MNA).

Esta frequência foi considerada adequada. Ainda não foi apresentado ao LNEC nenhum relatório. Os dados da campanha de monitorização de 2013 foram entregues há pouco às FAA que ainda o está a analisar. Apenas foi adiantado que foram encontradas evidências de atividade microbiológica relacionadas com biodegradação dos contaminantes, o que é um sinal positivo no processo de reabilitação.

4.3.4 Parâmetros em análise

Os parâmetros a analisar no âmbito do programa de LTM incidem sobre os BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno), TPH (hidrocarbonetos totais do petróleo, C5-C36) e PAH (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos).

Para o programa de MNA é proposta a monitorização de indicadores geoquímicos que traduzem a redução da água por consumo de oxigénio resultante da eventual degradação de hidrocarbonetos [(oxigénio dissolvido (O_2); potencial de oxidação-redução (ORP); pH; condutividade elétrica; temperatura, sulfato (SO_4^{2-}); nitrato (NO_3^-); ferro ferroso dissolvido (Fe^{2+}); manganês dissolvido (Mn); metano (CH_4)], e parâmetros microbiológicos.

Durante a amostragem é, ainda, registado o nível piezométrico, a interface água / produto livre e os parâmetros de campo pH, temperatura, oxigénio dissolvido, potencial de oxidação-redução (ORP), e condutividade elétrica, bem como observações organoléticas.

O LNEC sugeriu (ANEXO II) que fossem explicitados quais os parâmetros a analisar no que diz respeito aos PAH. Sugeriu que estes incluam, pelo menos, o acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno, benzo(k)fluoranteno, criseno, dibenz(a,h)antraceno, fluoranteno, fluoreno, indeno(1,2,3,cd)pireno, naftaleno, fenantreno e pireno.

Em relação aos DNAPL (hidrocarbonetos mais densos que o petróleo), o LNEC considera prioritários, tendo alertado as FAA nas reuniões havidas, pelo menos, os elementos cuja concentração foi superior ao limite de detecção nalgum ponto do aquífero basal ou a valores que devem ser analisados segundo o Decreto-Lei n.º 306/2007 - *Qualidade da água destinada ao consumo humano*. Destaca-se, de entre os compostos orgânicos voláteis halogenados: 1,2-dicloroetano, bromodiclorometano, bromofórmio, dibromoclorometano, tetracloroetileno (PCE) e tricloroetileno (TCE).

4.3.5 Procedimentos amostragem

Os procedimentos de amostragem de águas subterrâneas propostos pelas FAA referem que as amostras serão recolhidas através da tecnologia de bombeamento de baixo caudal, usando uma bomba *bladder*. O propósito é recolher uma amostra de água subterrânea representativa do aquífero em torno do piezómetro, cujo procedimento evite o arejamento e a potencial volatilização de parâmetros objetivo.

O procedimento proposto é o indicado para a recolha de amostras representativas, devendo ser explicitado que a amostra deverá ser recolhida após a purga de um volume equivalente a três vezes o volume da coluna saturada do piezómetro ou até à estabilização dos parâmetros pH, temperatura e condutividade elétrica na água da purga. Se possível, deve ser referida a profundidade média de amostragem em cada piezómetro.

Não obstante, atendendo a que o objetivo deste trabalho é avaliar os efeitos das ações de reabilitação dos LNAPL a longo prazo, a recolha de amostras de água representativas proposta dará origem a resultados de concentrações em LNAPL baixas, i.e. apenas correspondentes à fração diluída, na medida em que estes hidrocarbonetos flutuam maioritariamente sobre a água. Nesse contexto, julga-se que a recolha de amostras (não representativas) localizadas na parte superficial da coluna de água onde os LNAPL se concentram, permitiria obter uma informação do pior cenário e, assim, melhor orientar os procedimentos da reabilitação. Complementarmente poderiam ser efetuadas algumas das amostragens representativas sugeridas.

Da mesma forma teria interesse efetuar uma análise localizada de DNAPL (incluindo os acima referidos) junto à base dos piezómetros instalados nos aquíferos suspensos para avaliar a sua potencial presença.

4.3.6 Programa analítico e metodologia

O programa e protocolos previstos integram uma adequada cadeia de custódia, incluindo questões de saúde pública, onde os meios analíticos a utilizar parecem adequados e há o adequado número de duplicados, de brancos de viagem e de equipamento.

O limite de deteção para os PAH (0,5 µg/L) é elevado se corresponder a um valor unitário. Sugeriu-se, na 1.^a reunião de trabalho, que os limites fossem, pelo menos, uma ordem de grandeza inferior.

4.4 Análise dos trabalhos de reabilitação

Os diversos estudos desenvolvidos no local até à data, quer pela FAA (através de diversas entidades onde se inclui inicialmente a AMEC e presentemente a ERM/MWN) quer pelo Governo Regional dos Açores (através do LNEC) concluíram ser necessário dar início à reabilitação das águas subterrâneas dos locais poluídos (Site 3001 e 5001), começando numa primeira fase com a extração dos LNAPL nos piezómetros onde este produto sobrenada a água. Atendendo aos resultados da monitorização nos piezómetros envolventes, face à atenuação natural em curso e à extração de LNAPL, este procedimento seria reavaliado. Os DNAPL não foram considerados pela FAA nesta primeira fase.

O trabalho de reabilitação começou em setembro de 2012, através da empresa MWH contratada pela FAA, com um reconhecimento das condições de poluição nos piezómetros existentes, num universo de 47 piezómetros inventariados, por forma a avaliar aqueles onde deveria ser feita a extração de LNAPL bem como os locais mais indicados para a monitorização da evolução da situação.

Foi detetada a presença de LNAPL sobrenadando as águas subterrâneas em seis piezómetros, quatro dos quais localizados no Site 3001 e dois no Site 5001 (Figura 4.1). A Figura 4.2 apresenta os valores iniciais da espessura de LNAPL e a sua evolução ao longo de um ano.

Desde setembro de 2012 foram retirados manualmente, através de *bailers* descartáveis, e com um descarregador passivo (acionado automaticamente sempre que é detetada acumulação de LNAPL sobre o nível piezométrico) 182 litros de LNAPL (e 433 kg de uma mistura de LNAPL e águas oleosas). O descarregador passivo foi inicialmente instalado no MW04, passando depois para o MW23, local onde a presença de LNAPL se revelou mais persistente.



Figura 4.1 - Espessura máxima de LNAPL em piezómetros localizados nas formações hidrogeológicas superficial e intermédia no Site 3001

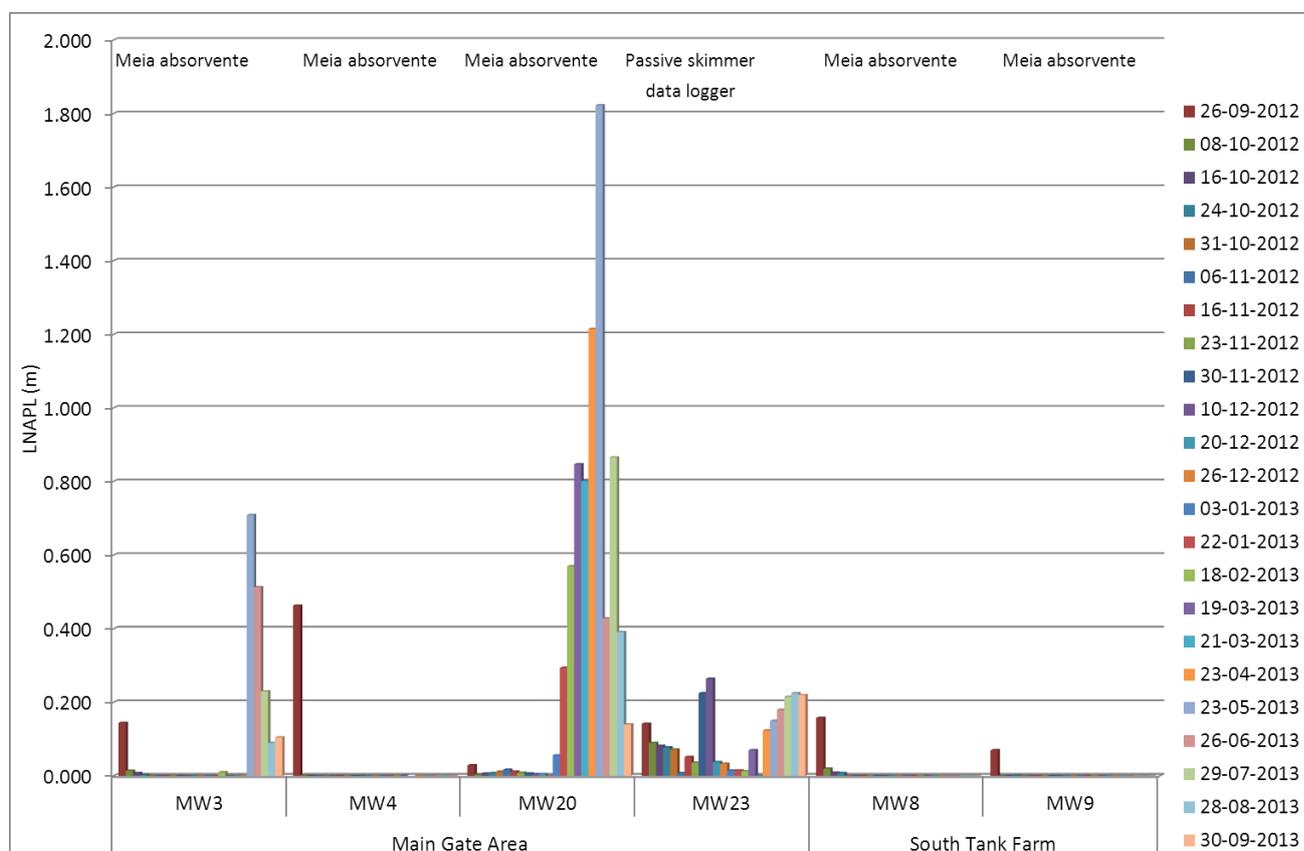


Figura 4.2 - Evolução da espessura de LNAPL sobrenadando o nível piezométrico, entre setembro de 2012 e 2013 (dados de MWH retirados dos relatórios referidos no ANEXO IV)

Foram instaladas cinco meias absorventes de produto nos restantes piezómetros, incluindo o MW04. Foram, igualmente, instalados três *data loggers* no MW11 e MW23 (Site 3001) e no MW20 no Site 5001 para registo da variação do n.p. de 30 em 30 minutos.

A Figura 4.2 apresenta a evolução da situação onde é possível registar uma clara redução de LNAPL nos piezómetros MW4 (Site 3001), MW8 (Site 5001) e MW9 (Site 5001), após as primeiras operações de remoção de produto. Em todos esses pontos registou-se a afluência LNAPL nalgum período, embora com espessuras muito reduzidas. Em outubro de 2013 não havia registo de produto sobrenadante nesses três pontos.

Nos restantes piezómetros observaram-se oscilações assinaláveis da espessura de LNAPL, com um claro aumento em diversas situações. Este facto deverá resultar tanto da flutuação do nível piezométrico (e conseqüente arraste e acumulação de poluentes retidos no solo), como também do próprio processo de recolha que poderá causar pequenos cones de depressão hidrostáticas (e o conseqüente movimento de LNAPL em direção ao piezómetro). Estas oscilações não são uma total surpresa neste tipo de procedimentos de reabilitação; não obstante, os valores registados são muito elevados e possivelmente resultantes da presença de produto remanescente na zona onde foram removidos tanques de combustível (junto ao MW21).

Presentemente parece ter sido atingida uma fase de decréscimo de produto sobrenadante. Terá que ser continuado o trabalho de reabilitação e de monitorização para confirmar se as ações levadas a cabo vão ao encontro do pretendido, *i.e.* reabilitar os locais mais contaminados com LNAPL para posterior reavaliação da situação. Estão a ser contempladas pela FAA outras ações complementares para se atingir a reabilitação do local, nomeadamente destinadas a remover LNAPL com maior frequência do que o inicialmente previsto.

Embora a questão prioritária tenha sido estabelecida para os LNAPL, dada a sua deteção em quantidades assinaláveis e em diversos locais, o assunto dos DNAPL não pode deixar de constituir uma questão de grande relevo, atendendo à sua propensão para migrar em profundidade até encontrar uma base impermeável. Este foi um aspeto que foi repetidamente analisado nas reuniões (cf. ANEXO II), alertando para a importância de uma monitorização adequada e eventual recurso à reabilitação. Os DNAPL TCE, PCE e PAH, já detetados em concentrações vestigiais no aquífero basal, foram considerados prioritários na recolha de amostras no fundo dos piezómetros (cf. secção 4.3.5). Nesta altura estão a ser considerados pela FAA novos procedimentos de amostragem. Caso seja considerado que a sua presença constitui um risco, terão que ser equacionada a sua remoção.

5| Monitorização da qualidade das águas subterrâneas

5.1 Descrição das campanhas realizadas

Durante 2013 foram realizadas pelo LNEC conjuntamente com a AmbiPar Control, empresa contratada pelo LNEC, duas campanhas de monitorização em dez pontos de água pertencentes aos dois aquíferos suspensos. As campanhas decorreram em dois períodos distintos, julho e novembro, de forma a poder verificar eventuais alterações induzidas pela oscilação dos níveis piezométricos resultante da época de águas altas e baixas.

O principal objetivo das campanhas foi complementar a informação obtida pela FAA, efetuada apenas dentro dos Sites 3001 e 5001, de forma a acompanhar a evolução da qualidade da água nos níveis suspensos à saída das áreas poluídas e antes de poder atingir os potenciais meios recetores, nomeadamente dos pontos de captação de água para consumo humano que captam o aquífero basal.

Em cada ponto foram recolhidas três tipos de amostras de água, procurando obter o pior cenário de concentração de poluentes: (1) uma amostra superficial (S) no contacto do nível piezométrico, para analisar a presença de hidrocarbonetos sobrenadantes (LNAPL); (2) uma amostra no fundo do piezómetro (F), procurando encontrar os hidrocarbonetos mais densos do que a água (DNAPL) e (3) uma amostra representativa obtida no final das amostragens anteriores, retirada após a purga do piezómetro confirmada pela estabilização dos valores de temperatura, pH e condutividade elétrica da água retirada.

Os locais de amostragem e as respetivas características são apresentados na Figura 5.1 e no Quadro 5.1, respetivamente.

As campanhas incluíram a monitorização *in situ* de parâmetros globais da qualidade da água (nível piezométrico, condutividade elétrica, temperatura, pH) e a recolha de amostras de água para análises químicas. Nesses pontos foram realizadas recolhas para análise química de 109 parâmetros químicos diferentes, entre elementos de campo, iões maiores, metais pesados e hidrocarbonetos (cf. Quadro 5.2), num total de 2180 análises químicas nas duas campanhas. Os parâmetros correspondem aos analisados em Lobo-Ferreira *et al.* (2010), com exceção dos PCB por nunca terem sido detetados.

Além do conjunto de análises referidas foram efetuadas amostras completas de duplicados e de brancos de campo que confirmaram a fiabilidade dos resultados obtidos. Esta análise bem como a descrição completa dos métodos utilizados, critérios de calibração, análises de controlo em laboratório e de toda a cadeia de custódia é apresentada pela AmbiPar Control,

que teve a seu cargo todo o processo de realização de análises químicas, da cadeia de custódia e de controlo de qualidade.

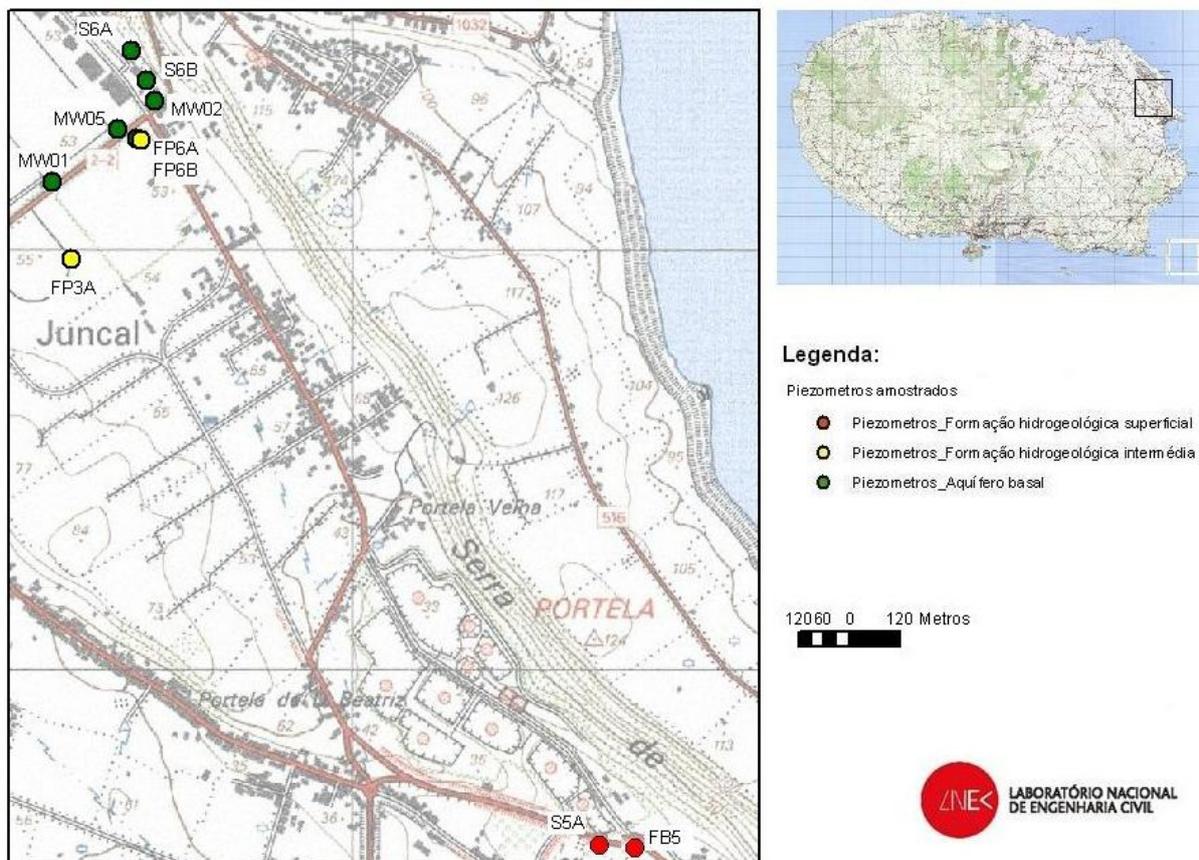


Figura 5.1 - Localização dos 10 pontos de amostragem de águas subterrâneas em 2013

Quadro 5.1 - Características dos pontos de água monitorizados em 2013

	DESIGNAÇÃO	Local	Coordenadas E	Coordenadas N	Profundidade do furo (m)	Cota do solo (m)	Cota do ponto de medição (m)	Tubos ralos	
								Profundidade (m)	Cota (m)
Disco Site 3001 e envolvente	MW01, Site 3001		493293	4289156	9,80	54,70	54,65	6,80 a 9,80	
	MW02, Site 3001		493535	4289352	7,80	53,67	53,62	4,80 a 7,80	
	MW05, Site 3001	Porta de Armas	493454	4289287	6,40	52,86	52,81	3,40 a 6,40	
	S6A		493479	4289472	11,00	56,44	56,39	2,6 a 8,6	53,84 a 47,84
	S6B		493512	4289400	9,00	54,31	54,26	2 a 7	52,26 a 47,26
	FP3A	Exterior da Porta de Armas	493335	4288976	16,50	53,56	56,31	7,50 a 8,50 e 13,00 a 15,00	48,31 a 47,31 e 42,81 a 40,81
	FP6A		493491	4289262	42,00	53,56	54,06	37,00 a 40,00	16,56 a 13,56
	FP6B		493500	4289260	12,00	53,56	54,06	2,00 a 4,00	51,56 a 49,56
Disco Site 5001 e envolvente	S5B	Exterior da <i>South Tank Farm</i>	494571	4287582	5,30	1,66	1,58	1,3 a 5,3	0,36 a -3,64
	FP5		494670	4287575	12,00	1,73	2,23	5,50 a 8,50	-3,77 a -6,77

Quadro 5.2 - Parâmetros químicos analisados em 2013

Parâmetro
Inorgânicos não metálicos
Cloretos
Nitratos
Sulfatos
Metais em solução / Catiões maiores
Alumínio - Al
Antimônio - Sb
Arsênio - As
Bário - Ba
Berílio - Be
Boro - B
Cádmio - Cd
Cálcio - Ca
Crômio - Cr
Cobalto - Co
Cobre - Cu
Ferro - Fe
Chumbo - Pb
Lítio - Li
Magnésio - Mg
Manganês - Mn
Mercúrio - Hg
Molibdeno - Mo
Níquel - Ni
Fósforo - P
Potássio - K
Selênio - Se
Prata - Ag
Sódio - Na
Vanádio - V
Zinco - Zn
Hidrocarbonetos Totais do Petróleo - HTP
Hidrocarbonetos Totais do Petróleo
BTEX
Benzeno
Etilbenzeno
Meta-para xileno
Orto-xileno
Tolueno
Compostos Orgânicos Voláteis Halogenados
1.1.1.2-Tetracloroetano
1.1.1-Tricloroetano
1.1-Dicloroetano
1.2.3-Triclorobenzeno
1.2.4-Triclorobenzeno
1.2-Dicloroetano
1.3.5-Triclorobenzeno
1.3-Dicloropropano
2.2-Dicloropropano
2-Clorotolueno
Bromoclorometano
Bromodiclorometano

Parâmetro
Bromofórmio
Clorobenzeno
Clorofórmio
cis-1.2-Dicloroeteno
Dibromoclorometano
Tetracloroetileno (PCE)
Tetraclorometano
trans-1.3-Dicloropropeno
Tricloroetileno (TCE)
Compostos Orgânicos Voláteis não Halogenados
1.2.4-Trimetilbenzeno
1.3.5-Trimetilbenzeno
Isopropilbenzeno
Metil tert-Butil Éter (MTBE)
n-Butilbenzeno
n-Propilbenzeno
p-Isopropiltolueno
sec-Butilbenzeno
Estireno
tert-Butil álcool
tert-Butilbenzeno
Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares (PAHs)
Acenafteno
Acenaftileno
Antraceno
Benzo(a)antraceno
Benzo(a)pireno
Benzo(b)fluoranteno
Benzo(g,h,i)perileno
Benzo(k)fluoranteno
Criseno
Dibenz(a,h)antraceno
Fluoranteno
Fluoreno
Indeno(1.2.3.cd)pireno
Naftaleno
Fenantreno
Pireno
Parâmetros agregados
Índice de fenóis
Soma de 4 PAH (DL 306/2007)

A seleção destes parâmetros teve em consideração dois critérios principais: (1) serem elementos cuja concentração foi superior ao limite de deteção em algum ponto do aquífero basal (23 locais diferentes) ou a valores que devem ser analisados segundo o DL 306/2007 - Qualidade da água destinada ao consumo humano ou (2) serem elementos cuja concentração, embora sempre inferior ao limite de deteção em todos os furos e piezómetros analisados no aquífero basal (23 locais diferentes), apresenta valores assinaláveis em furos ou piezómetros (nos aquíferos suspensos ou no basal) junto a áreas poluídas.

5.2 Resultados obtidos

5.2.1 Considerações gerais

O conjunto de resultados foi analisado à luz da legislação Portuguesa em vigor para os parâmetros definidos para a qualidade das águas subterrâneas na origem, decorrente da aplicação da Diretiva-Quadro da Água (DQA) e da Lei da Água. Para os parâmetros não contemplados naquela legislação foram utilizados os valores paramétricos definidos no Decreto-Lei n.º 306/2007 para a qualidade da água destinada ao consumo humano. Por fim, para os restantes parâmetros não definidos na legislação portuguesa foram utilizadas as normas do Canadá relativas aos *standards* para condições de águas subterrâneas potáveis. Optou-se por esta legislação estrangeira por ser das mais completas, juntamente com a legislação Holandesa, e em sintonia com o definido na legislação imposta pela DQA de definição de *standards* de qualidade na origem. Em síntese, e por sequência, são os utilizados os seguintes documentos normativos:

- NQ - Normas de Qualidade, Anexo I da DAS, DL 208/2008;
- LQ - Limiar de Qualidade, Anexo II e VII da DAS, DL 208/2008 (definido em INAG, 2009);
- VP - Valor Paramétrico, DL 306/2007 Qualidade da água destinada ao consumo humano;
- Canadá - *Standards in a Potable Groundwater Condition* (Table 2).

Procurou-se enquadrar a nova informação obtida durante este Estudo com os trabalhos anteriormente desenvolvidos.

5.2.2 Porta de Armas (Main Gate, Site 3001)

Neste local, e em ambos os períodos de monitorização, foram efetuadas amostragens em oito piezómetros, cinco dos quais localizados dentro do Site 3001, mas próximo do seu limite exterior (MW01, MW02, MW05, S6A e S6B) e três fora desse perímetro (FP3A, FP6A e FP6B). Na Figura 5.2 apresenta-se a projeção destes e de outros pontos anteriormente amostrados em Lobo-Ferreira *et al.* (2010) com interesse na análise global apresentada.

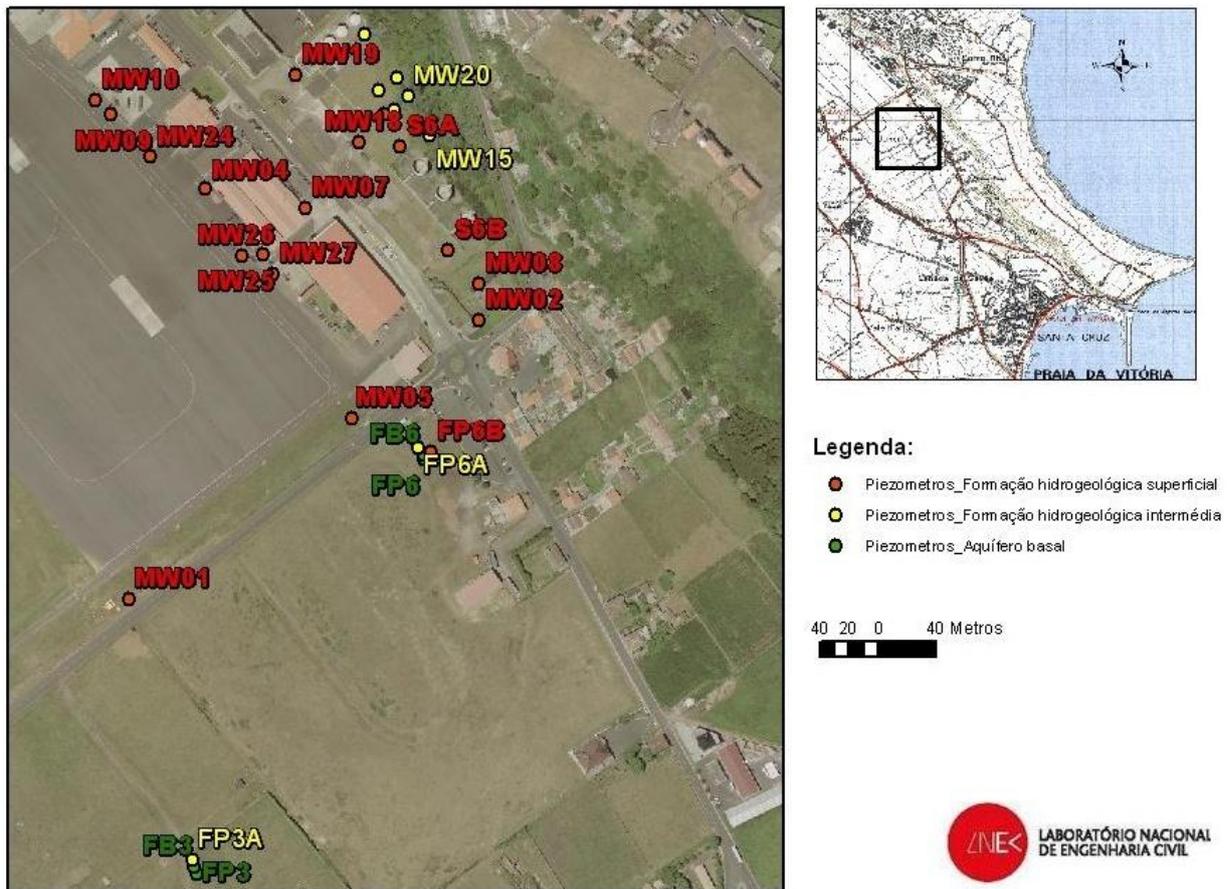


Figura 5.2 - Localização dos piezómetros existentes junto ao Site 3001

Como anteriormente referido, neste estudo o LNEC optou por efetuar amostragens apenas nos piezómetros que captam os aquíferos superficiais, visando caracterizar a eventual presença de hidrocarbonetos retidos nesses níveis com possibilidade de contribuir para uma migração da poluição para níveis inferiores. Nesse contexto, e em todos os pontos, foram recolhidas amostras de água a três profundidades diferentes: (1) uma amostra superficial (S) onde foram efetuadas análises químicas de LNAPL; (2) uma amostra de fundo (F), onde foram efetuadas análises químicas de DNAPL e (3) uma amostra representativa onde foram analisados os restantes parâmetros.

Os resultados obtidos permitem registar a presença de diversos elementos e compostos orgânicos nas formações aquíferas suspensas: (1) PAHs (elementos já anteriormente detetados: acenafteno, antraceno, fluoranteno, fluoreno, naftaleno e fenantreno; só detetados em 2013: acenaftileno e pireno); (2) VOCs (elementos já anteriormente detetados: clorofórmio, 1.2.4-Trimetilbenzeno; só detetados em 2013: Bromodiclorometano, Dibromoclorometano, Tetracloroetileno, Triclorofluorometano, PCE e tert-Butilbenzeno), (3) hidrocarbonetos totais do petróleo já anteriormente detetado: e (4) BTEX (elementos já anteriormente detetados: Etilbenzeno, Meta-para xileno e orto-xileno). A Figura 5.3

representa as concentrações de hidrocarbonetos mais elevadas observadas em cada ponto de água, desde 2010, independentemente da profundidade de recolha. Corresponde, assim, ao pior cenário de poluição. A Figura 5.4 apresenta as concentrações máximas registadas em 2010 e 2013 nos pontos amostrados. Em 2013, nos piezómetros localizados fora do Site 3001, não foram encontrados poluentes.

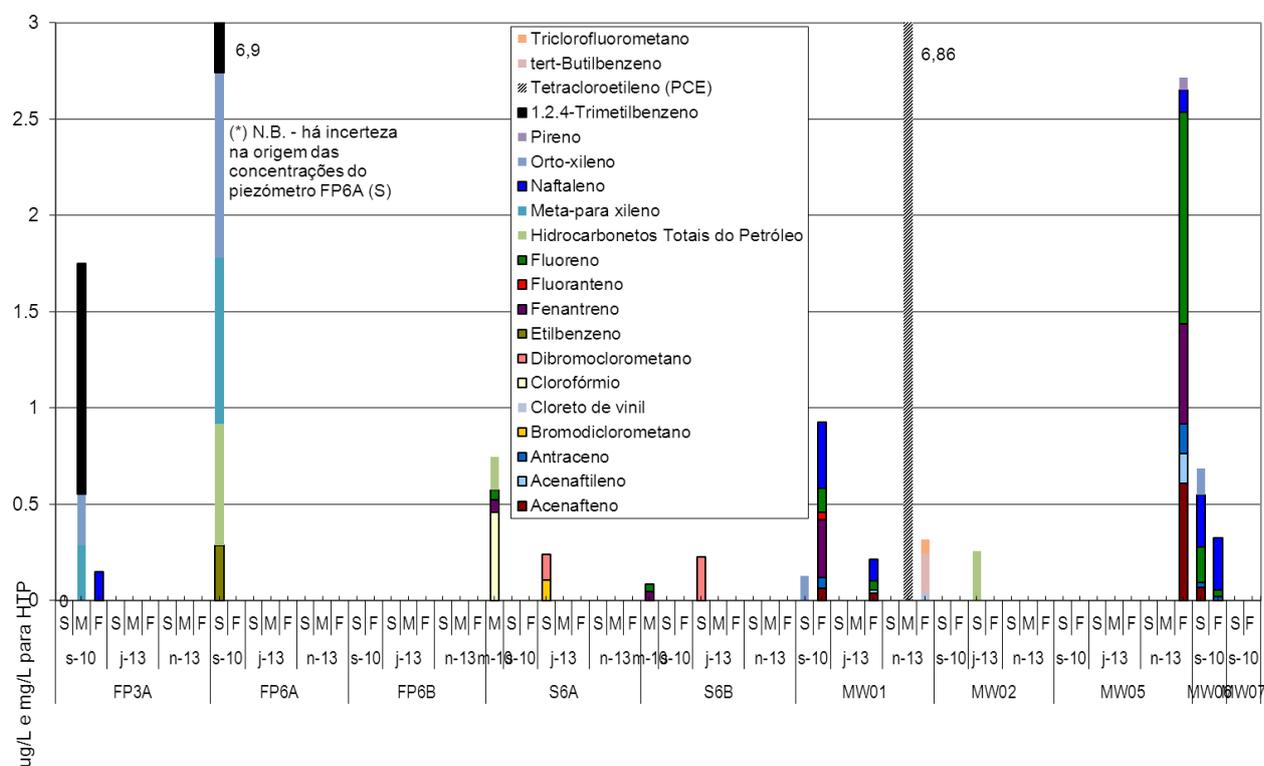


Figura 5.3 - Concentração em PAHs, TPH e BTEX em oito piezómetros localizados nas formações hidrogeológicas superficial e intermédia, dentro e fora do Site 3001

De todas as análises efetuadas em hidrocarbonetos, apenas foi ultrapassado o Limiar de Qualidade [nos termos do Anexo II e VII do DL 208/2008, definido em INAG (2009), no valor de 0,3 µg/L] no ponto MW1, onde a concentração em tetracloroetileno (PCE) apresentou valores de 6,86 µg/L.

No entanto, e apesar de as restantes análises estarem abaixo dos valores *standards*, para os casos em que este existe, não é natural que estes elementos estejam presentes na água, pelo que a sua deteção denuncia, por si só, poluição do local que tem que ser controlada.

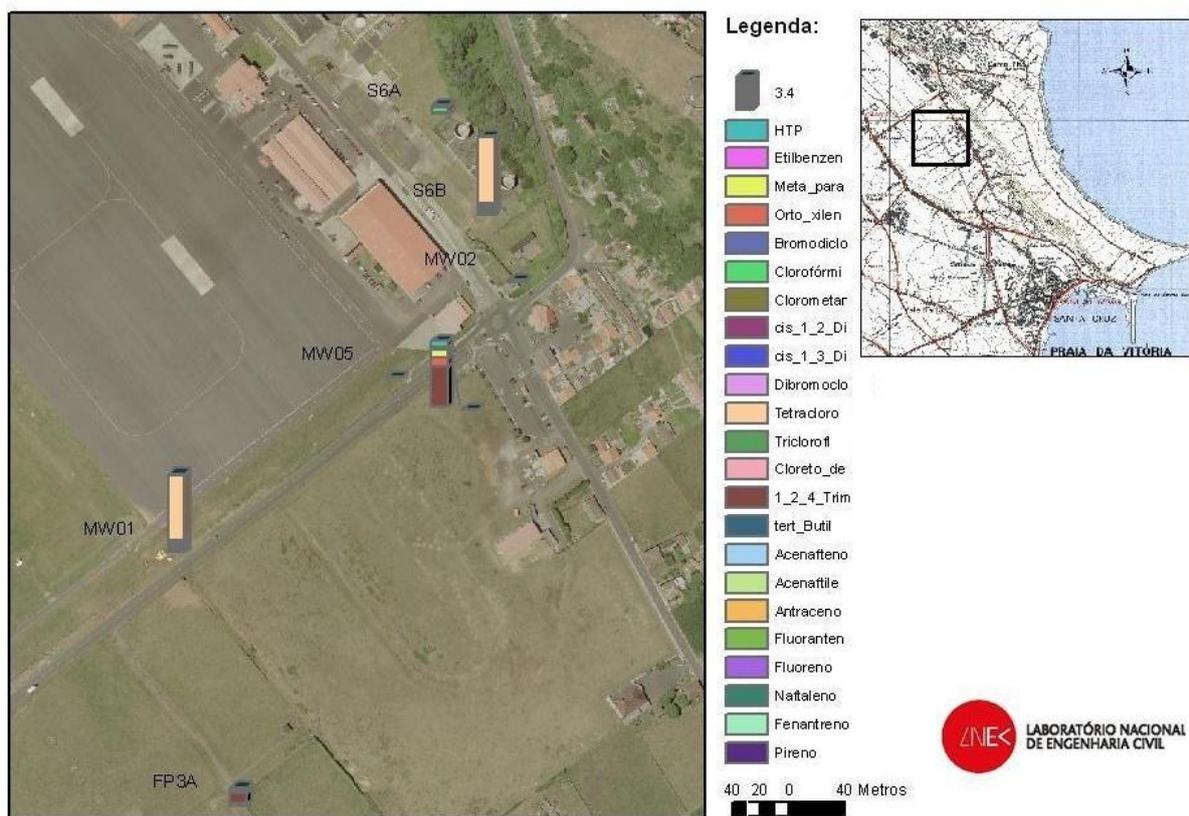


Figura 5.4 - Concentrações máximas registadas em PAHs, TPH e BTEX em oito piezómetros localizados nas formações hidrogeológicas superficial e intermédia, dentro e fora do Site 3001

Os resultados obtidos pelo LNEC, juntamente com os dados de monitorização e de reabilitação semanais obtidos pela FAA, permitem concluir que:

- No Site 3001 há duas plumas principais de TPH com LNAPL sobrenadando as águas subterrâneas, localizadas junto ao MW23 e MW04 e junto ao MW20 e MW03 (Figura 4.2).
- Em diversos pontos dentro do Site 3001 foram encontrados hidrocarbonetos com concentrações acima do permitido.
- Não foram encontrados hidrocarbonetos nos três pontos de monitorização localizados a jusante do Site 3001, em 2013. Em amostragens anteriores foram encontrados alguns hidrocarbonetos, embora não excedendo os limites, para os parâmetros que os têm definidos (cf. Figura 5.3).
- A presença, em algum período, de concentrações de hidrocarbonetos nos piezómetros localizados a sul da Porta de Armas, comprova que o sentido do escoamento subterrâneo nas formações suspensas processa-se, essencialmente, para SSE e que há ligações hidráulicas entre os pontos de concentração de poluentes e os locais monitorizados.
- Observam-se assinaláveis variações nas concentrações entre as amostras

realizadas em diferentes períodos e a diferentes profundidades, resultantes essencialmente da infiltração da água de precipitação e consequente migração de poluentes para níveis inferiores, da oscilação do nível piezométrico e do processo de reabilitação.

5.2.3 South Tank Farm (Site 5001/AOC-1)

A monitorização do Site 5001 foi efetuada através da recolha de amostras de água para análise química em dois piezómetros: FP5 e S5B (cf. Figura 5.5). O seu principal objetivo foi analisar a evolução da situação da qualidade da água a jusante do Site 5001. Atendendo a que os furos de captação de água para consumo humano se localizam a montante, a principal preocupação é proteger a lagoa. Neste local, as captações localizam-se no aquífero basal.

Nos dois pontos foram recolhidas amostras de água a três profundidades diferentes: (1) uma amostra superficial (S) onde foram efetuadas análises químicas de LNAPL; (2) uma amostra de fundo (F), onde foram efetuadas análises químicas de DNAPL e (3) uma amostra representativa onde foram analisados os restantes parâmetros.

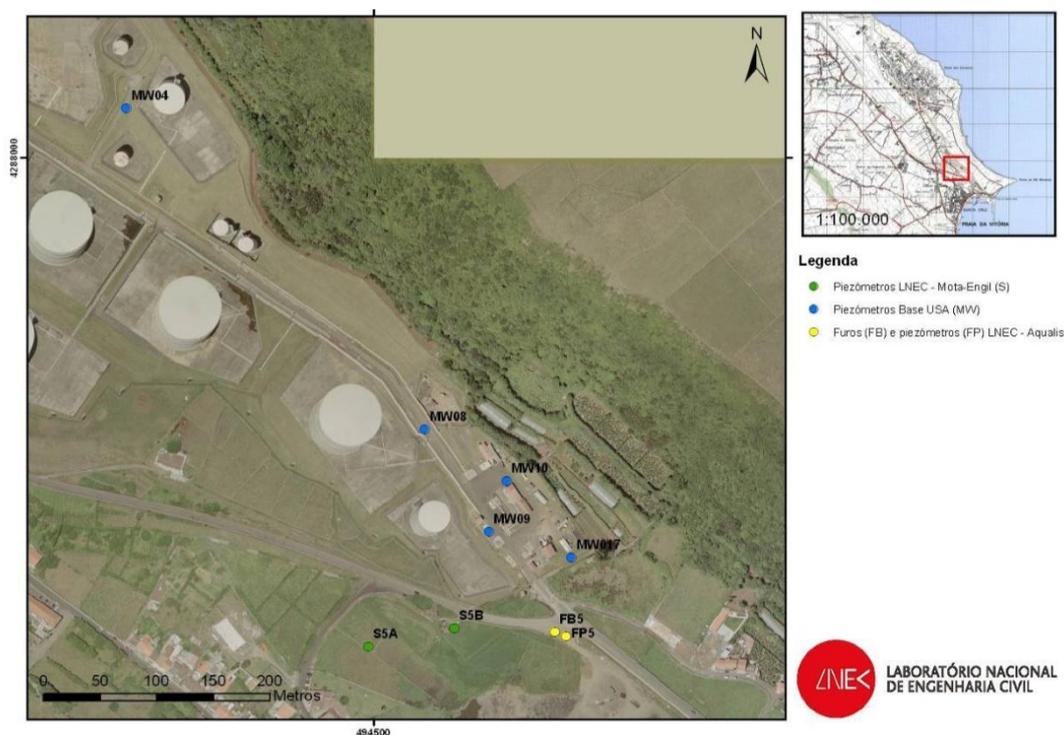


Figura 5.5 - Localização dos pontos de monitorização na área junto à *South Tank Farm* (extraída de Lobo-Ferreira et al. (2010))

Os resultados das análises químicas são apresentados na Figura 5.6. Como se pode observar foram encontrados vestígios de hidrocarbonetos totais de petróleo e de

bromodichlorometano, em concentrações abaixo dos limiares definidos de 0,75 mg/L e de 16 µg/L, respetivamente.

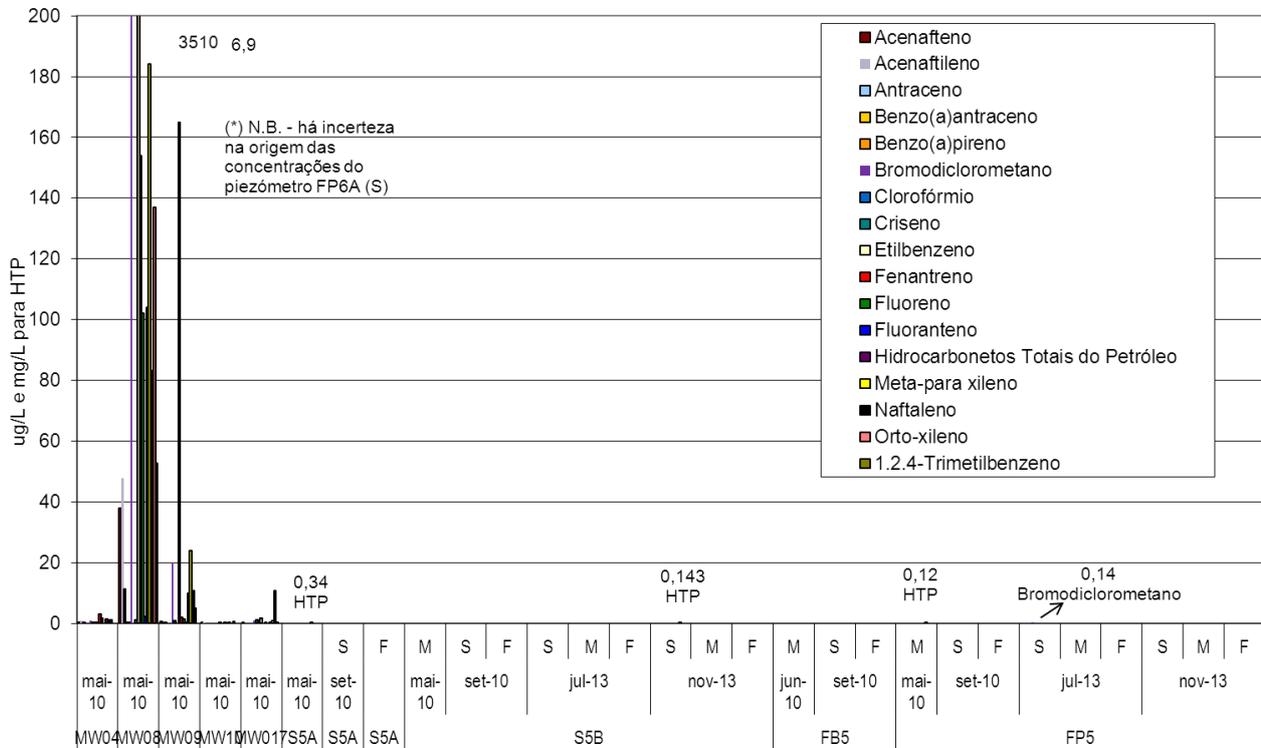


Figura 5.6 - Concentração em PAHs, TPH e BTEX em piezómetros localizados dentro e fora do Site 5001 na área junto à South Tank Farm

Importa seguir a evolução da situação, também nesta área.

6| Monitorização da ligação hidráulica entre diferentes níveis piezométricos

6.1 Descrição do trabalho realizado

Um dos aspetos importantes da compreensão do risco de poluição das águas subterrâneas do aquífero basal é a ligação hidráulica entre os diferentes níveis piezométricos.

Nesse contexto, complementou-se o estudo apresentado na secção 3.2.4 sobre a influência da precipitação nos níveis piezométricos do Local 6. Para tal instalaram-se quatro sondas de registo automático de pressões (que permitem obter os níveis piezométricos), três dentro das colunas de água dos piezómetros FP6B, FP6A e FP6, e outra fora da coluna de água para medição da pressão atmosférica.

Com os novos dados, recolhidos entre 4 de janeiro de 2013 e 28 de abril de 2013, pretendeu-se estudar localmente os processos de recarga e de drenância dos aquíferos existentes.

A localização e as características de cada piezómetro utilizado são apresentadas no Quadro 6.1.

Quadro 6.1 - Localização e características dos piezómetros monitorizados com sondas automáticas

Designação	Coordenada E	Coordenada N	Profundidade do furo (m)	Cota do ponto de medição (m)	Tubos ralos		Profundidade maciço filtrante (m)	Formações monitorizadas
					Profundidade (m)	Cota (m)		
FP6	493495	4289255	60,35	54,06	56,00 - 59,00	-2,44 - -5,44	53,50 – 60,35	Aquífero de base
FP6A	493491	4289262	42,00	54,06	37,00 - 40,00	16,56 - 13,56	36,50 – 41,65	Formações hidrogeológicas intermédias
FP6B	493500	4289260	8,30	54,06	2,00 - 4,00	51,56 - 49,56	1.50 – 8,30	Formações hidrogeológicas superficiais

Os dados recolhidos nos piezómetros foram confrontados com os dados de precipitação diária recolhidos pela Força Aérea Americana (FAA³) na Base Aérea das Lajes e cedidos por esta entidade para este estudo.

As sondas recolheram dados em intervalos de 10 minutos. Dada a quantidade de dados obtida, 144 dados por piezómetro por dia, num total superior a 16500 para cada série

³ Nas figuras utiliza-se a designação USAF (“United States Air Force”)

piezométrica, após a análise preliminar da informação optou-se por se seleccionar o registo das 23:50 de cada dia, reduzindo a dimensão de cada série ao número de dias monitorizados, sem que se tenha perdido a qualidade da informação analisada.

Os dados de pressão registados em cada piezómetro foram corrigidos da pressão atmosférica e, utilizando as profundidades aos níveis piezométricos medidas manualmente em cada piezómetro, foram transformados em profundidade ao nível piezométrico (NP). A Figura 6.1 mostra os resultados obtidos, permitindo uma primeira confrontação visual com a precipitação diária.

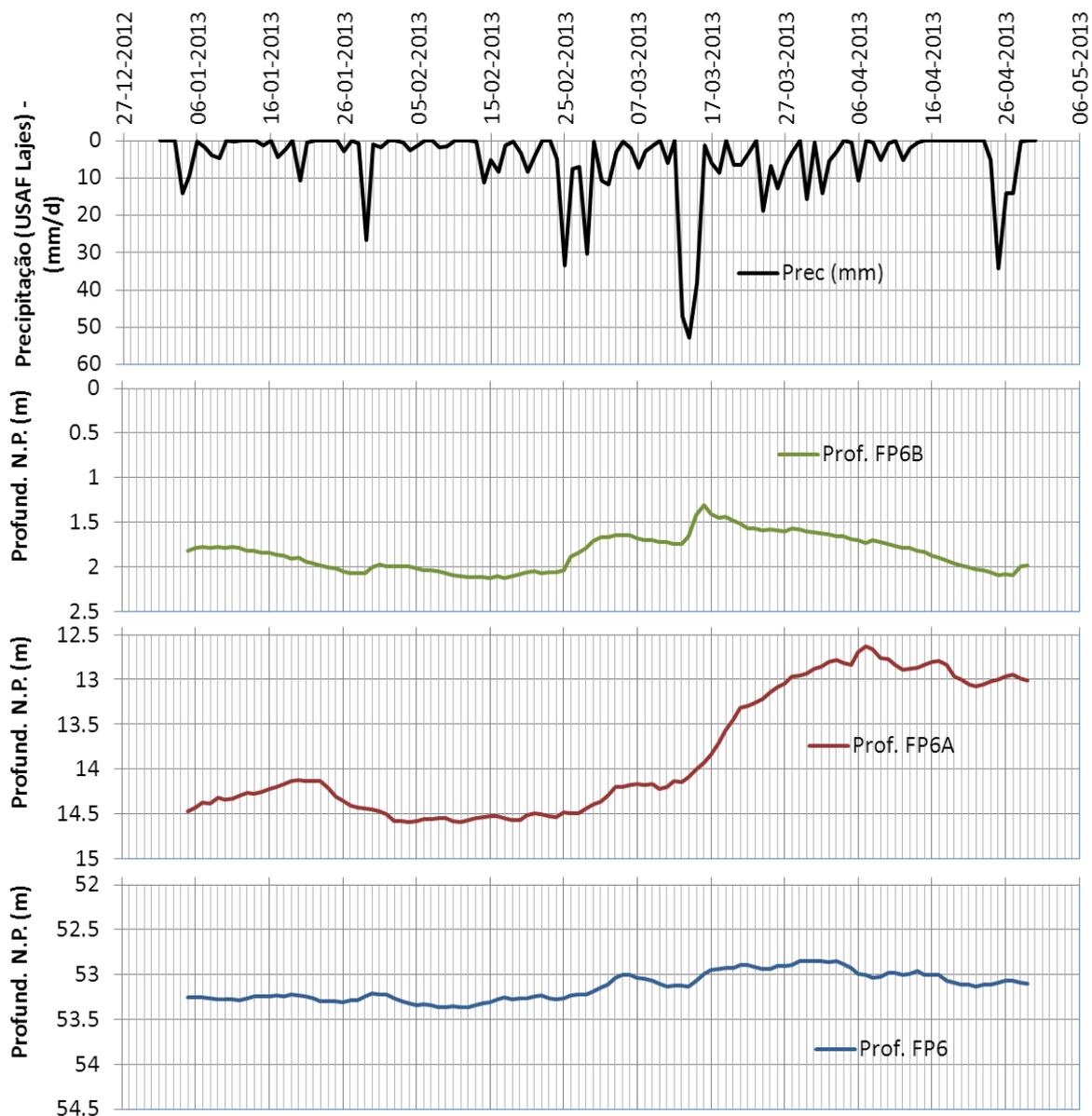


Figura 6.1 - Profundidade do nível piezométrico registada nos piezómetros da família FP6x (sondas LNEC) e precipitação registada nas Lajes (dados FAA) em função do tempo

6.2 Fatores que condicionam a variação do nível piezométrico

Para se compreender de que forma o NP varia em função do tempo é preciso ter em atenção que, para as condições existentes na área em análise, a variação do NP (ΔNP), que corresponde à variação do armazenamento de água subterrânea no aquífero em questão, depende de vários fatores.

Considerando um volume de controlo cilíndrico vertical cujo topo e a base são definidas pelo nível piezométrico e a base do aquífero, respetivamente, e cuja área da secção horizontal corresponde a uma circunferência centrada no local onde se situam os piezómetros, esses fatores são, para o caso das formações hidrogeológicas superficiais, situadas até aos 8,30 m de profundidade (furo FP6B):

- Fatores que fazem subir o NP:
 - **R**: a água que recarrega o aquífero (por escoamento vertical descendente na zona vadosa sobrejacente às formações – a água que alimenta este escoamento vertical descendente será neste caso a água da chuva deduzida da água que evapotranspira a partir do solo ou que nele fica armazenado, mais a água proveniente das perdas de condutas de água)
 - **E_{be}**: escoamento subterrâneo horizontal afluente às formações em análise
- Fatores que fazem descer o NP:
 - **E_{b2s}**: drenância por escoamento vertical descendente através das formações que constituem a base das formações hidrogeológicas superficiais recarregando formações hidrogeológicas inferiores)
 - **E_{bs}**: escoamento subterrâneo horizontal de saída (que pode ser incrementado se nas proximidades houver extrações de águas subterrâneas das formações hidrogeológicas superficiais, descarga para a superfície, ou percolação em profundidade).

No caso das formações hidrogeológicas intermédias monitorizadas, entre os 36,5 m e os 40 m de profundidade (furo FP6A), os fatores que fazem subir ou descer o NP são semelhantes às das formações hidrogeológicas superficiais, contudo, o fator **R** deve ser substituído pelo fator **E_{b2e}**, correspondente ao escoamento vertical descendente de entrada nestas formações hidrogeológicas, e que, por analogia, corresponde à recarga destas formações.

Finalmente, no caso do aquífero de base, situado abaixo dos 52 m (furo FP6), os fatores que condicionam a subida ou descida do NP são semelhantes aos das formações hidrogeológicas intermédias monitorizadas, podendo-se contudo assumir que no aquífero de base, a descida dos NP se deve exclusivamente ao escoamento subterrâneo de saída.

Podem escrever-se as seguintes equações de balanço hídrico, com as unidades expressas em altura de água (ou volume de água por área da secção horizontal do volume de controlo):

- Formações hidrogeológicas superficiais: $\Delta NP \cdot ne = R + E_{be} - E_{b2s} - E_{bs}$
- Formações hidrogeológicas intermédias: $\Delta NP \cdot S = E_{b2s} + E_{be} - E_{b2s} - E_{bs}$
- Aquífero de base: $\Delta NP \cdot S = E_{b2s} + E_{be} - E_{bs}$

Nas equações apresentadas **ne** e **S** representam respetivamente a porosidade eficaz média (aplicável no caso de formações livres) e o coeficiente de armazenamento médio (aplicável no caso de formações confinadas), representando a quantidade de água que uma coluna vertical de aquífero liberta ou armazena quando o seu nível piezométrico diminui ou aumenta 1 m. Na prática, desenvolvendo-se uma zona não saturada acima de todas as formações hidrogeológicas analisadas, **S** deverá ser substituído por **ne** em todas as equações,

Assim, a interpretação da evolução dos NP ao longo do tempo tem que ser vista como uma soma algébrica dos vários processos identificados como possíveis para os dados em análise, significando exemplificativamente, entre outros, que uma subida do nível registada ao final de um dia no piezómetro que mede as formações hidrogeológicas superficiais se deve à recarga que ocorreu, acrescida da diferença entre o escoamento subterrâneo de entrada e o de saída, e deduzida da drenância que ocorreu para as formações hidrogeológicas subjacentes.

Por sua vez, a recarga das formações hidrogeológicas superficiais relaciona-se com a precipitação, com eventuais perdas de água que possam existir em condutas que cruzem o volume de formações geológicas sobrejacentes ao volume de controlo das formações hidrogeológicas superficiais, com a água utilizada para evapotranspiração ou que fica retida no solo não drenando por ação da gravidade.

6.3 Tratamento e análise da informação

Uma vez que o intervalo de variação dos NP é diferente em cada piezómetro, e para mais facilmente se comparar o andamento das várias curvas, normalizaram-se as profundidades dos níveis piezométricos (P_{NP}) de cada piezómetro de acordo com a equação $P_{NPn} = P_{NP} - x / s$, sendo **x** e **s**, respetivamente a média e o desvio padrão das P_{NP} registadas em cada piezómetro, representando o índice **n** o valor normalizado. O Quadro 6.2 apresenta os parâmetros de normalização calculados e aplicados. A vantagem desta normalização é que permite comparar, numa mesma escala, as três P_{NP} facilitando a análise visual (Figura 6.2).

Quadro 6.2 - Parâmetros de normalização das séries de profundidade ao nível piezométrico

Piezômetro	Média (\bar{x})	Desvio padrão (s)
FP6B	1,84	0,20
FP6A	13,84	0,70
FP6	53,13	0,15

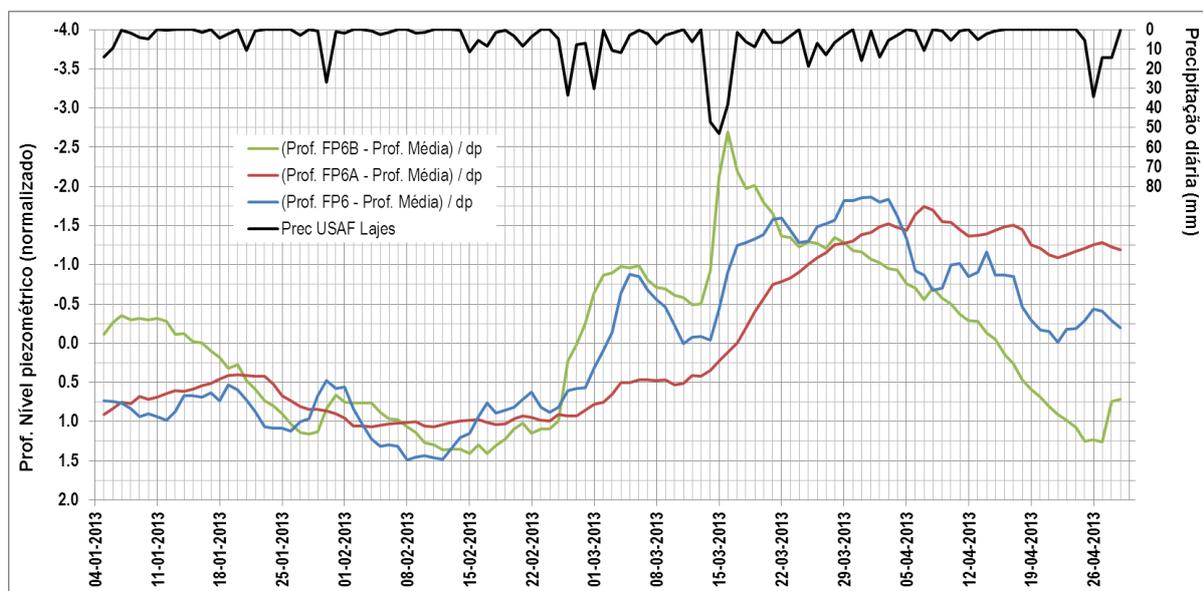


Figura 6.2 - Profundidade do nível piezométrico normalizada registrada nos piezômetros da família FP6x (sondas LNEC) e precipitação registrada nas Lajes (dados FAA) em função do tempo

Se a reação dos piezômetros à precipitação, ao longo do tempo, fosse a mesma, ainda que os três níveis aquíferos em análise tivessem características de porosidade eficaz diferentes, haveria uma sobreposição das três curvas.

Uma correlação que se pode procurar é entre a precipitação que ocorre num dia e a variação do nível piezométrico entre o final e o início desse dia. É de esperar que, para elevadas precipitações, ocorra uma subida do NP e para precipitações nulas ou reduzidas ocorra uma descida do NP. A Figura 6.3 ilustra de que forma se processaram as variações dos NP nos três piezômetros em função da precipitação ocorrida e do tempo.

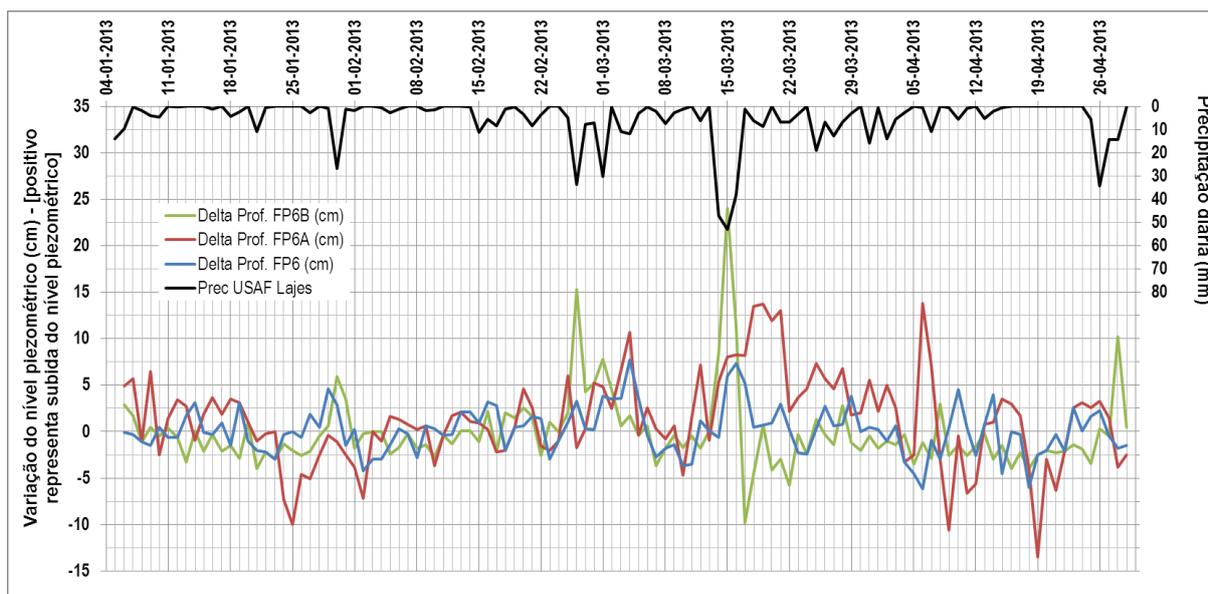


Figura 6.3 - Variação do nível piezométrico registada durante o dia nos piezómetros da família FP6x (sondas LNEC) e a precipitação registada nas Lajes (dados FAA) em função do tempo

Independentemente da precipitação não ser a única causa da variação dos NP pode-se procurar estabelecer relações entre os vários processos em curso e a precipitação que, no fundo, representará a principal origem de água do sistema. Esta análise é apresentada no ANEXO V.

6.4 Resultados obtidos

No seu conjunto analisaram-se seis situações distintas, sumarizadas no Quadro 6.3, que apresenta também os coeficientes de determinação (ou quadrados dos coeficientes de correlação) obtidos pelas diversas análises realizadas.

As seis situações analisadas partiram do princípio que os NP registados nas formações hidrogeológicas subjacentes não afetam os NP registados acima.

Assim, no caso dos dados do piezómetro FP6B confrontaram-se as variações diárias dos NP com as precipitações diárias.

No caso do piezómetro FP6A confrontaram-se as suas variações diárias de NP, quer com a precipitação ocorrida no mesmo dia, quer com a variação no mesmo dia dos NP no piezómetro FP6B.

Finalmente, no caso do piezómetro FP6, confrontaram-se as variações diárias do seu NP com a precipitação ocorrida no mesmo dia, com a variação no mesmo dia dos NP do piezómetro FP6B, e com a variação no mesmo dia dos NP do piezómetro FP6A.

Os resultados mostram uma correlação significativa entre as variações diárias dos níveis piezométricos determinadas para o piezómetro FP6B e a precipitação ocorrida nos mesmos dias registada nas Lajes, e uma ausência de correlação entre as variações de níveis registadas nos restantes piezómetros (FP6A e FP6) e a precipitação ou as variações dos NP calculadas para os piezómetros instalados acima.

Assim, verifica-se uma boa resposta das formações hidrogeológicas superficiais à entrada de água no sistema subterrâneo por infiltração da água da chuva, não sendo possível verificar uma resposta em tempo equivalente dos restantes níveis piezométricos analisados.

A ausência de correlação poderá dever-se ao facto de haver escoamento vertical descendente através das camadas menos permeáveis subjacentes às formações hidrogeológicas intermédias e ao aquífero de base mas este ser diferido no tempo, levando a uma homogeneização da taxa do fluxo de chegada materializada pela variação dos níveis piezométricos destas formações.

Quadro 6.3 - Coeficientes de determinação (quadrado dos coeficientes de correlação) obtidos entre as variações dos níveis piezométricos ou a precipitação

Meio subterrâneo analisado	Relação entre o meio subterrâneo analisado e...	Considerando toda a série de precipitação ¹⁾	Considerando os dias com precipitação / com descida do NP no piezómetro referido ²⁾	Considerando os dias sem precipitação / com subida do NP no piezómetro referido ³⁾
Aquífero suspenso superior (FP6B)	Precipitação	0,513 / 0,613	0,575 / 0,626 / 0,655	0,034 / 0,312 / 0,696
Formações geológicas intermédias (FP6A)	Precipitação	0,094 / 0,076	0,065 / 0,003 / 0,023	0,0007 / 0,0112 / 0,00003
	Aquífero suspenso superior (FP6B)	0,015 / 0,011	0,028 / 0,055 / 0,152	0,0181
Aquífero basal (FP6)	Precipitação	0,175 / 0,199	0,140 / 0,126 / 0,185	0,026 / 0,030 / 0,237
	Aquífero suspenso superior (FP6B)	0,086 / 0,143	0,030 / 0,038 / 0,067	0,164
	Formações geológicas intermédias (FP6A)	0,096 / 0,056	0,051 / 0,012 / 0,003	0,046

Os valores destacados em **negrito** representam coeficientes de correlação elevados (o coeficiente de correlação é a raiz quadrada do coeficiente de determinação).

1) Primeiro valor: todos os dados / Segundo valor: apenas variações positivas.

2) No caso de precipitação – Primeiro valor: precipitação não nula / Segundo valor: precipitação superior a 5 mm / Terceiro valor: precipitação > 10 mm; No caso de descida do NP – Primeiro valor: todos os valores / Segundo valor: descida de NP no piezómetro comparado > 1 cm / Terceiro valor: descida de NP no piezómetro comparado > 2 cm.

3) No caso de precipitação – Primeiro valor: todos os dados com precipitação do dia nula / Segundo valor: somente dados para precipitação do dia e anterior nula / Terceiro valor: somente dados para precipitação do dia e 2 dias anteriores nula; No caso de subida do NP – valor único: todos os casos.

Tendo em conta a razoável relação entre a variação dos NP das formações hidrogeológicas superficiais e a precipitação registada nas Lajes, procurou-se com base nos resultados obtidos obter uma estimativa da porosidade eficaz (**ne**) das formações hidrogeológicas superficiais. No caso de toda a precipitação constituir recarga do aquífero, o nível deste vai

e elevar-se até um determinado valor, função de ne , e a relação entre a precipitação e a variação do NP é uma estimativa direta de ne : $R = P = \Delta NP \cdot ne \Leftrightarrow ne = P / \Delta NP$. Esta transformação do total da precipitação em variação do NP ocorre principalmente quando o armazenamento do solo sujeito a evapotranspiração já se encontra preenchido. No caso de se poder desprezar os outros processos de entrada ou saída de água (perdas de condutas, **Ebe**, **Ebs** e **Eb2s**), pode-se assumir que a variação do NP é função apenas da precipitação. Na realidade isto pode não acontecer, mas em princípio, quanto maior a precipitação, maior é a importância relativa do processo de recarga e menor o peso que os outros processos têm.

No caso da água de precipitação preencher o armazenamento do solo, não sendo apenas recarga, a variação do NP vai ser menor e a relação $P / \Delta NP$ terá um valor maior. Assim, se se considerar os valores mais elevados de precipitação que garantirão que o armazenamento do solo já está preenchido, os menores valores da relação $P / \Delta NP$ são os que garantem que toda a água de recarga aumentou o armazenamento do aquífero.

Utilizando os valores mais elevados de precipitação fez-se a sua projeção contra a relação $P / \Delta NP$ (Figura 6.4). Os dois valores mais baixos encontrados coincidem e são de 22%, podendo assim admitir-se que este valor traduz a porosidade eficaz das formações hidrogeológicas superficiais. É no entanto de notar que, existindo simultaneamente drenância para as formações subjacentes, a variação do NP devida à recarga teria sido superior à que foi medida. Assim, o valor de 22% poderá ser uma estimativa por excesso da porosidade eficaz.

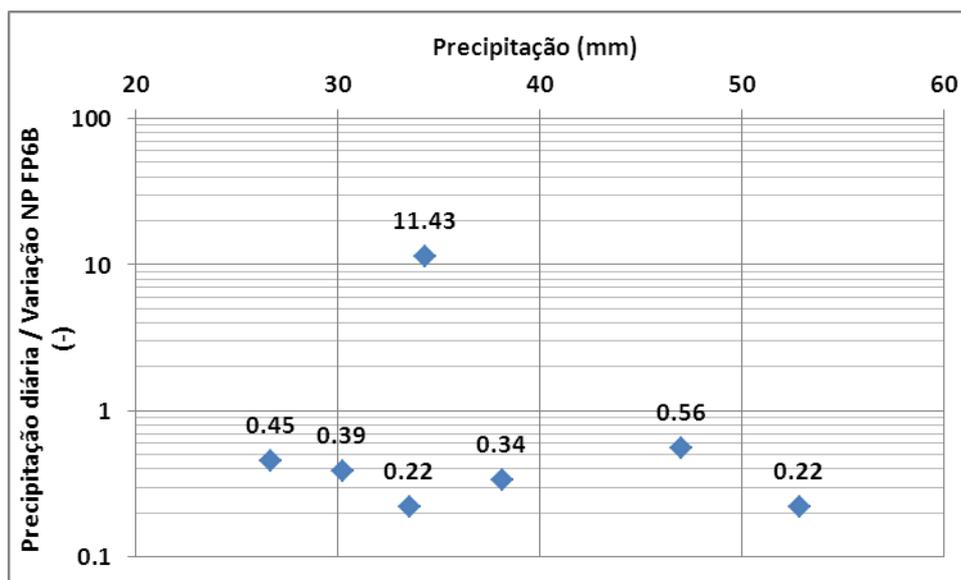


Figura 6.4 - Relação “precipitação registrada nas Lajes (dados FAA) / Variação do NP no piezômetro FP6B (sonda LNEC)” em função dos valores mais elevados de precipitação registrada nas Lajes

Para o período analisado (4 de janeiro de 2013 a 28 de abril de 2013), considerando todas as variações positivas (subidas) do NP medidas no piezómetro FP6B e utilizando o valor de porosidade eficaz de 22%, estimam-se as entradas de água (essencialmente recarga) em 291 mm, o que representa, para a precipitação de 615 mm ocorrida neste período uma taxa de recarga de 47% (exclui-se das origens de água a possibilidade de perdas em eventuais condutas de água).

Com base na totalidade dos casos com descida do NP é possível estabelecer um valor por defeito da drenância ou do escoamento subterrâneo lateral de saída gerado dentro do volume de controlo. Assim, utilizando igualmente o valor de porosidade eficaz apresentado anteriormente, estimam-se as saídas em 328 mm.

A diferença entre os valores de entradas e de saídas corresponde à variação negativa da água armazenada nas formações hidrogeológicas superficiais, materializada pela descida do nível piezométrico.

Finalmente, considerando o valor de porosidade eficaz determinado para as formações hidrogeológicas superficiais, é possível estimar, com base em períodos de descida do NP com ausência de precipitação, valores da capacidade de saída de água (por drenância ou por escoamento subterrâneo) destas formações. O Quadro 6.4 mostra os cálculos realizados para três períodos de descida, onde se estimam valores de 3 a 5 mm/dia (obtidos multiplicando a taxa de descida do NP (descida do NP / tempo de descida) pela porosidade eficaz)

Quadro 6.4 – Taxa de saída de água das formações hidrogeológicas superficiais (por drenância e/ou escoamento subterrâneo lateral) para períodos de ausência de precipitação

Data	Prof. FP6B (m)	Descida NP (m)	Taxa de descida do NP (m/dia)	Taxa de saída (mm/dia)
10-01-2013 23:50	1,777	0,059	0,0148	3,25
14-01-2013 23:50	1,836			
22-01-2013 23:50	1,986	0,059	0,0197	4,33
25-01-2013 23:50	2,045			
15-04-2013 23:50	1,869	0,185	0,0231	5,09
23-04-2013 23:50	2,054			

Nota: porosidade eficaz, $n_e = 22\%$

Constata-se que estas taxas de saída de água, com possível transporte de poluentes, são superiores aos valores de recarga anual, razão pela qual é fundamental a remoção total dos poluentes detetados nas formações hidrogeológicas suspensas, uma vez que se não forem retirados, se infiltrarão podendo vir a atingir a médio prazo o aquífero de base.

7| Mapeamento regional de perímetros de proteção de captações para o abastecimento público

7.1 Considerações iniciais

Um dos aspetos analisados no decorrer deste estudo foi o mapeamento regional dos perímetros de proteção de água para consumo humano (concelho de Praia da Vitória) de forma a avaliar as eventuais restrições de utilidade pública ao uso e transformação do solo, de forma a salvaguardar a qualidade das águas subterrâneas captadas, considerando a definição de zonas de proteção de captações destinadas ao abastecimento público de água obrigatórias, pelo Decreto-Lei n.º 382/99, de 22 de Setembro. Para esse efeito foi utilizado o método desenvolvido em Krijgsman e Lobo-Ferreira (2001).

A análise efetuada é apresentada em Henriques *et al.* (2013) e contém um enquadramento legislativo, a caracterização geológica e hidrogeológica da área em estudo, incluindo uma breve descrição da vulnerabilidade e do risco das águas subterrâneas à poluição (tendo em conta as fontes de poluição identificadas em estudos anteriores) e a definição de perímetros de proteção de captações de água subterrânea usando o método desenvolvido por Krijgsman e Lobo-Ferreira (2001).

O trabalho foi aplicado em SIG e permitiu fornecer gamas de valores para os perímetros das zonas de proteção constituindo assim uma alternativa ao método do Raio Fixo Calculado referido na legislação portuguesa (Decreto-Lei 382/99, de 22 de Setembro). Da sua aplicação resultou o mapeamento das diferentes zonas de proteção para os caudais de exploração de 5L/s e 10 L/s.

Apresenta-se uma síntese dos aspetos mais relevantes de Henriques *et al.* (2013) e com interesse para este trabalho.

7.2 Dados de entrada

O método de Krijgsman e Lobo-Ferreira foi aplicado na definição da zona de proteção intermédia ($t = 50$ dias) e alargada ($t = 3500$ dias). A informação utilizada foi a seguinte:

- O mapa do gradiente hidráulico (i) foi obtido utilizando os dados importados do modelo numérico desenvolvido por Lobo-Ferreira *et al.* (2010).
- A condutividade hidráulica (K) foi obtida por extrapolação dos valores de K estimados através da análise dos ensaios de bombagem efetuados no âmbito do trabalho de Lobo-Ferreira *et al.* (2010). Atribuiu-se um valor médio de 50 m/d na

área a seguir à falha de Santiago até à costa e um valor de médio de 600 m/d na área a oeste dos locais de ensaios - Figura 7.1.

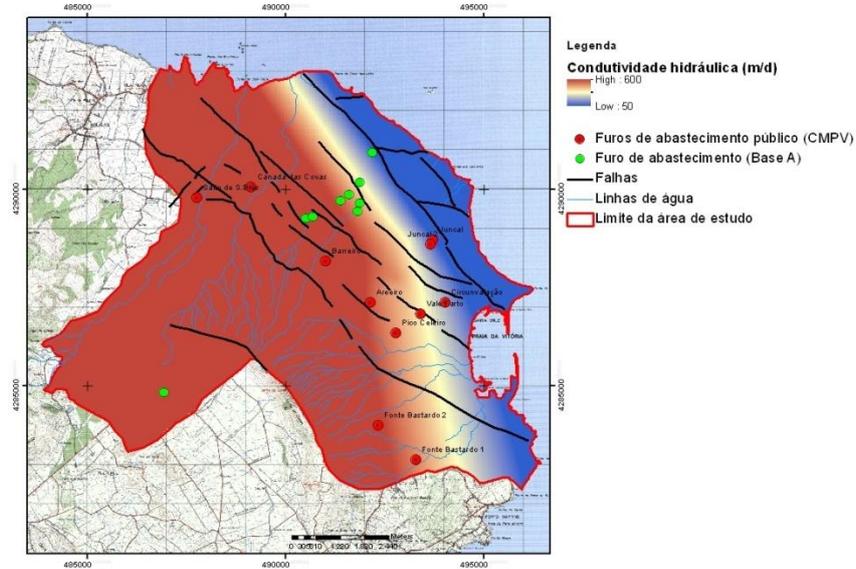


Figura 7.1 - Condutividade hidráulica (aquífero basal) (extraída de Henriques *et al.*, 2013)

- A **espessura saturada (b)** do aquífero através da relação de Ghyben-Herzberg, multiplicando-se a cobertura da superfície piezométrica por 40 e somando-se à cobertura resultante o nível piezométrico - Figura 7.2.

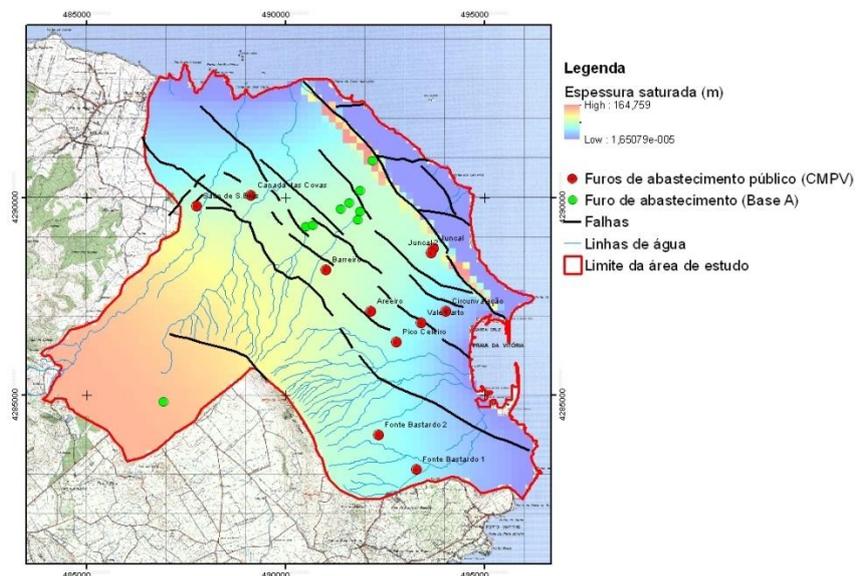


Figura 7.2 - Espessura saturada (b) das formações aflorantes (extraída de Henriques *et al.*, 2013)

- Para a **porosidade eficaz (n)** atribuíram-se os valores da porosidade eficaz com base nas características das litologias que afloram de acordo com a caracterização efetuada por Lobo-Ferreira *et al.* (2010) - Figura 7.3.

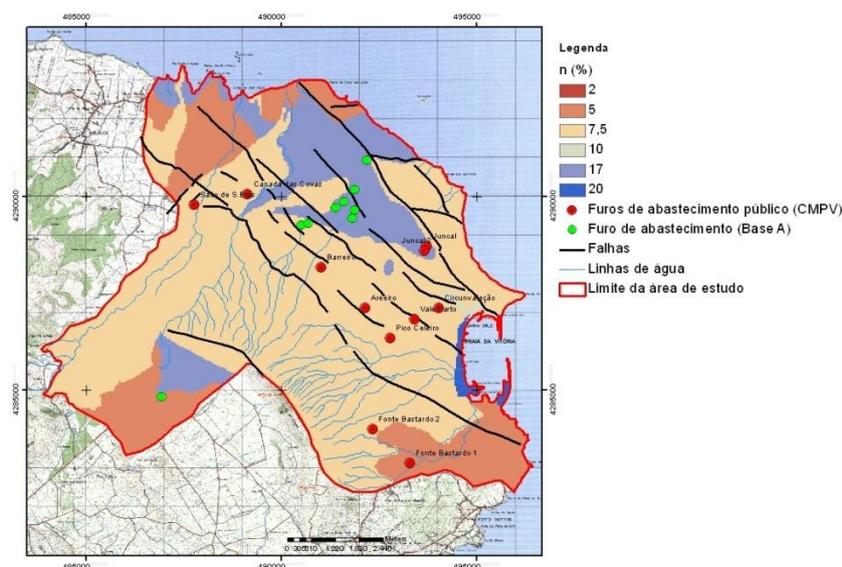


Figura 7.3 - Porosidade eficaz (n) das formações aflorantes (extraída de Henriques *et al.*, 2013)

- Relativamente aos **caudais de extração (Q)**, tomando como base de referência os valores apresentados no Quadro 5 consideraram-se os caudais de 5 L/s (= 432 m³/d) e 10 L/s (= 864 m³/d) a utilizar na determinação dos perímetros de proteção.

7.3 Análise dos resultados

Segundo Henriques *et al.* (2013), a aplicação do método permitiu o registo de variações para as zonas de proteção correspondentes aos caudais de exploração de 5 L/s e de 10 L/s permitindo concluir que quanto maior é o caudal de extração, maiores são as distâncias de proteção. Contudo esta relação não se verificou em alguns pontos para o tempo de propagação de 3500 dias. Em alguns casos, os valores do raio mínimo e raio máximo diminuíram com o aumento dos caudais. Estes valores estão essencialmente localizados em zonas da área de estudo em que os valores de espessura saturada são elevados ou muito baixos. Nas áreas onde os valores de K são mais elevados (em conjunto com espessuras saturadas elevadas e gradientes muito baixos) o valor das distâncias de proteção tendem também a diminuir com o aumento do caudal.

Também a incerteza associada aos valores de K (obtidos por extrapolação de poucos valores conhecidos na área de estudo) conduz a maiores distâncias de proteção em particular para valores muito elevados deste parâmetro hidráulico que resulta numa maior área de solicitação pontual (por captação).

Relativamente à variação de b , a variação das distâncias de proteção é maior para pequenos valores de b , principalmente junto à costa onde as cotas piezométricas se situam muito próximas do nível médio do mar.

Por outro lado, a incerteza associada aos valores de K (obtidos por extrapolação dos poucos valores conhecidos na área de estudo) conduz a maiores distâncias de proteção em particular para valores muito elevados deste parâmetro hidráulico que resulta numa maior área de solicitação pontual (por captação).

Em síntese concluiu-se que a associação de dados de entrada com valores muito variáveis em termos espaciais, traduzem os resultados obtidos por aplicação do método na área de estudo, sendo que a variação de um dos parâmetros pode resultar num valor de X muito diferente, e conseqüentemente a distâncias de proteção (raio máximo, mínimo e perpendicular) diferentes.

A título de exemplo de aplicação, os autores selecionaram a captação Juncal 1 para a representação dos limites das zonas de proteção intermédia e alargada. Os valores de raio máximo, mínimo e perpendicular foram obtidos pontualmente do mapeamento efetuado (Figura 7.4 a Figura 7.9) e representados num sistema de informação geográfica de acordo com o especificado no método. A Figura 7.10 apresenta o perímetro de proteção intermédio e alargado em redor da captação Juncal 1 para o caudal de 5 L/s e para o caudal de 10 L/s.

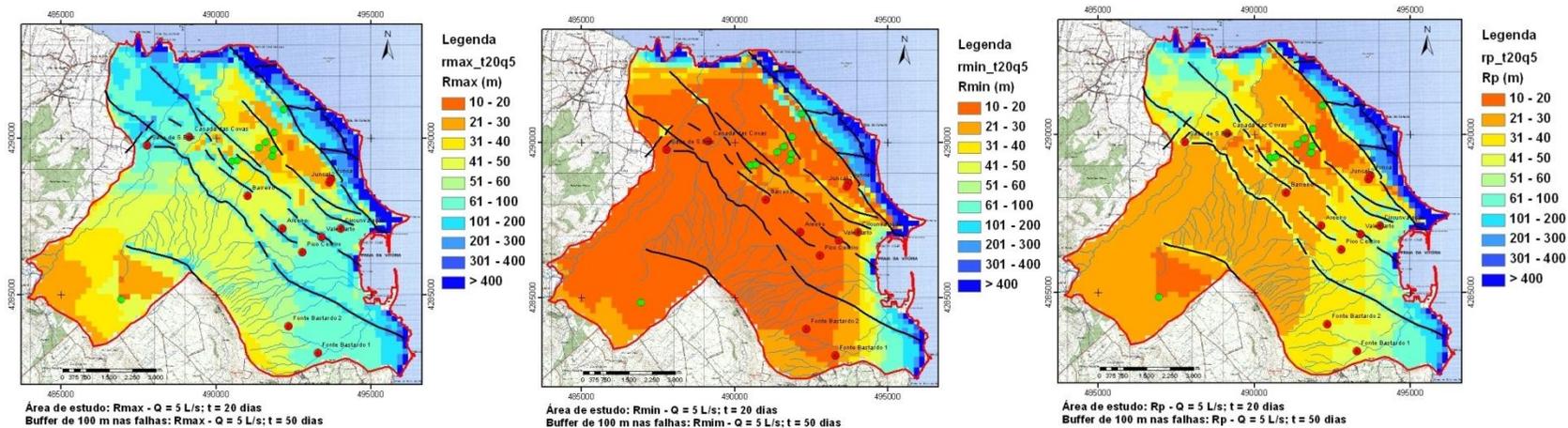


Figura 7.4 - Raio de proteção máximo, mínimo e perpendicular para t = 20 dias e caudal de 5 L/s (extraída de Henriques *et al.*, 2013)

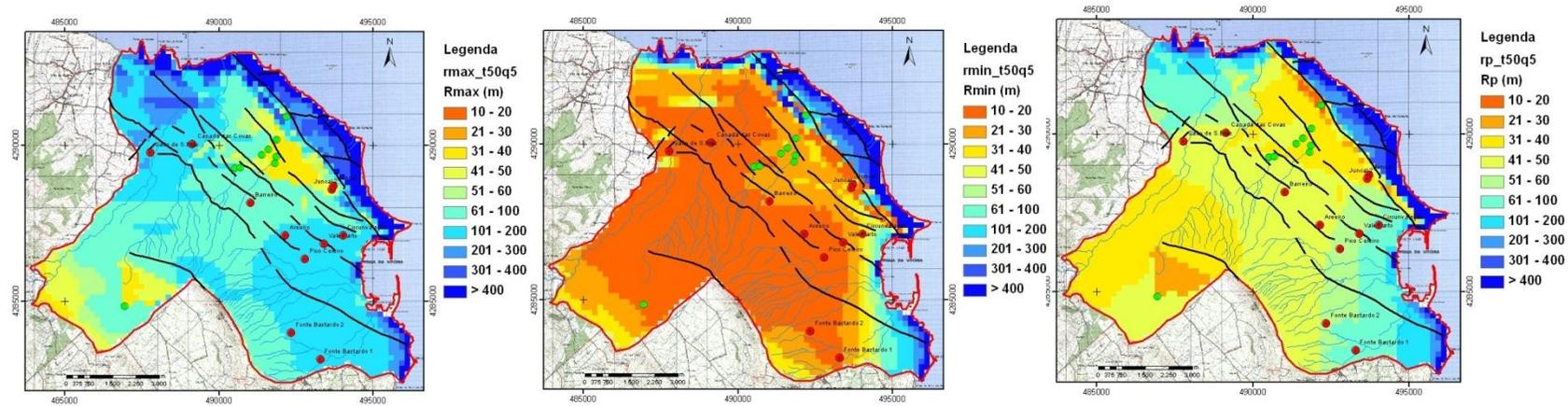


Figura 7.5 - Raio de proteção máximo, mínimo e perpendicular para a zona intermédia e caudal de 5 L/s (extraída de Henriques *et al.*, 2013)

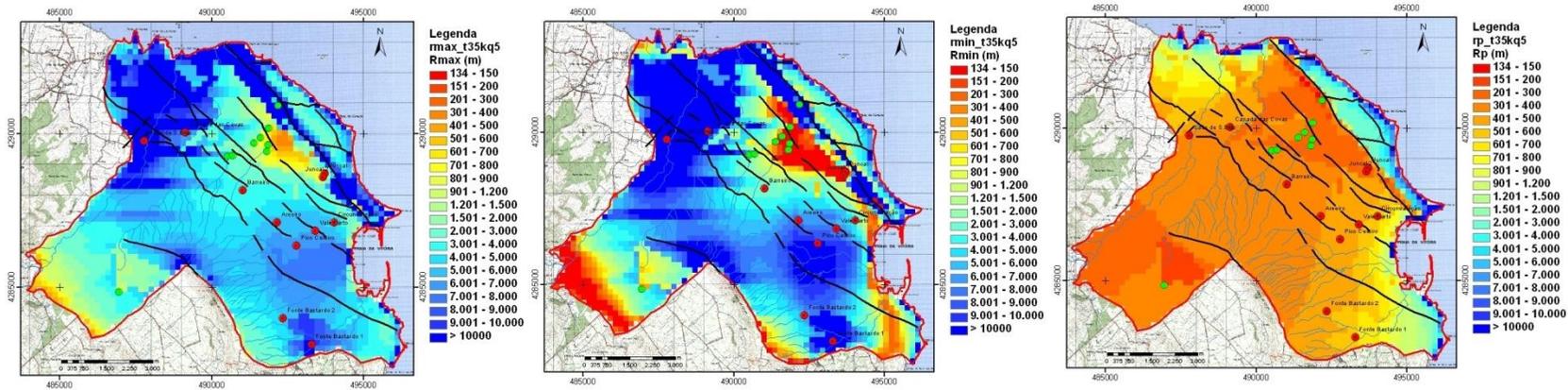


Figura 7.6 - Raio de proteção máximo, mínimo e perpendicular para a zona alargada e caudal de 5 L/s (extraída de Henriques *et al.*, 2013)

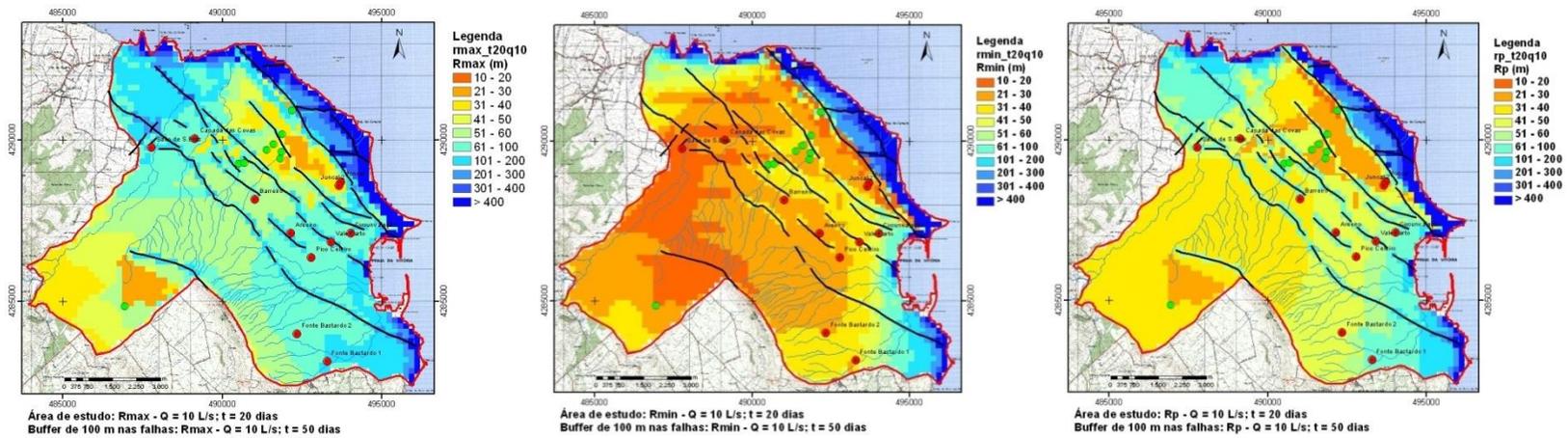


Figura 7.7 - Raio de proteção máximo, mínimo e perpendicular para t = 20 dias e caudal de 10 L/s (extraída de Henriques *et al.*, 2013)

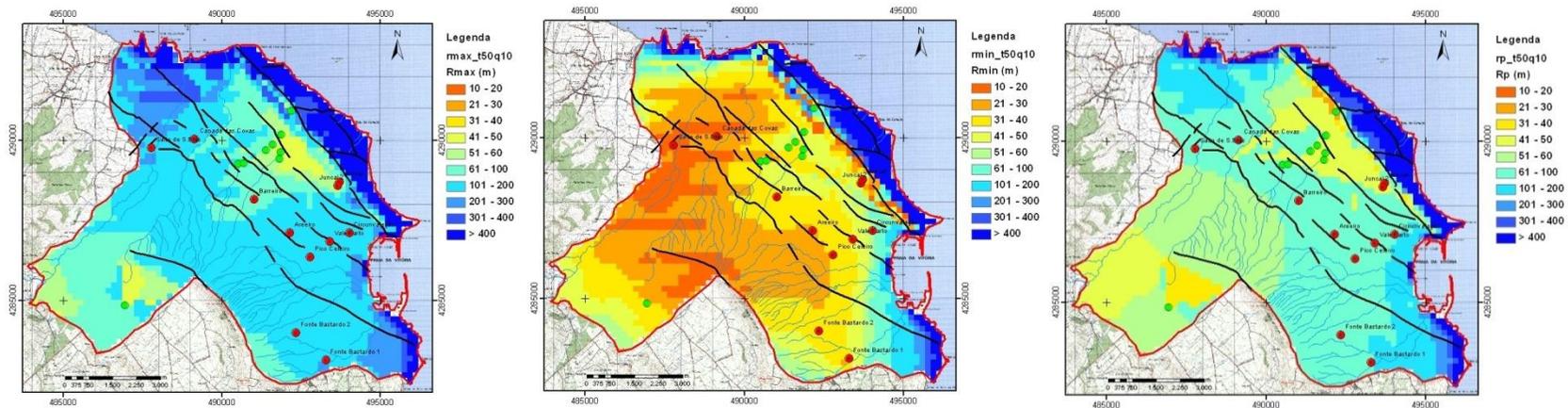


Figura 7.8 - Raio de proteção máximo, mínimo e perpendicular para a zona intermédia e caudal de 10 L/s (extraída de Henriques *et al.*, 2013)

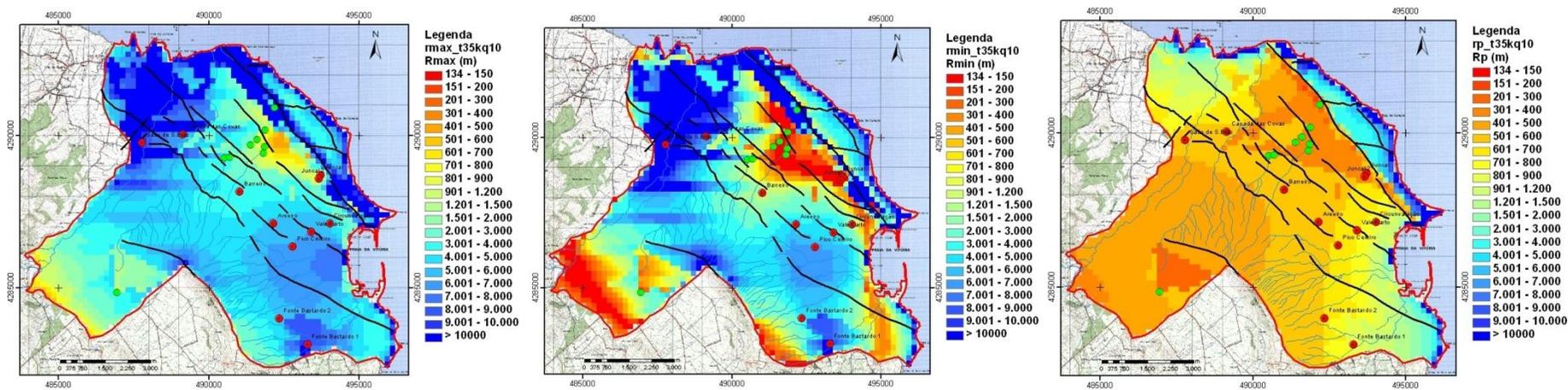


Figura 7.9 - Raio de proteção máximo, mínimo e perpendicular para a zona alargada e caudal de 10 L/s (extraída de Henriques *et al.*, 2013)



Figura 7.10 - Perímetro de proteção Intermédio e Alargado para a captação Juncal 1, considerando os caudais de extração de 5 L/s e 10 L/s (extraída de Henriques *et al.*, 2013)

A análise do mapa da superfície piezométrica obtido no modelo numérico desenvolvido em Lobo-Ferreira *et al.* (2010) permitiu verificar que existe uma zona de divergência dos vetores de fluxo situada aproximadamente no centro da pista da Base Aérea das Lajes (Figura 7.11). Considerou-se que se o perímetro definido ultrapassasse a linha de divergência do sentido de fluxo se deveria fazer a correção da área de proteção, considerando-se esta linha como o limite a partir do qual (a NW) não existe solicitação por parte da captação.

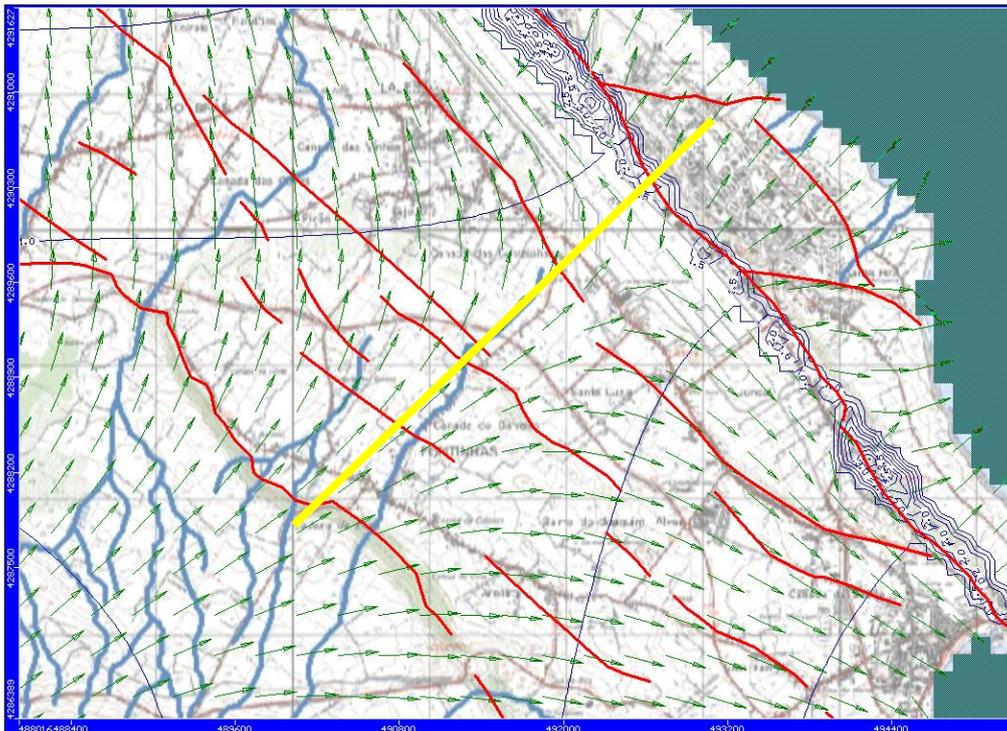


Figura 7.11 - Representação do fluxo geral do vale do graben das Lajes (a amarelo representa-se a linha aproximada de divergência do fluxo subterrâneo) (extraída de Henriques *et al.*, 2013)

O tempo de propagação calculado pelos autores desde a linha de divisória das direções de fluxo até à captação Juncal 1, corresponde à distância aproximada de 1735 m é de 19000 dias (= 52 anos) e 16000 dias (= 43 anos) para os caudais de extração de 5 L/s e 10 L/s respetivamente. Nessa análise foram excluídos os valores de caudais de extração mais elevados devido às constrições da área de estudo, isto é, caudais mais elevados impostos numa captação podem resultar num processo de “upconning” e na extração de água salgada, influenciando-se a interface água doce – água salgada com consequências para a sustentabilidade do recurso na região.

Henriques *et al.* (2013) ressalva ainda que a delimitação das distâncias de proteção está muito dependente dos dados de entrada. Neste sentido, qualquer alteração a estas condições (por exemplo uma variação do gradiente e/ou caudais de extração) resulta numa variação dos valores do raio máximo, mínimo e perpendicular e consequentemente à definição de novos limites das zonas de proteção. Este facto sustenta a necessidade de reavaliação dos perímetros de proteção quando se verificarem quaisquer variações das condições iniciais, caso se justifique em termos socioeconómicos e que resulte em benefício para a população.

8| Análise do programa de controlo da qualidade da água para consumo humano

No âmbito deste trabalho o LNEC propôs-se, ainda, analisar o programa de controlo da qualidade da água para consumo humano apresentado pela entidade gestora (DLR n.º 8/2010/A, art.º 7.º 1d) e propor eventuais alterações que se julgassem necessárias face aos resultados obtidos, incluindo a validação dos métodos analíticos e limites de deteção usados pelos laboratórios que executam as análises (DLR n.º 8/2010/A, art.º 7.º 1f).

Nesse contexto foi identificado um conjunto de novas análises químicas que deveriam ser efetuadas, bem como o ajuste de alguns limites de quantificação, conforme apresentado no Quadro 8.1. Os parâmetros químicos propostos vêm na sequência dos resultados do estudo de Lobo-Ferreira *et al.* (2010), atendendo ao princípio da precaucionaridade. Assim, consideram-se prioritários os elementos escritos a preto, que correspondem a elementos cuja concentração foi superior ao limite de deteção em algum ponto do aquífero basal (23 locais diferentes) ou a valores que devem ser analisados segundo o DL 306/2007 - Qualidade da água destinada ao consumo humano. A azul estão os elementos cuja concentração foi sempre inferior ao limite de deteção em todos os furos e piezómetros analisados no aquífero basal (23 locais diferentes), mas que apresentam valores assinaláveis em furos ou piezómetros (nos aquíferos suspensos ou no basal) junto a áreas poluídas.

Quadro 8.1 - Proposta de parâmetros a serem analisados nas águas subterrâneas para consumo humano da Câmara Municipal de Praia de Vitória

Parâmetro	Unidade	Método	Limite quantificação	Norma	Valor
In situ					
Temperatura	oC	SMEWW 2550 SMEWW 4500	0,01		
pH	Sorensen	H+ B NP EN	0,05	LQ	<5,5; >9
Condutividade elétrica	µS/cm (20°C)	27888:1996	v	LQ	2500
Parâmetros agregados					
Índice de fenóis	mg/L	W-PHI-PHO	0,005	Canadá	0,89
Inorgânicos não metálicos					
Acidez pH 4.5	mmol/L	W-ACID-PCT	0,15		
Acidez pH 8.3	mmol/L	W-ACID-PCT	0,15		
Agressividade CO2	mg/L	W-CO2F-CC2	0		
Alcalinidade pH 4.5	mmol/L	W-ALK-PCT	0,15		
Cloretos	mg/L	W-CL-IC	1	LQ	250

Parâmetro	Unidade	Método	Limite quantificação	Norma	Valor
Dióxido de carbono livre, CO2	mg/L	W-CO2F-CC2	0		
Bicarbonato	mg/L	W-CO2F-CC2	0		
Nitratos, N	mg/L	W-NO3-IC	0,5		
Nitratos	mg/L	W-NO3-IC	2	NQ	50
Sulphate as SO4 2-	mg/L	W-SO4-IC	5	LQ	250
Total de dióxido de carbono livre, CO2	mg/L	W-CO2F-CC2	0		
Metais em solução/catiões					
Alumínio - Al	mg/L	W-METAXFL1	0,01	VP	0,2
Antimônio - Sb	mg/L	W-METAXFL1	0,01	VP	0,005
Arsênio - As	mg/L	W-METAXFL1	0,005	LQ	0,01
Bário - Ba	mg/L	W-METAXFL1	0,0005	Canadá	1
Berílio - Be	mg/L	W-METAXFL1	0,0002	Canadá	0,004
Boro - B	mg/L	W-METAXFL1	0,01	Canadá	5
Cádmio - Cd	mg/L	W-METAXFL1	0,0004	LQ	0,005
Cálcio - Ca	mg/L	W-METAXFL1	0,005		
Crômio - Cr	mg/L	W-METAXFL1	0,001	VP	0,05
Cobalto - Co	mg/L	W-METAXFL1	0,002	Canadá	0,0038
Cobre - Cu	mg/L	W-METAXFL1	0,002	VP	2
Ferro - Fe	mg/L	W-METAXFL1	0,002	VP	0,2
Chumbo - Pb	mg/L	W-METAXFL1	0,005	LQ	0,01
Lítio - Li	mg/L	W-METAXFL1	0,001		
Magnésio - Mg	mg/L	W-METAXFL1	0,003		
Manganês - Mn	mg/L	W-METAXFL1	0,0005	VP	0,05
Merúrio - Hg	µg/L	W-HG-AFSFL	0,01	LQ	1
Molibdeno - Mo	mg/L	W-METAXFL1	0,002	Canadá	0,07
Níquel - Ni	mg/L	W-METAXFL1	0,002	VP	0,02
Fósforo - P	mg/L	W-METAXFL1	0,01		
Potássio - K	mg/L	W-METAXFL1	0,015		
Selênio - Se	mg/L	W-METAXFL1	0,01	VP	0,01
Prata - Ag	mg/L	W-METAXFL1	0,001	Canadá	0,0015
Sódio - Na	mg/L	W-METAXFL1	0,03	VP	200
Vanádio - V	mg/L	W-METAXFL1	0,001	Canadá	0,0062
Zinco - Zn	mg/L	W-METAXFL1	0,002	Canadá	1,1
Hidrocarbonetos Totais do Petróleo - HTP					
Hidrocarbonetos Totais do Petróleo	mg/L	W-TPHW-IR	0,1	Canadá	0,75
BTEX					
Benzeno	µg/L	W-VOCGMS01	0,2	VP	1
Etilbenzeno	µg/L	W-VOCGMS01	0,1	Canadá	2,4
Meta-para xileno	µg/L	W-VOCGMS01	0,2		
Orto-xileno	µg/L	W-VOCGMS01	0,1		
Tolueno	µg/L	W-VOCGMS01	1	Canadá	-
Compostos Orgânicos Voláteis Halogenados					
1.1.1.2-Tetracloroetano	µg/L	W-VOCGMS01	0,1	Canadá	1,1
1.1.1-Tricloroetano	µg/L	W-VOCGMS01	0,1	Canadá	4,7
1.1-Dicloroetano	µg/L	W-VOCGMS01	0,1	Canadá	
1.2.3-Triclorobenzeno	µg/L	W-VOCGMS01	0,1		
1.2.4-Triclorobenzeno	µg/L	W-VOCGMS01	0,1	Canadá	3
1.2-Dicloroetano	µg/L	W-VOCGMS01	1	VP	3
1.3.5-Triclorobenzeno	µg/L	W-VOCGMS01	0,2		

Parâmetro	Unidade	Método	Limite quantificação	Norma	Valor
1.3-Dicloropropano	µg/L	W-VOCGMS05	1		1
2.2-Dicloropropano	µg/L	W-VOCGMS05	1		
2-Clorotolueno	µg/L	W-VOCGMS05	1		
Bromoclorometano	µg/L	W-VOCGMS05	2		
Bromodiclorometano	µg/L	W-VOCGMS01	0,1	Canadá	16
Bromofórmio	µg/L	W-VOCGMS01	0,2	Canadá	0,89
Clorobenzeno	µg/L	W-VOCGMS01	0,1	Canadá	
Clorofórmio	µg/L	W-VOCGMS01	0,3	Canadá	
cis-1.2-Dicloroetano	µg/L	W-VOCGMS01	0,1	Canadá	0,5
Dibromoclorometano	µg/L	W-VOCGMS01	0,1	Canadá	0,44
Tetracloroetileno (PCE)	µg/L	W-VOCGMS01	0,2	LQ	0,3
Tetraclorometano	µg/L	W-VOCGMS01	0,1		1,6
trans-1.3-Dicloropropeno	µg/L	W-VOCGMS05	1	Canadá	0,5
Tricloroetileno (TCE)	µg/L	W-VOCGMS01	0,1	LQ	-
Compostos Orgânicos Voláteis não Halogenados					
1.2.4-Trimetilbenzeno	µg/L	W-VOCGMS05	1		
1.3.5-Trimetilbenzeno	µg/L	W-VOCGMS05	1		
Isopropilbenzeno	µg/L	W-VOCGMS05	1		
Metil tert-Butil Éter (MTBE)	µg/L	W-VOCGMS01	0,2	Canadá	15
n-Butilbenzeno	µg/L	W-VOCGMS05	1		
n-Propilbenzeno	µg/L	W-VOCGMS05	1		
p-Isopropiltolueno	µg/L	W-VOCGMS05	1		
sec-Butilbenzeno	µg/L	W-VOCGMS05	1		
Estireno	µg/L	W-VOCGMS01	0,2	Canadá	5,4
tert-Butil álcool	µg/L	W-VOCGMS01	5		
tert-Butilbenzeno	µg/L	W-VOCGMS05	1		
Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares (PAHs)					
Acenafteno	µg/L	W-PAHGMS01	0,01	Canadá	4,1
Acenaftileno	µg/L	W-PAHGMS01	0,01	Canadá	1
Antraceno	µg/L	W-PAHGMS01	0,02	Canadá	2,4
Benzo(a)antraceno	µg/L	W-PAHGMS01	0,01	Canadá	1
Benzo(a)pireno	µg/L	W-PAHGMS01	0,02	VP	0,01
Benzo(b)fluoranteno	µg/L	W-PAHGMS01	0,01	Canadá	0,1
Benzo(g,h,i)perileno	µg/L	W-PAHGMS01	0,01	Canadá	0,2
Benzo(k)fluoranteno	µg/L	W-PAHGMS01	0,01	Canadá	0,1
Criseno	µg/L	W-PAHGMS01	0,01	Canadá	0,1
Dibenz(a,h)antraceno	µg/L	W-PAHGMS01	0,01	Canadá	0,2
Fluoranteno	µg/L	W-PAHGMS01	0,03	Canadá	0,41
Fluoreno	µg/L	W-PAHGMS01	0,02	Canadá	120
Indeno(1.2.3.cd)pireno	µg/L	W-PAHGMS01	0,01	Canadá	0,2
Naftaleno	µg/L	W-PAHGMS01	0,1	Canadá	11
Fenantreno	µg/L	W-PAHGMS01	0,03	Canadá	1
Pireno	µg/L	W-PAHGMS01	0,06	Canadá	4,1
Soma de 4 PAH (DL 306/2007)	µg/L	W-PAHGMS01	0,03	VP	0,1
NQ - Normas de Qualidade, Anexo I da DAS, DL 208/2008					
LQ - Limiar de Qualidade, Anexo II e VII da DAS, DL 208/2008 (definido em INAG, 2009)					
VP - Valor Paramétrico, DL 306/2007 Qualidade da água destinada ao consumo humano					
Canadá - Standards in a Potable Groundwater Condition (Table 2)					

Estes novos elementos foram inseridos nas análises efetuadas pela INOVA para os furos do Pico Celeiro, Juncal, Barreiro, Areeiro e Covas, considerando-se corretos quer os métodos e quer os limites de quantificação utilizados por aquele laboratório.

Os resultados das análises de monitorização da qualidade da água evidenciaram que todos os parâmetros determinados se encontram em conformidade com Normas de Qualidade, Anexo I da DAS e do Limiar de Qualidade, Anexo II e VII da DAS, definidas no DL 208/2008, com Valor Paramétrico definido no DL 306/2007, o qual define as normas da qualidade da água destinada ao consumo humano, e nos Standards in a Potable Groundwater Condition (Table 2) canadianos, com exceção do parâmetro Ferro, no furo das Covas e do parâmetro Cloreto, no furo do Juncal e do Barreiro e o parâmetro Vanádio, em todos os Furos. Foi detetada a presença de tetracloroetileno (PCE) em quatro dos cinco furos, embora abaixo do Limiar de Qualidade.

A presença de Ferro na água proveniente do furo das Covas é de origem natural e deve-se a constituição geológica dos solos vulcânicos. O valor obtido foi de 205 $\mu\text{g Fe/L}$ (o valor paramétrico é de 200 $\mu\text{g Fe/L}$). A fixação dos valores paramétricos de ferro resulta essencialmente das consequências de carácter organoléptico, ou de dificuldades de exploração das redes, e não de critérios sanitários ou por se atingirem níveis de toxicidade significativos.

A presença de Cloretos na água proveniente do furo do Juncal deve-se à sobreexploração do aquífero de base e à exploração do furo na interface da água salobra. O valor obtido foi de 271 mg Cl/L (o valor paramétrico é de 250 mgCl/L). O valor paramétrico definido não está relacionado com questões de saúde pública, mas sim para evitar sabor e fenómenos de corrosão.

Salienta-se que para o parâmetro Vanádio não são referidos valores, nem níveis de risco associados em nenhuma legislação nacional e comunitária. A atual diretiva comunitária referente à qualidade da água para consumo humano elimina mesmo o vanádio da lista de parâmetros considerados. No entanto, o estudo realizado pelo LNEC considerou os padrões de qualidade definidos na legislação em vigor no Canada, os quais consideram o limite de 0,0068 mg V/L, e tendo em conta esta base considerou-se que o vanádio não estaria em conformidade. Porém, de acordo com Mendes, B. e Oliveira, J.F.S. (2004), nas águas de consumo humano o teor em vanádio pode ir até aos 0,02 mg V/L. Os resultados obtidos foram de 0,010 mg V/L, no furo das Covas, 0,011 mg V/L, no furo Pico Celeiro, 0,013 mg V/L, no furo do Areeiro, e 0,018 mg V/L no furo do Barreiro.

A presença de tetracloroetileno (PCE) em quatro dos cinco pontos, embora em concentrações iguais ou pouco superiores ao limite de deteção e, por isso, abaixo do Limiar

de Qualidade definido em INAG (2009), é um fator a ter em atenção. Os furos onde foi revelada a presença de TCE foram Covas, Areeiro e Juncal, com 0,1 µg/L e o furo do Barreiro com 0,2 µg/L. Não se detetou no furo do Pico Celeiro. Esta situação deve continuar a ser monitorizada e devem ser enviadas novas amostras para outro laboratório para confirmação dos resultados.

No Quadro 8.2 encontram-se os resultados obtidos. Sombreado a verde encontram-se os parâmetros que possuem valores inferiores à legislação nacional, comunitária ou canadiana, a vermelho os que se encontram acima do valor limite imposto pela legislação referida. Os parâmetros sem sombreamento são aqueles cujas normas de qualidade da água não impõe valores limite.

Quadro 8.2 - Resultados de análises químicas em furos de captação para abastecimento público

Parâmetro	Furo do Juncal	Furo Pico Celeiro	Furo Barreiro	Furo do Areiro	Furo das Covas	Valor Limite	Norma	Unidade	Método	Limite Quantificação
Data	07-11-2011	07-11-2011	07-11-2011	07-11-2011	07-11-2011					
Temperatura	23	18	20,5	18	18,5			oC	SMEWW 2550	0,01
pH	7	7,6	7,3	7,4	6,7	<5,5; >9	LQ	Sorensen	SMEWW 4500 H ⁺ B	0,05
Condutividade eléctrica	1140	606	1150	674	594	2500	LQ	µS/cm (20°C)	NP EN 27888:1996	v
Índice de fenóis	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,89	Canadá	mg/L	W-PHI-PHO	0,005
Acidez pH 4.5	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15			mmol/L	W-ACID-PCT	0,15
Acidez pH 8.3	0,216	<0,16	<0,16	<0,16	0,268			mmol/L	W-ACID-PCT	0,15
Alcalinidade pH 4.5	1,194	0,379	0,495	0,466	8,01			mmol/L	W-ALK-PCT	0,15
Cloretos	271	114	264	141	111	250	LQ	mg/L	W-CL-IC	1
Dióxido de carbono livre, CO ₂	19	5	8	6	24			mg/L	W-CO2F-CC2	0
Bicarbonato	146	46	60	57	98			mg/L	W-CO2F-CC2	0
Nitratos	22	14	6	19	12	50	NQ	mg/L	W-NO3-IC	2
Sulfato SO ₄ ²⁻	48,5	14,6	42	17,8	13,2	250	LQ	mg/L	W-SO4-IC	5
Total de dióxido de carbono livre, CO ₂	115	54	62	62	108			mg/L	W-CO2F-CC2	0
Alumínio - Al	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,2	VP	mg/L	W-METAXFL1	0,01
Antimónio - Sb	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	0,005	VP	mg/L	W-METAXFL1	0,01
Arsénio - As	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,01	LQ	mg/L	W-METAXFL1	0,005
Bário - Ba	0,0078	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	1	Canadá	mg/L	W-METAXFL1	0,0005
Berílio - Be	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,004	Canadá	mg/L	W-METAXFL1	0,0002
Boro - B	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	5	Canadá	mg/L	W-METAXFL1	0,01
Cádmio - Cd	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	0,005	LQ	mg/L	W-METAXFL1	0,0004
Cálcio - Ca	29,9	16,4	29	18,2	9,6			mg/L	W-METAXFL1	0,005
Crómio - Cr	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0034	0,05	VP	mg/L	W-METAXFL1	0,001
Cobalto - Co	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0038	Canadá	mg/L	W-METAXFL1	0,002
Cobre - Cu	0,005	<0,002	<0,002	<0,002	0,008	2	VP	mg/L	W-METAXFL1	0,002
Ferro - Fe	0,013	<0,010	0,029	<0,010	0,205	0,2	VP	mg/L	W-METAXFL1	0,002
Chumbo - Pb	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,01	LQ	mg/L	W-METAXFL1	0,005
Lítio - Li	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001			mg/L	W-METAXFL1	0,001
Magnésio - Mg	34,8	13,1	22,6	14,9	11,2			mg/L	W-METAXFL1	0,003
Manganés - Mn	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,05	VP	mg/L	W-METAXFL1	0,0005
Merúrio - Hg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1	LQ	µg/L	W-HG-AFSFL	0,01
Molibdeno - Mo	0,003	<0,002	0,003	0,003	0,006	0,07	Canadá	mg/L	W-METAXFL1	0,002
Níquel - Ni	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,005	0,02	VP	mg/L	W-METAXFL1	0,002
Fósforo - P	0,123	0,087	0,096	0,084	0,128			mg/L	W-METAXFL1	0,01
Potássio - K	10,9	4,51	7,37	4,75	6,25			mg/L	W-METAXFL1	0,015
Selénio - Se	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	0,01	VP	mg/L	W-METAXFL1	0,01
Prata - Ag	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0015	Canadá	mg/L	W-METAXFL1	0,001
Sódio - Na	193	65,3	158	85,9	88,5	200	VP	mg/L	W-METAXFL1	0,03
Vanádio - V	0,015	0,011	0,018	0,013	0,01	0,0062	Canadá	mg/L	W-METAXFL1	0,001
Zinco - Zn	0,02	<0,002	0,022	<0,002	0,03	1,1	Canadá	mg/L	W-METAXFL1	0,002
Hidrocarbonetos Totais do Petróleo - HTP BTEX	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,75	Canadá	mg/L	W-TPHW-IR	0,1
Benzeno	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	1	VP	µg/L	W-VOCGMS01	0,2
Etilbenzeno	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,4	Canadá	µg/L	W-VOCGMS01	0,1
Meta-para-xileno	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2			µg/L	W-VOCGMS01	0,2
Orto-xileno	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1			µg/L	W-VOCGMS01	0,1
Tolueno	<1	<1	<1	<1	<1	-	Canadá	µg/L	W-VOCGMS01	1
Compostos Orgânicos Voláteis Halogenados										
1.1.1.2-Tetracloroetano	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,1	Canadá	µg/L	W-VOCGMS01	0,1
1.1.1-Tricloroetano	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,7	Canadá	µg/L	W-VOCGMS01	0,1
1.1-Dicloroetano	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1		Canadá	µg/L	W-VOCGMS01	0,1
1.2.3-Triclorobenzeno	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1			µg/L	W-VOCGMS01	0,1
1.2.4-Triclorobenzeno	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	3	Canadá	µg/L	W-VOCGMS01	0,1
1.2-Dicloroetano	<1	<1	<1	<1	<1	3	VP	µg/L	W-VOCGMS01	1
1.3.5-Triclorobenzeno	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2			µg/L	W-VOCGMS01	0,2
1.3-Dicloropropano	<1	<1	<1	<1	<1	1		µg/L	W-VOCGMS05	1
2.2-Dicloropropano	<1	<1	<1	<1	<1			µg/L	W-VOCGMS05	1
2-Clorotolueno	<1	<1	<1	<1	<1			µg/L	W-VOCGMS05	1
Bromoclorometano	<2	<2	<2	<2	<2			µg/L	W-VOCGMS05	2
Bromodiclorometano	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	16	Canadá	µg/L	W-VOCGMS01	0,1
Bromofórmio	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,89	Canadá	µg/L	W-VOCGMS01	0,2
Clorobenzeno	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1		Canadá	µg/L	W-VOCGMS01	0,1
Clorofórmio	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3		Canadá	µg/L	W-VOCGMS01	0,3
cis-1.2-Dicloroetano	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	Canadá	µg/L	W-VOCGMS01	0,1
Dibromoclorometano	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,44	Canadá	µg/L	W-VOCGMS01	0,1
Tetracloretileno (PCE)	0,1	<0,1	0,2	<0,1	0,1	0,3	LQ	µg/L	W-VOCGMS01	0,2
Tetraclorometano	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,6		µg/L	W-VOCGMS01	0,1
trans-1.3-Dicloropropano	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	Canadá	µg/L	W-VOCGMS05	0,1
Tricloroetileno (TCE)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	LQ	µg/L	W-VOCGMS01	0,1
Impostos Orgânicos Voláteis não Halogenados										
1.2.4-Trimetilbenzeno	<1	<1	<1	<1	<1			µg/L	W-VOCGMS05	1
1.3.5-Trimetilbenzeno	<1	<1	<1	<1	<1			µg/L	W-VOCGMS05	1
Isopropilbenzeno	<1	<1	<1	<1	<1			µg/L	W-VOCGMS05	1
Metil tert-Butil Éter (MTBE)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	15	Canadá	µg/L	W-VOCGMS01	0,2
n-Butilbenzeno	<1	<1	<1	<1	<1			µg/L	W-VOCGMS05	1
n-Propilbenzeno	<1	<1	<1	<1	<1			µg/L	W-VOCGMS05	1
p-Isopropiltolueno	<1	<1	<1	<1	<1			µg/L	W-VOCGMS05	1
sec-Butilbenzeno	<1	<1	<1	<1	<1			µg/L	W-VOCGMS05	1
Estireno	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	5,4	Canadá	µg/L	W-VOCGMS01	0,2
tert-Butil álcool	<5	<5	<5	<5	<5			µg/L	W-VOCGMS01	5
tert-Butilbenzeno	<1	<1	<1	<1	<1			µg/L	W-VOCGMS05	1
Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares (PAHs)										
Acenafteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	4,1	Canadá	µg/L	W-PAHGMS01	0,01
Acenafileno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1	Canadá	µg/L	W-PAHGMS01	0,01
Antraceno	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	2,4	Canadá	µg/L	W-PAHGMS01	0,02
Benzo(a)antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1	Canadá	µg/L	W-PAHGMS01	0,01
Benzo(a)pireno	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,01	VP	µg/L	W-PAHGMS01	0,02
Benzo(b)fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1	Canadá	µg/L	W-PAHGMS01	0,01
Benzo(g,h,i)perileno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,2	Canadá	µg/L	W-PAHGMS01	0,01
Benzo(k)fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1	Canadá	µg/L	W-PAHGMS01	0,01
Criseno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1	Canadá	µg/L	W-PAHGMS01	0,01
Dibenz(a,h)antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,2	Canadá	µg/L	W-PAHGMS01	0,01
Fluoranteno	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,41	Canadá	µg/L	W-PAHGMS01	0,03
Fluoreno	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	120	Canadá	µg/L	W-PAHGMS01	0,02
Indeno(1,2,3-cd)pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,2	Canadá	µg/L	W-PAHGMS01	0,01
Naftaleno	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	11	Canadá	µg/L	W-PAHGMS01	0,1
Fenantreno	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	1	Canadá	µg/L	W-PAHGMS01	0,03
Pireno	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	4,1	Canadá	µg/L	W-PAHGMS01	0,06
Soma de 4 PAH (DL 306/2007)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	VP	µg/L	W-PAHGMS01	0,03

9| Síntese, conclusões e recomendações

Neste Relatório Final são apresentados os resultados de um ano e meio de análise e acompanhamento dos trabalhos de reabilitação, promovidos pelas Forças Armadas dos Estados Unidos da América nas Lajes (FAA), tendo em vista a melhoria da situação ambiental envolvente aos furos de abastecimento de água do concelho de Praia da Vitória, Açores.

Os principais aspetos desenvolvidos foram:

1. Avaliação da adequação da proposta de monitorização promovida pela FAA, na perspetiva da proteção das águas subterrâneas para abastecimento público do concelho de Praia da Vitória.
2. Análise da proposta e da execução dos trabalhos de reabilitação promovidos pela FAA e os seus impactes na qualidade das águas subterrâneas.
3. Monitorização semestral da qualidade das águas subterrâneas, complementar à das FAA, em piezómetros localizados entre os principais focos de poluição e os furos de captação, e avaliação da evolução da sua qualidade.
4. Avaliação da ligação hidráulica entre diferentes níveis piezométricos.
5. Mapeamento regional dos perímetros de proteção de água para consumo humano (concelho de Praia da Vitória) de forma a avaliar as eventuais restrições de utilidade pública ao uso e transformação do solo.
6. Análise do programa de controlo da qualidade da água para consumo humano apresentado pela entidade gestora, proposta de eventuais alterações e análise dos seus resultados.

A análise desenvolvida permite tirar as seguintes **conclusões e recomendações**:

1. Avaliação da adequação da proposta de **monitorização promovida pela FAA**, na perspetiva da proteção das águas subterrâneas para abastecimento público do concelho de Praia da Vitória.

Síntese e conclusões:

- Os locais para monitorização, quer para a rede de longo prazo (18 localizados no Site 3001 e quatro no Site 5001) quer para o programa de atenuação natural (7 piezómetros), bem como a frequência de amostragem (semestral) são considerados adequados.

- Os parâmetros a analisar [BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno), TPH (hidrocarbonetos totais do petróleo, C5-C36) e PAH (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos), bem como indicadores geoquímicos do processo de reabilitação] são considerados adequados; não obstante, o LNEC solicitou (em sede de reunião) a discriminação dos diferentes compostos a analisar e deu indicação dos que deveriam figurar: Foi dada indicação oral que estas sugestões seriam contempladas.
- Os procedimentos de amostragem de águas subterrâneas propostos pelas FAA visam a recolha de amostras representativas. Este procedimento é válido, mas foi considerado que deveria ser complementado com amostras localizadas (uma vez que se espera que este tipo de procedimento dê origem a resultados de concentrações em LNAPL baixas, i.e. apenas correspondentes à fração diluída na coluna de água após purga, na medida em que estes hidrocarbonetos flutuam maioritariamente sobre a água) (ver recomendações).
- No Site 3001 há duas plumas principais de TPH com LNAPL sobrenadando as águas subterrâneas.
- Em diversos pontos dentro do Site 3001 foram encontrados hidrocarbonetos com concentrações acima do permitido.

Recomendações:

- Sugere-se a recolha de amostras (não representativas) localizadas na parte superficial da coluna de água onde os LNAPL se concentram, de forma a obter o pior cenário e, assim, melhor orientar os procedimentos da reabilitação. Complementarmente poderiam ser efetuadas algumas das amostragens representativas sugeridas.
- Sugere-se, dentro do mesmo contexto, que sejam efetuadas análises localizadas de DNAPL (nomeadamente de TCE, PCE e PAH, já detetados em concentrações vestigiais no aquífero basal) junto à base dos piezómetros instalados nos aquíferos suspensos para avaliar a sua potencial presença.

2. Análise da proposta e da execução dos trabalhos de **reabilitação** promovidos pela FAA e os seus impactes na qualidade das águas subterrâneas.

Síntese e conclusões:

- O trabalho de reabilitação começou em setembro de 2012, através da empresa MWH contratada pela FAA, com um reconhecimento dos piezómetros onde havia LNAPL sobrenadando o nível piezométrico, num universo de 47 piezómetros inventariados.
- Foi detetada a presença de LNAPL sobrenadando as águas subterrâneas em seis

piezómetros, quatro dos quais localizados no Site 3001 e dois no Site 5001.

- Desde setembro de 2012 foram retirados manualmente, através de *bailers* descartáveis, e com um descarregador passivo (acionado automaticamente sempre que é detetada acumulação de LNAPL sobre o nível piezométrico) 182 litros de LNAPL (e 433 kg de uma mistura de LNAPL e águas oleosas).
- Observaram-se oscilações assinaláveis da espessura de LNAPL sobre o nível piezométrico (espessura máxima de 1,82 m). Este facto deverá resultar tanto da flutuação do nível piezométrico (e conseqüente arraste e acumulação de poluentes retidos no solo), como também do próprio processo de recolha que poderá causar pequenos cones de depressão hidrostáticas (e o conseqüente movimento de LNAPL em direção ao piezómetro).
- Estas oscilações não são surpreendentes neste tipo de procedimentos de reabilitação. Não obstante, os valores registados são muito elevados e possivelmente resultantes da presença considerável de produto na zona onde foram removidos tanques de combustível (junto ao MW21).
- Presentemente parece ter sido atingida uma fase de decréscimo de produto sobrenadante, que terá que ser confirmada em medições posteriores.
- Embora a questão prioritária tenha sido estabelecida para os LNAPL, dada a sua deteção em quantidades assinaláveis e em diversos locais, o assunto dos DNAPL não pode deixar de constituir uma questão de grande relevo, atendendo à sua propensão para migrar em profundidade até encontrar uma base impermeável.

Recomendações:

- Sugere-se que seja continuado o trabalho de reabilitação e de monitorização de LNAPL para confirmar se as ações levadas a cabo vão ao encontro da reabilitação dos locais mais contaminados.
- Sugere-se que sejam contempladas outras ações complementares para se atingir a reabilitação do local, nomeadamente destinadas a remover LNAPL com maior frequência do que o inicialmente previsto.
- Sugere-se que, no seguimento da recolha de amostras de águas para análise de DNAPL junto ao fundo dos piezómetros, seja feita uma análise de risco de poluição e, caso necessário, seja equacionada a sua remoção.
- Sugere-se que, numa segunda fase após a remoção das fontes principais, sejam contempladas ações de aceleração do processo de degradação, como o *bioventing* ou *biosparging* na zona não-saturada do solo.
- Por fim, sugere-se a remoção das fontes de poluição, nomeadamente com a remoção dos Pipelines do Cabrito e Cova das Cinzas. As FAA aguardam a

autorização de verba para avançar com esta empreitada.

3. **Monitorização** semestral da qualidade das águas subterrâneas, **complementar** à das FAA, em piezómetros localizados entre os principais focos de poluição e os furos de captação, e avaliação da evolução da sua qualidade.

Síntese e conclusões:

- Foram recolhidas amostras de água em dez piezómetros e a três profundidades diferentes: (1) uma amostra superficial (S) onde foram efetuadas análises químicas de LNAPL; (2) uma amostra de fundo (F), onde foram efetuadas análises químicas de DNAPL e (3) uma amostra representativa onde foram analisados os restantes parâmetros. Corresponde, assim, ao pior cenário de poluição.
- Os resultados obtidos permitem registar a presença de diversos elementos e compostos orgânicos nas formações aquíferas suspensas, desde 2010, independentemente da profundidade de recolha.
- De todas as análises efetuadas em hidrocarbonetos, apenas foi ultrapassado o Limiar de Qualidade [nos termos do Anexo II e VII do DL 208/2008, definido em INAG (2009), no valor de 0,3 µg/L] no ponto MW1, onde a concentração em tetracloroetileno (PCE) apresentou valores de 6,86 µg/L.
- Em 2013, nos piezómetros localizados fora do Site 3001, não foram encontrados poluentes orgânicos.
- Apesar de as restantes análises estarem abaixo dos valores limite, para os casos em que estes existem, não é natural que estes elementos estejam presentes na água, pelo que a sua deteção denuncia, por si só, poluição do local.
- A presença, em algum período, de concentrações de hidrocarbonetos nos piezómetros localizados a sul da Porta de Armas, comprova que o sentido do escoamento subterrâneo nas formações suspensas processa-se, essencialmente, para SSE e que há ligações hidráulicas entre os pontos de concentração de poluentes e os locais monitorizados.
- Nas análises químicas no Site 5001 foram encontrados vestígios de hidrocarbonetos totais de petróleo e de bromodiclorometano, em concentrações abaixo dos limiares definidos de 0,75 mg/L e de 16 µg/L, respetivamente.

Recomendações:

- Manter esta análise semestral complementar.

4. Avaliação da **ligação hidráulica entre diferentes níveis piezométricos**.

Síntese e conclusões:

- Aprofundou-se o estudo da influência da precipitação nos níveis piezométricos (NP) no Local 6, visando obter indicações sobre os processos locais de recarga e de drenância dos aquíferos existentes (entre 4 de janeiro de 2013 e 28 de abril de 2013, equiparam-se os piezómetros FP6B, FP6A e FP6 com sondas de registo automático de NP).
- Os resultados mostram uma correlação significativa entre as variações diárias dos níveis piezométricos determinadas para o piezómetro FP6B (que mede a formação hidrogeológica superficial) e a precipitação ocorrida nos mesmos dias; e uma ausência de correlação direta entre as variações de níveis registadas nos restantes piezómetros (FP6A e FP6) e a precipitação ou as variações dos NP calculadas para os piezómetros instalados acima.
- A ausência de correlação poderá dever-se ao facto de haver escoamento vertical descendente através das camadas menos permeáveis sobrejacentes às formações hidrogeológicas intermédias e ao aquífero de base mas este ser diferido no tempo, levando a uma homogeneização da taxa do fluxo de chegada materializada pela variação dos níveis piezométricos.
- Calculada a taxa de drenância pela interpretação dos declives das piezometrias das formações suspensas, no tempo e em períodos de ausência de precipitação, constatou-se serem de ordem de grandeza superior à dos valores da recarga.
- Considera-se, assim, fundamental a **remoção total** dos poluentes detetados nas formações suspensas, uma vez que se não forem retirados, se infiltrarão podendo vir a atingir a médio prazo o aquífero basal.

5. Mapeamento regional dos **perímetros de proteção** de água para consumo humano (concelho de Praia da Vitória) de forma a avaliar as eventuais restrições de utilidade pública ao uso e transformação do solo.

Síntese e conclusões:

- Efetuou-se o mapeamento regional dos perímetros de proteção de água para consumo humano no concelho de Praia da Vitória para diferentes cenários usando o método desenvolvido por Krijgsman e Lobo-Ferreira (2001).
- Os resultados do modelo matemático do escoamento, onde se observa a direção de

escoamento subterrâneo para SSE, e o cálculo dos perímetros alargados do furo do Juncal, evidenciam que as atividades que se desenvolvem no Site 3001 poderão ter a médio prazo impacte na qualidade das águas subterrâneas do aquífero basal.

Recomendações:

- Recomenda-se a aplicação das restrições do uso do solo dentro dos perímetros de proteção definidos, além dos processos de reabilitação atrás referidos.
- De novo, a **remoção total** dos poluentes detetados nas formações suspensas, uma vez que se não forem retirados, se infiltrarão podendo vir a atingir a médio prazo o aquífero basal nos perímetros alargados do furo do Juncal.

6. Análise do programa de controlo da **qualidade da água para consumo humano** apresentado pela entidade gestora, proposta de eventuais alterações e análise dos seus resultados.

Síntese e conclusões:

- Os resultados das análises de monitorização da qualidade da água evidenciaram que todos os parâmetros determinados se encontram em conformidade com normas de qualidade em todos os Furos, com exceção do parâmetro Ferro (furo das Covas), Cloreto (furo do Juncal e do Barreiro) e do Vanádio. Estes elementos são de origem natural (Fe e V) ou devem-se a processos de sobre-exploração do aquífero de base, mas nenhum deles constitui um risco para a saúde pública.
- Foi detetada a presença de tetracloroetileno (PCE) em quatro dos cinco furos (Covas, Areeiro e Juncal, com 0,1 µg/L e o furo do Barreiro com 0,2 µg/L), em concentrações iguais ou pouco superiores ao limite de deteção, mas abaixo do Limiar de Qualidade definido em INAG (2009).

Recomendações:

- Sugere-se que a análise química de PCE passe a ter monitorização trimestral e que inicialmente seja feito o envio das amostras para dois laboratórios, para confirmação dos resultados.

Como **conclusão global**, mantém-se o referido em Lobo-Ferreira *et al.* (2010): pese embora a caracterização do estado ambiental das áreas analisadas ter confirmado a presença de áreas poluídas na região estudada, apenas se mediu uma situação de concentração de poluentes acima dos valores permitidos em furos e/ou piezómetros que captam no aquífero basal. Tal já havia sido identificado nalguns furos de abastecimento da Base Americana. Note-se, contudo, que a simples presença em diversos pontos de água de concentrações

acima dos limites de deteção é um indício de uma potencial situação de risco que importa continuar a monitorizar no futuro. Nesse processo, as origens de poluição devem ser controladas e o processo de reabilitação, natural e/ou induzido, das áreas restritas afetadas deve ser continuado pela Força Aérea Americana, atendendo às recomendações anteriormente apresentadas quer para a monitorização quer para a reabilitação, sob supervisão do Estado Português, predispondo-se o LNEC a manter esta assessoria à ERSARA.

Finalmente recomenda-se a **remoção total** dos poluentes detetados nas formações suspensas, uma vez que se não forem retirados, se infiltrarão podendo vir a atingir a médio prazo o aquífero basal nos perímetros alargados do furo do Juncal.

Dezembro de 2013

VISTOS

Teresa Viseu

Chefe do Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

Rafaela de Saldanha Matos

Directora do Departamento de Hidráulica e Ambiente

AUTORIAS

Teresa E. Leitão

Investigadora Principal com Habilitação

Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

J.P. Cárcamo Lobo-Ferreira

Investigador-Coordenador

Conselho Diretivo, Coordenador de Relações Internacionais

Manuel M. Oliveira

Investigador Auxiliar

Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

Referências bibliográficas

- ALLEN & HOSHALL (1990) – **Report on the Delivery Order F61040-89-D0002, Project MQNA 88-1012**. Allen & Hoshall, Engineers, Architects, Consultants. Memphis, Tennessee.
- ALLER, L., BENETT, T., LEHER, J.H., HACKETT, G. (1987) – **DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeological Settings**. U.S. Environmental Protection Agency, pp. 622.
- ANDERSEN, E. (1982) – **Geothermal Prospection – Ilha Terceira, Açores. Geophysics Survey Report**. Ponta Delgada, Secretaria Regional do Comércio e Indústria.
- CIABATTI, P. E LOBO-FERREIRA, J.P. (1994) – **Desenvolvimento de um Inventário das Águas Subterrâneas de Portugal. Análise da Legislação sobre Zonamento de Protecção de Captações de Água Subterrânea. Aplicação a dois Casos de Estudo Portugueses**. Lisboa, LNEC, Relatório 247/94 – GIAS.
- DUIJVENBOODEN, W. van, WAEGENINGH, H.G. van (1987) – **Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants**, Proceedings and Information n.º 38 of the International Conference held in the Netherlands, in 1987, TNO Committee on Hydrogeological Research, Delft, The Netherlands
- HENRIQUES, M. J., MARTINS, T., LOBO-FERREIRA, J.P. (2013) – **Análise e Acompanhamento dos Trabalhos de Reabilitação para Melhoria da Situação Ambiental Envolve aos Furos de Abastecimento de Água do Concelho de Praia da Vitória, Açores. 2.º Relatório – Mapeamento regional de perímetros de proteção de captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público no concelho de Praia da Vitória – Aplicação do Método de Krijgsman e Lobo-Ferreira**. Relatório 15/2013-NAS, 67 pp.
- ITGE (1991) – **Guía Metodológica para la Elaboracion de Perímetros de Protección de Captaciones de Aguas Subterrâneas**. Madrid, Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Dezembro, 1991.
- KRIJGSMAN, B. E LOBO-FERREIRA, J.P. (2001) – **A Methodology for Delineating Wellhead Protection Areas**. Informação Científica de Hidráulica INCH 7, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- LEITÃO T.E. (2012) – **Análise e Acompanhamento dos Trabalhos de Reabilitação para Melhoria da Situação Ambiental Envolve aos Furos de Abastecimento de Água do Concelho de Praia da Vitória, Açores. 1.º Relatório – Especificações para Realização**

de Análises Químicas em Águas Subterrâneas do Concelho de Praia da Vitória, ilha Terceira, Açores. Relatório 222/2012-NAS, 10 pp.

LOBO-FERREIRA, J.P., CABRAL, M.C. (1991) – **Proposal for an Operational Definition of Vulnerability for the European Community's Atlas of Groundwater Resources.** Bruxelas, Instituto Europeu da Água, 1991.

LOBO-FERREIRA, J.P., OLIVEIRA, M.M., LEITÃO, T.E., ROCHA, J., BARBOSA, A.E. (2009) – **Protecção das Origens Superficiais e Subterrâneas nos Sistemas de Abastecimento de Água.** Série de Guias Técnicos IRAR, Guia n.º 11. Instituto Regulador de Águas e Resíduos e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa (ISBN:978-989-95392-6-6).

LOBO-FERREIRA, J.P., LEITÃO, T. E., NOVO, M.E., OLIVEIRA L. S., OLIVEIRA, M.M., HENRIQUES M. J. E MARTINS, T. (2010) - **Análise e Parecer Sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores** - Relatório Final da Avaliação das Águas Subterrâneas. Relatório 424/2010- NAS, 196 pp.

MOINANTE, M.J. (2003) – **Delimitação de Perímetros de Protecção de Captações de Águas Subterrâneas. Estudo Comparativo Utilizando Métodos Analíticos e Numéricos.** Teses de Mestrado LNEC – TM11, Lisboa, LNEC.

NOVO, M.E., RODRIGUES, F.C., LOBO-FERREIRA, J.P., AZEVEDO, E.B. (2001) – **Desenvolvimento de um Inventário das Águas Subterrâneas dos Açores – Relatório Final – 3.º Ano, Fase 3.** Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório LNEC 239/01 - GIAS, pp. 640.

OLIVEIRA, L., LOBO-FERREIRA, J.P., NOVO, M.E. (2010) – **Análise e Parecer Sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores: Relatório Preliminar de Modelação.** Relatório LNEC, 63/2010-NAS, pp. 42, Lisboa, LNEC, Março, 2010.

RODRIGUES, R. (2002) – **Hidrogeologia da Ilha Terceira, Açores-Portugal.** Angra do Heroísmo, Universidade dos Açores, Departamento de Ciências Agrárias, Tese de Doutoramento.

SCHALLER, J., HANSEN, J., MOWEREY, H.A., NINGLEGEN, W., GÖLLINGER, F. (2005) – **Hydrogeological Report Lajes Field, Azores, Portugal – Final.** CH2M HILL, US AIR Forces in Europe. Fevereiro 2005.

ZBYSZEWSKI, G., CÂNDIDO de MEDEIROS A., Ferreira, O. V., Assunção, T. (1971) – **Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Ilha Terceira (Açores)**. Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal, pp. 43.

ANEXOS

ANEXO I
Nota técnica do relatório do LNEC

Nota técnica do relatório do LNEC

"Análise e Parecer Sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores - Relatório Final da Avaliação das Águas Subterrâneas"

O Relatório intitulado "Análise e Parecer Sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores - Relatório Final da Avaliação das Águas Subterrâneas", (Lobo-Ferreira *et al.*, 2010), cuja síntese se apresenta no presente documento, faz parte integrante de um conjunto de documentos elaborados para a Câmara Municipal da Praia da Vitória no âmbito do Estudo intitulado "Análise e Parecer Sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores", desenvolvido pelos Departamentos de Hidráulica e Ambiente e de Geotecnia do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), entre Maio de 2009 e Dezembro de 2010. De acordo com o Plano de Trabalhos foram desenvolvidas diversas componentes tendo sido elaborados o seguinte conjunto de relatórios finais:

1. "Análise e Parecer Sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores - Relatório Final da Avaliação das Águas Subterrâneas" (Lobo-Ferreira *et al.*, 2010).
2. "Prospecção Geofísica, pelo Método da Resistividade Elétrica, no Concelho de Praia da Vitória, Açores" (R. Mota e M.E. Novo, 2010).
3. "Análise e Parecer Sobre a Situação Ambiental nas Áreas de Captação dos Furos de Abastecimento do Concelho de Praia da Vitória – Açores - Avaliação da Caracterização da Contaminação de Solos Junto a Potenciais Focos de Poluição" (C. Jorge, 2010).

São, ainda, parte integrante dos documentos finais os seguintes anexos:

- **Anexo 1** – Novo, M.E. (2010) - "Descrição Geológica Detalhada das Colunas Litológicas obtidas nas Carotes dos Novos Piezómetros", Laboratório Nacional de Engenharia Civil, NAS/DHA, 113 p.
- **Anexo 2** – Oliveira, N.P. (2010) - "Realização de Sondagens para Recolha de Amostras de Solos e Posterior Instalação de Piezómetros no Aquífero Superficial da Região do Graben das Lajes - Concelho de Praia da Vitória, Ilha Terceira – Açores". Direcção de Fundações e Geotecnia da Mota-Engil, 91 p.
- **Anexo 3** – Morais, J. (2010a) - "Relatório de Ensaios – Amostragem e Análise de Águas Subterrâneas". AmbiPar Control, L^{da}., 254 p.
- **Anexo 4** – Morais, J. (2010b) - "Relatório de Ensaios – Amostragem e Análise de Solos". AmbiPar Control, L^{da}., 88 p.
- **Anexo 5** – Aqualis (2010) – "Instalação de Furos e Piezómetros no Concelho de Praia da Vitória, Ilha Terceira – Açores". Aqualis L^{da}.

O trabalho foi desenvolvido em articulação com as diferentes equipas de trabalho e contou com o excelente apoio da Câmara Municipal de Praia da Vitória, nas pessoas do seu Presidente Dr. Roberto Monteiro e Vereador Paulo Messias, com a Força Aérea Portuguesa da Base das Lajes, através dos Senhores Tenente-Coronel Sousa Mendes e Capitão Pêva Soares e das Forças Aéreas Americanas da Base, em especial a Eng.^a Susana Simões e o Senhor Twidwell, a quem se agradece.

ANEXO II
Atas das reuniões

Atas das reuniões

Ata da 1.ª Reunião de acompanhamento, 2013-01-04

Designação	1.ª Reunião de acompanhamento	
Data; hora	2013-01-04; 13h30 – 15h45	
Autoria	Teresa Leitão e J.P. Lobo-Ferreira	
Objetivo	Acompanhamento do desenvolvimento e da eficácia dos trabalhos de reabilitação em curso	
Presenças	ERSARA	<ul style="list-style-type: none"> Eng.º Hugo Pacheco
	LNEC	<ul style="list-style-type: none"> Dr.-Ing. J.P. Lobo-Ferreira Dr. Teresa Leitão
	Comando Português da Zona Aérea dos Açores	<ul style="list-style-type: none"> Coronel António Nunes Capitão Pêva Soares Alferes Alexandre Soares
	Forças Armadas dos Estados Unidos da América nas Lajes (65 ABW da USAFE)	<ul style="list-style-type: none"> Col John Oliver, comandante do <i>Mission Support Group</i> LtCol Teri French, comandante do <i>Civil Engineer Squadron</i> Capt Rui Amaral, oficial do <i>Political Affairs</i> Capitão Amaral Eng.ª Susana Simões, LGS-11, DAF <i>Environmental Engineer</i>
Agenda	<ol style="list-style-type: none"> 1. Informações pelo LNEC/ERSARA dos trabalhos desenvolvidos. 2. Informações pela 65 ABW da USAFE sobre o Plano de Descontaminação. 3. Análise de ações conjuntas para acompanhamento do desenvolvimento e da eficácia dos trabalhos em curso. 4. Marcação da próxima reunião em 2013. 5. Outros assuntos de interesse comum. 	
Ata	<ol style="list-style-type: none"> 1. Informações pelo LNEC/ERSARA dos trabalhos desenvolvidos. <ul style="list-style-type: none"> • Atendendo ao facto de a grande maioria dos presentes estar recentemente nas respetivas funções, o Dr. Lobo-Ferreira fez uma apresentação dos trabalhos anteriormente realizados pelo LNEC para o Governo Regional dos Açores com uma síntese da avaliação ambiental da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos ao longo de toda a área do concelho de Praia da Vitória onde existem captações que podem vir a ser potencialmente afetadas por situações de poluição associadas às infraestruturas da Base das Lajes. • O Dr. Lobo-Ferreira fez uma apresentação dos resultados dos trabalhos desenvolvidos para a ERSARA no âmbito do mapeamento regional dos perímetros de proteção de água para consumo humano no concelho de Praia da Vitória, evidenciando a necessidade de se proceder à reabilitação do Site 3001, nomeadamente por este se encontrar dentro dos perímetros de proteção alargada (3500 dias) das captações do Juncal. 2. Informações pela 65 ABW da USAFE sobre o Plano de Descontaminação. <ul style="list-style-type: none"> • Col John Oliver: <ul style="list-style-type: none"> ○ referiu ser do maior interesse da USAFE poder contar com a consultoria especializada do LNEC no acompanhamento dos trabalhos de descontaminação contratados pela USAFE; ○ referiu a importância desse acompanhamento continuado, pelo menos por um 	

	<p>período alargado de cerca de 5 anos, e perguntou se essa era a intensão, tendo sido referido pelo LNEC/ERSARA que se disponibilizava para tal;</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ informou que o conjunto de ações de descontaminação previstas no relatório “<i>Prepare a remedial design and perform a pilot study for Site s 3001 and 5001, Lajes Field, Azores, Portugal</i>”, datado de dezembro de 2011, estavam em curso e dentro dos prazos previstos; ○ informou que está em curso a atribuição dos trabalhos de remoção do <i>Pipeline</i> do Cabrito a uma empresa; ○ informou, após esclarecimento da Eng.^a Susana Simões, que se pretende que até 2016 as bases americanas na Europa (incl. a 65 ABW da USAFE das Lajes) estejam em estado ambiental qualitativo bom (do ponto de vista da análise de riscos); ○ questionou o LNEC se o trabalho de descontaminação proposto tinha o acordo do LNEC. <ul style="list-style-type: none"> ● Dr. Lobo-Ferreira: <ul style="list-style-type: none"> ○ referiu que o Relatório da AMEC apresenta um bom plano contendo um conjunto de medidas que são de inequívoco interesse para a descontaminação dos locais em causa; ○ referiu que os efeitos dessas ações na melhoria da qualidade das águas subterrâneas deverão ser avaliados no tempo, de forma a reforçar ações face a eventuais desvios na melhoria da qualidade da água. ○ teceu alguns comentários ao Relatório da AMEC de que se salienta: <ul style="list-style-type: none"> ▪ os recentes estudos do LNEC, de aplicação do método de Krijgsman e Lobo-Ferreira e do método legal do raio Fixo, mostram que no aquífero basal a área da Porta de Armas está dentro da zona de proteção alargada (3500 dias). ▪ o método <i>Monitored Natural Attenuation</i> (MNA) conforme referido na pág. 88 do Relatório da AMEC, merece reservas de aceitação, pelos factos referidos no parágrafo anterior, sendo necessária a intervenção proactiva para reabilitação das zonas poluídas, aliás como a USAFE também reconhece. ▪ mencionou que deveria ter sido feita referência direta aos solos poluídos para recuperação da sua qualidade, uma vez que parte importante da poluição (em valor semelhante ao da retenção específica (“<i>specific retention</i>”) dos solos, cerca de 10 a 17% não ser removida por ações de reabilitação do tipo “<i>passive skimmers</i>” e “<i>absorbente socks</i>”. ▪ assim, sugeriu de se efetuassem testes de reabilitação do tipo <i>bioventing</i> ou <i>biosparging</i> na zona não saturada do solo; ▪ finalmente, terminou dizendo que carece de melhor explicação a relação dos níveis de líquido poluente nos piezómetros e a sua relação com os níveis poluídos das águas subterrâneas adjacentes, e.g. a justificação de ter sido medida uma altura de líquido poluente num piezómetro da ordem de 3,3 m, e ser referido no Relatório da AMEC que tal não corresponder a valores adjacentes nas águas subterrâneas sugerindo-se que seriam da ordem de “apenas” 0,38 m. ● Dr. Teresa Leitão: <ul style="list-style-type: none"> ○ reforçou o interesse das medidas propostas no controlo das fontes de poluição, nomeadamente com a remoção do <i>pipeline</i> e a extração de produto petrolífero sobrenadante às águas subterrâneas (LNAPL); ○ referiu que estas medidas deveriam, numa segunda fase após a remoção das fontes principais, ser complementadas com ações de aceleração do processo de degradação como o <i>bioventing</i> ou <i>biosparging</i> na zona não saturada do solo; ○ questionou se estavam também a ser equacionadas medidas para a remoção de produtos mais densos do que a água (DNAPL), nomeadamente TCE, PCE e PAH, já
--	--

	<p>detetados em concentrações vestigiais no aquífero basal;</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ os dois últimos aspetos serão transmitidos pela USAFE à AMEC, responsável pelo trabalho de descontaminação. <ul style="list-style-type: none"> ● Eng. Hugo Pacheco: <ul style="list-style-type: none"> ○ apresentou o interesse da ERSARA - enquanto entidade reguladora e orientadora no sector de abastecimento público de água para consumo humano e de fiscalização e controlo da qualidade da água para consumo humano - no acompanhamento e avaliação da eficácia dos trabalhos em curso visando a proteção das águas subterrâneas para abastecimento público do Concelho de Praia da Vitória. <p>3. Análise de ações conjuntas para acompanhamento do desenvolvimento e da eficácia dos trabalhos em curso.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Foi acordada a partilha, entre as quatro entidades presentes, de toda a documentação produzida para a USAFE (pela AMEC) ou para a ERSARA (pelo LNEC). ● Foi explicitado que o LNEC tem programada para o 1.º trimestre de 2013 a monitorização complementar das águas subterrâneas, em sintonia com a ERSARA e USAFE (AMEC), em áreas localizadas entre o Site 3001 e os furos utilizados para abastecimento. Perspetiva-se a avaliação da eficácia dos trabalhos de descontaminação para salvaguarda da água para consumo humano ● Referiu-se que iriam ser instaladas pelo LNEC, durante esta missão, sondas para registo contínuo, piezométrico e de qualidade da água [três em cada um dos três níveis piezométricos existentes junto à rotunda da Porta de Armas no local de amostragem 6 (FP6A, FP6B e FP6), dois suspensos e um no aquífero basal]. <p>4. Marcação da próxima reunião em 2013.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● O Eng. Hugo Pacheco propôs a marcação de uma 2.ª reunião de acompanhamento dos trabalhos entretanto desenvolvidos, tendo ficado acordado que a mesma se realizaria na última semana de Abril de 2013, em data a acordar. <p>5. Outros assuntos de interesse comum.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Foi reforçado o interesse de todas as partes em continuar a colaborar em estreita articulação para que os trabalhos de descontaminação em curso sejam eficazes e comprovem ser suficientes para assegurar a proteção a longo prazo das águas subterrâneas para abastecimento público no Concelho de Praia da Vitória.
--	--

LNEC, Lisboa, 7 de janeiro de 2013

Ata da 2.ª Reunião de acompanhamento, 2013-04-30

Designação	2.ª Reunião de acompanhamento	
Data; hora	2013-04-30; 14h30 – 16h15	
Autoria	Teresa Leitão e J.P. Lobo-Ferreira	
Objetivo	Acompanhamento do desenvolvimento e da eficácia dos trabalhos de reabilitação em curso	
Presenças	ERSARA	<ul style="list-style-type: none"> • Eng.º Hugo Pacheco
	LNEC	<ul style="list-style-type: none"> • Dr.-Ing. J.P. Lobo-Ferreira • Dr. Teresa Leitão
	Comando Português da Zona Aérea dos Açores	<ul style="list-style-type: none"> • Major Paulo Roda • Capitão Pêva Soares • Alferes Alexandre Soares
	Forças Armadas dos Estados Unidos da América nas Lajes (65 ABW da USAFE)	<ul style="list-style-type: none"> • Capitão Amaral • Eng.ª Susana Simões, LGS-11, DAF <i>Environmental Engineer</i>
Agenda	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ponto da situação e cronograma das ações de monitorização das águas subterrâneas promovidas pelo LNEC/ERSARA. 2. Ponto da situação e cronograma das ações do plano de descontaminação de águas subterrâneas promovidas pela Força Aérea Americana. 3. Análise do Plano de Monitorização das Águas Subterrâneas apresentado pela 65 ABW e resultados obtidos até à data. 4. Marcação da próxima reunião em 2013. 5. Outros assuntos de interesse comum. 	
Ata	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ponto da situação e cronograma das ações de monitorização das águas subterrâneas promovidas pelo LNEC/ERSARA. <ul style="list-style-type: none"> • Eng. Lobo-Ferreira <ul style="list-style-type: none"> ○ fez uma apresentação dos resultados de monitorização dos níveis piezométricos, condutividade elétrica e temperatura obtidos através das três sondas de monitorização colocadas entre janeiro e abril de 2013 em três piezómetros localizados à saída da Porta de Armas [em cada um dos três níveis piezométricos dos FP6A, FP6B e FP6, dois piezómetros nos aquíferos suspensos e um no basal]; ○ esclareceu que estes dados permitem confirmar a ligação hidráulica entre os três níveis aquíferos existentes naquela área, em face da resposta aos eventos de precipitação e de recarga registados ao longo de três meses, e que confirmam a necessidade da reabilitação de hidrocarbonetos em curso a montante; ○ explicou a situação relativa às campanhas complementares do LNEC, referindo que se prevê a realização da primeira no final do primeiro semestre do ano e a segunda cerca de três meses depois. 2. Ponto da situação e cronograma das ações do plano de descontaminação de águas subterrâneas promovidas pela Força Aérea Americana. <ul style="list-style-type: none"> • Eng.ª Susana Simões: <ul style="list-style-type: none"> ○ fez um ponto da situação das ações do plano de descontaminação de águas subterrâneas promovidas pela Força Aérea Americana; ○ informou que o conjunto de ações de descontaminação previstas no relatório 	

	<p>“Prepare a remedial design and perform a pilot study for Site s 3001 and 5001, Lajes Field, Azores, Portugal”, datado de dezembro de 2011, estavam em curso e dentro dos prazos previstos;</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ informou haver um conjunto de dados ainda não reportados sobre a evolução dos produtos petrolíferos sobrenadantes (LNAPL) e apresentou as principais conclusões dos mesmos; ○ referiu que a AMEC iria ser responsável por uma nova campanha de monitorização; ○ informou terem surgido um conjunto de novas situações não previstas, designadamente o reaparecimento de quantidades significativas de LNAPL em furo purgado, com espessura superior às iniciais. <ul style="list-style-type: none"> ● Eng. Lobo-Ferreira: <ul style="list-style-type: none"> ○ referiu que as medidas de reabilitação previstas deveriam, numa segunda fase após a remoção das fontes principais, ser complementadas com ações de aceleração do processo de degradação como o <i>bioventing</i> ou <i>biosparging</i> na zona não saturada do solo. ● Dr. Teresa Leitão: <ul style="list-style-type: none"> ○ questionou se estavam também a ser equacionadas medidas para a monitorização e de remoção de produtos mais densos do que a água (DNAPL), nomeadamente TCE, PCE e PAH, já detetados em concentrações vestigiais no aquífero basal; ○ reforçou a necessidade de transmitir estes dois últimos aspetos à empresa responsável pelo trabalho de descontaminação para as FAA. ● Eng. Hugo Pacheco: <ul style="list-style-type: none"> ○ reforçou a necessidade de remoção das fontes de poluição, nomeadamente com a remoção do <i>pipeline</i> e indagou o ponto da situação. ● Eng.^a Susana Simões: <ul style="list-style-type: none"> ○ informou que ainda está em curso a atribuição dos trabalhos de remoção do <i>Pipeline</i> do Cabrito a uma empresa. <p>Seguiu-se um período de debate onde foram equacionadas diferentes razões para o reaparecimento de LNAPL em alguns MW e onde se procuraram analisar outras ações complementares para se atingir a reabilitação do local, nomeadamente destinadas a remover LNAPL com maior frequência que o contratualizado pelas FAA.</p> <p>3. Análise do Plano de Monitorização das Águas Subterrâneas apresentado pela 65 ABW e resultados obtidos até à data.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Dr. Teresa Leitão: <ul style="list-style-type: none"> ○ apresentou uma síntese da avaliação dos documentos promovidos pelas Forças Aéreas Americanas (FAA) (USAFE 65 CES/CEAN): "Tab 3 - Final GW Monitoring Plan_PORT.pdf" e "Tab 4 - LNAPL LTM MWH memo.pdf". O primeiro documento apresenta uma descrição detalhada do plano de monitorização final das águas subterrâneas e o segundo é um memorandum de duas páginas contendo uma síntese do primeiro relatório referido; ○ teceu um conjunto de comentários e fez algumas sugestões, apresentadas em maior detalhe numa Nota Técnica entregue na reunião; ○ solicitou às FAA o envio dos novos dados relativos aos piezómetros de monitorização (MW) instalados pela FAA nos últimos dois anos, com informação dos <i>logs</i> litológicos atravessados, localização dos ralos para entrada de água e profundidade de cada ponto. <p>Seguiu-se um debate de ideias e sugestões no sentido de potencializar a contribuição das várias entidades envolvidas no processo de reabilitação e de acompanhamento da situação.</p> <p>4. Marcação da próxima reunião em 2013.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● O Eng. Hugo Pacheco propôs a marcação de uma 3.^a reunião de acompanhamento dos trabalhos entretanto desenvolvidos, tendo ficado acordado que, em princípio, a mesma
--	--

	<p>se realizaria no dia 8 de julho de 2013.</p> <p>5. Outros assuntos de interesse comum.</p> <ul style="list-style-type: none">• Foi reforçado o interesse de todas as partes em continuar a colaborar em estreita articulação para que os trabalhos de descontaminação em curso sejam eficazes e comprovem ser suficientes para assegurar a proteção a longo prazo das águas subterrâneas para abastecimento público no concelho de Praia da Vitória.• Foi realizada uma visita aos locais onde estão a ser conduzidas as ações de reabilitação no <i>Site</i> 3001.
--	---

LNEC, Lisboa, 20 de maio de 2013

Ata da 3.^a Reunião de acompanhamento, 2013-11-19

Designação	3.^a Reunião de acompanhamento	
Local; Data; hora	Força Aérea Americana nas Lajes; 2013-11-19; 13h30 – 16h15	
Autoria	Teresa E. Leitão	
Objetivo	Acompanhamento do desenvolvimento e da eficácia dos trabalhos de reabilitação em curso	
Presenças	Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Inec)	<ul style="list-style-type: none"> • Dr. Teresa Leitão
	Comando Português da Zona Aérea dos Açores (FAP)	<ul style="list-style-type: none"> • Alferes Alexandre Soares • Sargento-Mor Filipe
	Forças Armadas dos Estados Unidos da América nas Lajes (65 ABW da USAFE ou FAA)	<ul style="list-style-type: none"> • Eng.^a Susana Simões, LGS-11, DAF <i>Environmental Engineer</i>
	De referir que foi prevista a presença de diversas outras entidades, nomeadamente da ERSARA, a MWH e a BHATE, através de teleconferência, o que não chegou a acontecer devido a problemas técnicos.	
Agenda	<p>6. Ponto da situação e cronograma das ações de monitorização das águas subterrâneas promovidas pelo LNEC/ERSARA.</p> <p>7. Ponto da situação e cronograma das ações de monitorização e de descontaminação de águas subterrâneas promovidas pela Força Aérea Americana (FAA).</p> <p>8. Análise conjunta dos resultados obtidos até à data pelo LNEC e FAA e estudo de ações complementares.</p> <p>9. Outros assuntos de interesse comum.</p>	
Ata	<p>6. Ponto da situação e cronograma das ações de monitorização das águas subterrâneas promovidas pelo LNEC/ERSARA.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dr. Teresa Leitão: <ul style="list-style-type: none"> ○ fez uma apresentação com a síntese dos resultados de monitorização obtidos até à data, que permitem confirmar a ligação hidráulica entre os três níveis piezométricos existentes naquela área, em face da resposta aos eventos de precipitação e de recarga registados ao longo de três meses, o que, como já referido nas reuniões anteriores, confirmam a necessidade da reabilitação de hidrocarbonetos em curso a montante; ○ apresentou os resultados da campanha complementar do LNEC, de julho de 2013, onde se verifica a presença de novos hidrocarbonetos nalguns pontos dentro do <i>Site 3001</i> e a ausência de hidrocarbonetos nos pontos localizados fora desse local, para todas as profundidades analisadas. ○ referiu que estava a ser realizada nesses dias a última campanha de 2013, nos mesmos pontos e profundidades, no sentido de se analisar a evolução da situação. ○ referiu que o relatório final do LNEC seria entregue à ERSARA em dezembro de 2013, sendo posteriormente disponibilizado às entidades interessadas. <p>7. Ponto da situação e cronograma das ações do plano de descontaminação de águas subterrâneas promovidas pela Força Aérea Americana.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eng.^a Susana Simões: 	

	<ul style="list-style-type: none"> ○ fez um ponto da situação das ações do plano de descontaminação de águas subterrâneas promovidas pela FAA; ○ apresentou um conjunto de dados sobre a evolução dos produtos petrolíferos sobrenadantes (LNAPL), com periodicidade mensal, onde se verifica que há decréscimos na espessura de produto sobrenadante nalguns piezómetros, embora também haja outros locais onde se observam aumentos; ○ referiu que os dados das últimas campanhas de monitorização lhe tinham sido entregues há pouco e que os estava a analisar mas adiantou que foram encontradas evidências de atividade microbiológica relacionadas com biodegradação dos contaminantes. Serão posteriormente enviados à FAP que os reencaminhará para o LNEC. <p>8. Análise conjunta dos resultados obtidos até à data pelo LNEC e FAA e estudo de ações complementares.</p> <p>Seguiu-se um período de debate com a participação de todos os presentes onde foram equacionadas diferentes razões para o reaparecimento de LNAPL em alguns pontos e onde se procuraram analisar outras ações complementares para se atingir a reabilitação do local, nomeadamente destinadas a remover LNAPL com maior frequência que o contratualizado pelas FAA.</p> <p>Houve um debate de ideias e sugestões no sentido de potencializar os processos de monitorização e de reabilitação que permitisse abranger todos os poluentes que constituem motivo de preocupação, nomeadamente hidrocarbonetos com densidades diferentes das da água.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dr. Teresa Leitão: <ul style="list-style-type: none"> ○ referiu que deveriam ser postas em prática procedimentos de monitorização complementares à amostragem representativa, em curso pela FAA, que permitissem obter o pior cenário de concentrações quer de LNAPL quer de produtos mais densos do que a água (DNAPL, nomeadamente TCE, PCE e PAH, já detetados em concentrações vestigiais no aquífero basal) através de uma recolha de amostras no contacto com o nível piezométrico (para os LNAPL) e na base dos piezómetros (para os DNAPL); ○ referiu haver hipótese de se fazer monitorização passiva integrada ao longo de alguns meses, também complementar à amostragem pontual; ○ referiu que, com base nos resultados obtidos, deveriam ser equacionadas formas de remoção de eventuais DNAPL presentes, nomeadamente a sua remoção por bombagem; ○ reforçou a necessidade de remoção das fontes de poluição, nomeadamente com a remoção do <i>pipeline</i> e indagou o ponto da situação. • Eng.^a Susana Simões: <ul style="list-style-type: none"> ○ referiu que foram feitos reajustes no sentido de retirar produto sobrenadante em locais inicialmente não previstos, mas onde este apareceu; ○ referiu que estavam a ser considerados novos procedimentos de amostragem e que iria discutir com as empresas responsáveis pela monitorização algumas das sugestões equacionadas durante a reunião, nomeadamente em relação aos DNAPL; ○ referiu que a possibilidade de remoção de DNAPL só seria considerada pela FAA se, com base nos resultados obtidos, fosse considerado que a sua presença constituiria um risco; ○ informou que está a aguardar verbas disponíveis a atribuição dos trabalhos de remoção dos <i>Pipelines</i> do Cabrito e Cova das Cinzas a uma empresa. <p>9. Outros assuntos de interesse comum.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Foi reforçado o interesse de todas as partes em continuar a colaborar em estreita articulação para que os trabalhos de descontaminação em curso sejam eficazes e comprovem ser suficientes para assegurar a proteção a longo prazo das águas subterrâneas para abastecimento público no concelho de Praia da Vitória. • Foi referido o interesse de o LNEC continuar a acompanhar este processo, pelo menos
--	--

	<p>por mais um ano, até que houvesse alguma estabilização dos resultados da reabilitação.</p> <ul style="list-style-type: none">• O LNEC disponibilizou-se para qualquer reunião posterior (por skype) que se viesse a revelar necessária.
--	--

LNEC, Lisboa, 22 de novembro de 2013

ANEXO III
Nota técnica

Nota técnica

ANÁLISE E ACOMPANHAMENTO DOS TRABALHOS DE REABILITAÇÃO PARA MELHORIA DA SITUAÇÃO AMBIENTAL ENVOLVENTE AOS FUROS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO CONCELHO DE PRAIA DA VITÓRIA, AÇORES

Proc. 0607/01/18422

1. Introdução

Esta nota técnica apresenta uma síntese da avaliação dos documentos promovidos pelas Forças Aéreas Americanas (FAA) (USAF USAFE 65 CES/CEAN) tendo em vista apoiar a 2.ª reunião de acompanhamento dos trabalhos a realizar na última semana de abril de 2013, enquadrada no definido no ponto c) i. a iii. do Plano de Trabalhos do LNEC para a ERSARA.

Desde o início do projeto e até à data da 2.ª reunião de acompanhamento, em 2013-04-29, foram entregues ao LNEC os seguintes dois documentos promovidos pelas FAA (enviados através do ofício do Comando da Zona Aérea Portuguesa e do Email do Eng. Hugo Pacheco): "Tab 3 - Final GW Monitoring Plan_PORT.pdf" e "Tab 4 - LNAPL LTM MWH memo.pdf". O primeiro documento apresenta uma descrição detalhada do *plano de monitorização final das águas subterrâneas* e o segundo é um memorandum de duas páginas contendo uma síntese do primeiro relatório referido. O plano de monitorização contém os dados relativos à extração de LNAPL, já efetuada, e uma proposta de monitorização a longo prazo prevista para os locais 3001 e 5001 visando o acompanhamento dos processos de reabilitação e de atenuação natural em curso. Há, ainda, um terceiro documento "Tab 2 - Final GW Monitoring Plan_ENG.pdf" que é uma versão em inglês do primeiro relatório referido.

2. Análise dos trabalhos promovidos pela USAF USAFE 65 CES/CEAN

2.1 Reabilitação

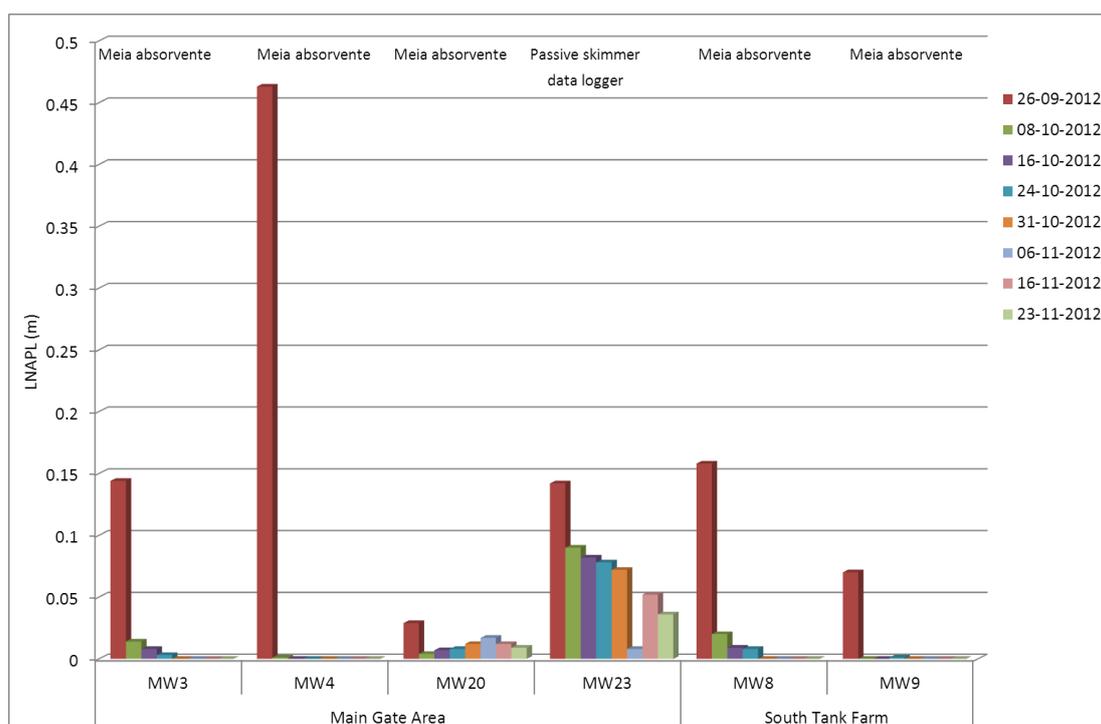
Os diversos estudos e trabalhos desenvolvidos no local até à data, quer pela FAA (através de diversas entidades onde se inclui inicialmente a AMEC e presentemente a ERM/MWN) quer pelo Governo Regional dos Açores (através do LNEC) concluíram ser necessário efetuar a reabilitação das águas subterrâneas do local visando, numa primeira fase, retirar os LNAPL sobrenadantes e efetuar uma monitorização da atenuação natural em curso, para posterior reavaliação. Nesse contexto, em setembro de 2012 foi efetuado pela MWH, para a FAA, um reconhecimento das condições dos piezómetros existentes por forma a avaliar aqueles onde deveria ser feita a extração de LNAPL, num universo de 47 piezómetros inventariados, bem como os locais mais indicados para a monitorização da evolução da situação.

Foi detetada a presença de LNAPL sobrenadando as águas subterrâneas em seis piezómetros, quatro dos quais localizados no local 3001 e dois no local 5001 (locais referidos na Figura em baixo).

Em setembro de 2012 foram retirados manualmente, através de *bailers* descartáveis, 46 litros de LNAPL nos piezómetros acima referidos. Subsequentemente foram instalados 1 descarregador passivo inicialmente no MW04 mas que depois passou para o MW23 (Site 3001), local onde a presença de LNAPL se revelou mais persistente, e 5 meias absorventes nos restantes piezómetros incluindo o MW04.

Foram, igualmente, instalados 3 *data loggers* no MW11 e MW23 (Site 3001) e no MW20 no local 5001 para registo da variação do n.p. de 30 em 30 minutos.

Após estas ações está a ser conduzida uma verificação semanal da evolução da situação onde é possível registar uma redução clara de LNAPL, apenas existindo em quantidade suficiente para estar sobrenadando a água nos pontos MW20 e MW23 (0,9 cm e 3,6 cm, situação em 2012/11/23). Na figura apresenta-se a evolução da situação efetuada com os dados fornecidos no relatório Tab 4 - LNAPL LTM MWH memo.pdf. Não foram fornecidos mais dados sobre a evolução desta situação.



As ações levadas a cabo parecem-nos ir ao encontro do pretendido, *i.e.* reabilitar os locais mais contaminados com LNAPL e monitorizar a evolução da situação de atenuação natural durante um ano, para posterior reavaliação da situação. A questão dos NAPL mais densos do que a água (DNAPL) não é contemplada, assunto que deverá ser discutido durante a reunião.

2.2 Monitorização

O objetivo da monitorização e amostragem de águas subterrâneas é documentar a evolução da remediação LNAPL (fase líquida não aquosa leve) que está a ser realizada nos locais 3001 e 5001 na Base das Lajes. Para o efeito pretende-se: (1) avaliar a evolução do sobrenadante, (2) as concentrações nos restantes piezómetros, (3) a potencial migração da pluma, e (4) reunir o máximo de informação indireta sobre a qualidade das águas subterrâneas que permita aferir a atenuação natural dos LNAPL existente no local.

Foi estabelecido um programa de monitorização para as FAA onde se definem os locais a monitorizar, a frequência de monitorização, os parâmetros a analisar e os procedimentos de amostragem. Este programa contempla uma rede de (1) Monitorização a Longo Prazo (LTM) e de (2) Monitorização da Atenuação Natural (MNA), a serem revistas após os resultados do primeiro ano. Tecem-se algumas considerações sobre o programa de monitorização apresentado, com as sugestões a discutir na reunião a azul.

Locais a monitorizar

Foram propostos 22 piezómetros para fazerem parte da rede de Monitorização a Longo Prazo, 18 dos quais localizados no Site 3001 e 4 no Site 5001. A justificação apresentada para a sua escolha parece adequada na medida em que tem em conta o historial dos locais, nomeadamente aqueles em que se observa ou observou a presença de LNAPL, os locais com vestígios e aqueles que historicamente nunca foram afetados. Por outro lado é dada maior incidência ao Site 3001, cujo interesse para a proteção aos furos de abastecimento de água ao concelho de Praia da Vitória é maior, dada a sua localização a jusante desse Site.

Por outro lado foi, ainda, proposta a monitorização de 7 piezómetros para fazerem parte do Programa de Atenuação Natural (com o ponto MW25 em comum).

Da proposta apresentada, apenas se sugere incluir também o ponto MW07 (Site 3001) na rede de monitorização LTM no que diz respeito apenas ao registo da piezometria, para facilitar a interpretação posterior da piezometria, na medida em que há poucos valores na envolvente. Os restantes locais propostos parecem adequados.

O número de 22 e 7 pontos de monitorização propostos para o LTM e MNA aparece na Tabela 2.3 como 23 e 6, sugerindo que se trata de uma gralha.

Frequência de monitorização

A frequência de monitorização prevista inclui campanhas semestrais de monitorização durante 1 ano (2 campanhas), incluídas no Plano de Monitorização a Longo Prazo e na Atenuação Natural Monitorizada (designadas por LTM e MNA).

Parece-nos uma frequência adequada.

Parâmetros a analisar

Os parâmetros a analisar no âmbito do programa de LTM incidem sobre os BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno), TPH (hidrocarbonetos totais do petróleo, C5-C36) e PAH (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos).

Para o programa de MNA é proposta a monitorização de indicadores geoquímicos que traduzem a redução da água por consumo de oxigénio resultante da eventual degradação de hidrocarbonetos [(oxigénio dissolvido (O_2); potencial de oxidação-redução (ORP); pH; condutividade elétrica; temperatura, sulfato (SO_4^{2-}); nitrato (NO_3^-); ferro ferroso dissolvido (Fe^{2+}); manganês dissolvido (Mn); metano (CH_4)], e parâmetros microbiológicos.

Durante a amostragem é ainda registado o nível piezométrico, a interface água / produto livre e os parâmetros de campo pH, temperatura, oxigénio dissolvido, potencial de oxidação-redução (ORP), e condutividade elétrica, bem como observações organoléticas.

Sugere-se que sejam explicitados quais os parâmetros a analisar no que diz respeito aos PAH. Sugere-se que incluam, pelo menos, o acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno, benzo(k)fluoranteno, criseno, dibenz(a,h)antraceno, fluoranteno, fluoreno, indeno(1.2.3.cd)pireno, naftaleno, fenantreno e pireno.

Nestes planos não é considerada a monitorização de DNAPL (hidrocarbonetos mais densos que o petróleo). Consideram-se prioritários, pelo menos, os elementos cuja concentração foi superior ao limite de deteção nalgum ponto do aquífero basal ou a valores que devem ser analisados segundo o Decreto-Lei n.º 306/2007 - *Qualidade da água destinada ao consumo humano*. Destaca-se, de entre os compostos orgânicos voláteis halogenados: 1,2-dicloroetano, bromodiclorometano, bromofórmio, dibromoclorometano, tetracloroetileno (PCE) e tricloroetileno (TCE).

Procedimentos amostragem

Os procedimentos de amostragem de águas subterrâneas referem que as amostras serão recolhidas através da tecnologia de bombeamento de baixo caudal, usando uma bomba *bladder*. O propósito é recolher uma amostra de água subterrânea representativa do aquífero em torno do piezómetro, cujo procedimento evite o arejamento e a potencial volatilização de parâmetros objetivo.

O procedimento proposto é o indicado para a recolha de amostras representativas, devendo ser explicitado que a amostra deverá ser recolhida após a purga de um volume equivalente a três vezes o volume da coluna saturada do piezómetro ou até à estabilização dos parâmetros pH, temperatura e condutividade elétrica na água da purga. Se possível, deve ser referida a profundidade média de amostragem em cada piezómetro.

Atendendo a que o objetivo deste trabalho é avaliar os efeitos das ações de reabilitação dos LNAPL ao longo do tempo, a recolha de amostras de água representativas proposta dará origem a resultados de concentrações em LNAPL baixas, i.e. apenas correspondentes à fração diluída, na medida em que estes hidrocarbonetos flutuam maioritariamente sobre a água. Nesse contexto, julga-se que a recolha de amostras (não representativas) localizadas na parte superficial da coluna de água onde os LNAPL se concentram, permitiria obter uma informação do pior cenário e, assim, melhor orientar os procedimentos da reabilitação. Complementarmente poderiam ser efetuadas algumas das amostragens representativas sugeridas.

Da mesma forma teria interesse efetuar uma análise localizada de DNAPL (incluindo os acima referidos) junto à base dos aquíferos suspensos para avaliar a sua potencial presença.

Programa analítico e metodologia

O programa e protocolos previstos integram uma adequada cadeia de custódia, incluindo questões de saúde pública, onde os meios analíticos a utilizar parecem adequados e há o adequado número de duplicados, e brancos de viagem e de equipamento.

O limite de deteção para os PAH (0,5 µg/L) é elevado se corresponder a um valor unitário. Sugere-se que os limites sejam, pelo menos, uma ordem de grandeza inferior.

2.3 Considerações finais

Nas referências dos elementos analisados não está o estudo do LNEC. Seria importante dar a conhecer esse trabalho à nova equipa, nomeadamente para incorporação das ideias subjacentes à análise da amostragem a diferentes profundidades num mesmo piezómetro.

Lisboa, LNEC em 2013-04-23

Teresa E. LEITÃO

PhD in Hydrogeology, Senior Research Officer with Habilitation, Groundwater Division – LNEC/DHA, Av. do Brasil, 101 P-1700-066 Lisbon, Email: tleitao@lnec.pt

João Paulo LOBO-FERREIRA

Dr.-Ing. Habil, Principal Researcher, Groundwater Division Head – LNEC/DHA, Av. do Brasil, 101 P-1700-066 Lisbon, lferreira@lnec.pt

ANEXO IV
Capas dos relatórios analisados

Capas dos relatórios analisados

	<p>Lajes Field Azores, Portugal</p> <p>Final Groundwater Monitoring Program Plan</p> <p><i>Prepared For:</i> Lajes Field, Azores, Portugal Air Force Civil Engineer Center Lackland Air Force Base, Texas</p> <p>Contract Number: FA8903-10-D-8573 Delivery Order: 0002 Project: MQNA0879151P1 Perform LNAPL (LIGHT NON-AQUEOUS PHASE LIQUID) extraction and long term monitoring at sites 3001 and 5001 at Lajes Field, Azores, Portugal</p> <p>December 2012</p>		<p>Base Aérea das Lajes Açores, Portugal</p> <p>Plano Monitorização Final das Águas Subterrâneas</p> <p><i>Preparado para:</i> Base Aérea das Lajes, Açores, Portugal Centro de Engenharia Civil da Força Aérea, Lackland Air Force Base, Texas</p> <p>Número do Contrato: FA8903-10-D-8573 Ordem de entrega: 0002 Projeto: MQNA0879151P1 Realização da extração de LNAPL (fase líquida leve não aquosa) e monitorização de longo prazo nos locais 3001 e 5001 na Base das Lajes, Açores, Portugal</p> <p>Dezembro de 2012</p>
			

	<p>MEMORANDUM</p>																												
<p>Date: 12.12.2012</p> <p>Distribution list: Susana Simoes</p> <p>Subject: Perform LNAPL (LIGHT NON-AQUEOUS PHASE LIQUID) extraction and long term monitoring at sites 3001 and 5001 at Lajes Field, Azores, Portugal – Project Status update.</p> <p>Dear Susana</p> <p>A baseline study was conducted on September 2012 at the Lajes Field at sites 3001 and 5001 to confirm initial conditions and to confirm that the appropriate wells are included for extraction activities. As part of the field works all site wells were inspected for a total amount of 47 wells. No. 6 wells containing measurable LNAPL were detected and free product thickness noted in the appropriate field forms. The following table presents the list of Wells Object of Remedial Activities (WORA) with LNAPL presence at both sites.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Wells Objective of Remedial Activities (September, 2012)</th> </tr> <tr> <th colspan="2">DISCO 5001 Site - With LNAPL presence</th> <th colspan="2">DISCO 3001 Site - With LNAPL presence</th> </tr> <tr> <th>WID</th> <th>LNAPL Thickness (m)</th> <th>WID</th> <th>LNAPL Thickness (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MW03</td> <td>0.199</td> <td>MW08</td> <td>0.118</td> </tr> <tr> <td>MW04</td> <td>0.463</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MW20</td> <td>0.029</td> <td>MW09</td> <td>0.070</td> </tr> <tr> <td>MW25</td> <td>0.142</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Following the initial wells gauging (September 2012), a LNAPL manual extraction conducted by means of disposable bailers was performed at the aforementioned wells. A total approximated amount of 46 litres of LNAPL were extracted from the WORA during this initial extraction, and a total volume of approximately 44 litres of oily water that was properly stored in 200-litres containers and sent to the Hazardous Waste Storage Area located at the base to be properly disposed. As a consequence of the LNAPL thickness readings and considering the passive recovery equipment available, one (1) passive skimmer was installed at MW25 (Site 3001), and five (5) absorbent socks at the remaining of the WORA.</p> <p>Finally, a set of three (3) data loggers were installed at MW11 and MW23 at Site 3001 and MW20 at Site 5001 to register groundwater level fluctuations on a continuous basis (programmed to readings each 30 minutes).</p> <p>Following the baseline study, the activities continued based on weekly inspections of equipped wells for passive skimmer control and/or absorbent sock replacement. First weekly inspection was conducted on October 8, 2012.</p>	Wells Objective of Remedial Activities (September, 2012)				DISCO 5001 Site - With LNAPL presence		DISCO 3001 Site - With LNAPL presence		WID	LNAPL Thickness (m)	WID	LNAPL Thickness (m)	MW03	0.199	MW08	0.118	MW04	0.463			MW20	0.029	MW09	0.070	MW25	0.142			<p>(CDRL A007) and an environmental sampling and analysis plan (SAP) (CDRL A008). After the final work plan submittal, AMEC will start field activities.</p> <p>Task 3.0 Fieldwork Activities:</p> <p>AMEC will perform one (1) sampling and monitoring event, including groundwater sampling at a total of 34 selected monitoring wells, DNAPL sampling at a total of 6 monitoring wells and soil vapor/indoor air sampling at approximately 15-20 locations at the following sites:</p> <ul style="list-style-type: none"> Main Gate Area, Site 3001: Groundwater sampling will include five (5) of the 26 wells located at Site 3001 (MW07, MW10, MW14, MW15, and MW17). Wells with LNAPL present (MW03, MW04, MW20, and MW23) will be sampled for Dense, Non-Aqueous Phase Liquid (DNAPL) using a discrete interval sampler, and additional low-flow pumps as deemed necessary. Main Gate Area, Site 3001: Soil vapor samples will be collected from approximately 5-10 locations in Apron A in the vicinity of buildings T-701, T-705, T-706, and T-751. Vapors collected from the probes will be analyzed for total petroleum hydrocarbons (TPH), benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes (BTEX), and PAHs. Additionally, soil vapor samples will be collected from beneath the building's floor slabs. Sub-slab samples will be collected from approximately 10 locations inside the buildings. Alternatively to the soil gas investigation beneath the buildings, indoor air sampling and analysis on Volatile Organic Compounds (VOCs) will be performed in offices or other working rooms. Main Power Plant, Site 3003: Groundwater sampling will be performed at all six (6) wells at Site 3003 (MW01 through MW06). Seven Hydrants Area, Site 3005: All seven (7) monitoring wells at Site 3005 will be sampled (MW01 through MW07). South Tank Farm, Site 5001: The groundwater sampling will include seven (7) monitoring wells in the area of known groundwater impacts at the South Tank (MW18, MW19, MW21, MW22, MW23, MW25, and MW26). Wells with LNAPL present (MW08 and MW09) will also be sampled for DNAPL chemicals using a discrete interval sampler and additional low-flow pumps as deemed necessary. Cinder Pits Fuel Tanks, Site 5002: Groundwater sampling will be performed at two (2) wells (MW3 and MW4). Base Drinking Water Wells: Groundwater sampling will be performed at all operational wells. The total number of base drinking water wells is seven (7) and the minimum number of operational wells is four (4).
Wells Objective of Remedial Activities (September, 2012)																													
DISCO 5001 Site - With LNAPL presence		DISCO 3001 Site - With LNAPL presence																											
WID	LNAPL Thickness (m)	WID	LNAPL Thickness (m)																										
MW03	0.199	MW08	0.118																										
MW04	0.463																												
MW20	0.029	MW09	0.070																										
MW25	0.142																												
		<p>19 March 2013 Use or disclosure of data contained on this sheet is subject to the restriction on the TOC page of this proposal.</p>																											

4 DISCO SITE 3001 – MAIN GATE AREA

4.1 INVESTIGATION AREA AND SUMMARY OF PREVIOUS INVESTIGATIONS

The Main Gate (also named "Posto Um") of Lajes Field is located at the southeasterly boundary of the installation. This area is shown on Figure 4.6 at the end of this section. CH2M HILL (2004a) combined the areas on both sides of Avenida do Imperio from the Main Gate to the southeast to Buildings T-608 and T-709 to the northwest, the fuel pipeline along the southeastern Base boundary, and the abandoned Five Hydrants System southwest of Apron A to form DISCO Site 3001 – Main Gate Area. Due to the well documented presence of contamination, the Main Gate Area is considered an area of significant environmental concern at Lajes Field.

For purposes of discussion, the Main Gate Area is divided into two subareas:

- Area 5 subarea, which is north east of Avenida do Imperio. This area includes Bldgs. T-604 and T-640, several paved areas (near Avenida do Imperio), and a large grassy area that slopes up to the east.
- Apron A subarea, which is between the flight-line perimeter road and Bldgs. T-708, T-701, T-706, T-751. This area is generally flat and essentially entirely covered with asphalt or concrete pavement.

This DISCO site comprises several areas of potential concern. Former site activities included bulk fuel storage, a fuel dispenser rack, an aircraft refueling system, fuel pipelines, and several aircraft maintenance shops. The bulk fuel storage and fuel dispenser rack were located in Area 5 in the eastern portion of the Main Gate Area and were in use since the 1950s. Eight large ASTs originally comprised the bulk fuel storage. Three ASTs, which were located northeast of the Main Gate, were removed in approximately 2005, when the area was upgraded and the new Base Pass Office was built. Another large fuel AST at the slope near the eastern site boundary was marked as abandoned on a map of the Base fuels system dated 1968 and was demolished in the late 1960s or early 1970s.

Current site use includes the main entrance gate to the Base, aircraft maintenance shops, various storage and office buildings, parking lots, and undeveloped areas. The current land use designations at the Main Gate Area are airfield, aircraft operations and maintenance, administrative, and industrial.

The ASTs and fuel dispenser rack at Area 5 are scheduled for demolition. According to the Community Planner for 65 CES/CEAD, the area will remain under an industrial land use designation type. Also the land use in the Apron A subarea will not be changed in the near future.

Several spills have been reported in the area of the former bulk fuel storage. For example, a release of 36,000 gallons of JP-4 that occurred after tank damage was caused by an earthquake in 1980. The remaining four ASTs in Area 5 and the fuel dispenser rack are decommissioned and scheduled for demolition. Significant restructuring at the Main Gate Area has been performed since 2005 including the decommissioning of various pipelines.

Previous investigations identified impacts to groundwater from total petroleum hydrocarbons (TPH) and benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes (BTEX), which are summarized below.

Date: 10.05.2013

Distribution list: Susana Simoes

Subject: Perform LNAPL (LIGHT NON-AQUEOUS PHASE LIQUID) extraction and long term monitoring at sites 3001 and 5001 at Lajes Field, Azores, Portugal – Project Status update.

Dear Susana,

This is an update on the Phase II of the wells' monitoring project we are performing. The inspection performed on 23rd April 2013 confirmed that monitoring wells MW08 and MW09 located in the South Tank Farm Area as well as MW04 do not show free product presence anymore. A small product thickness increase (from 7 to 12 cm) has been detected in MW23. This fluctuation is to be considered normal when dealing with passive accumulation systems, whose efficiency strongly depend on GW level fluctuations.

Regarding the impacted MW20, a short-term LNAPL recovery test has been carried out with the objective to further evaluate the occurrence and nature of LNAPL. The LNAPL was removed using disposable bailer with the following outcomes:

Date	Time	Depth to Groundwater (m)	Depth to Free Product (m)	Free Product Thickness (m)	Volume of Fluids Removed
23/04/2013	9:20	16.774	15.106	1.668	It was recovered 1.235l product from the petro-bailer and approximately 11 bailers full of LNAPL.
	11:55	16.300	15.085	1.215	

An additional inspection has been conducted on 6th May at MW20 and MW03. Persistence of free product in MW20 has been confirmed while a significant thickness of free product (about no. 9 bailers of LNAPL were extracted) has been observed in MW03, near to MW20.

The data collected, confirmed that LNAPL are currently entering the wells, and apparently there is a product accumulation above the normal water depth, probably accumulated in a level which is only accessible when the water table rises.

Free product extraction active systems have thus been proposed and quoted and are currently under evaluation.

Regarding LTM & MNA, the first semi-annual monitoring campaign has been conducted as per GW Monitoring Plan requirements. Outcomes of this investigation will be presented in the relevant report to be submitted by early June, according to the CDRL.

Date: 04.06.2013

Distribution list: Susana Simoes

Subject: Perform LNAPL (LIGHT NON-AQUEOUS PHASE LIQUID) extraction and long term monitoring at sites 3001 and 5001 at Lajes Field, Azores, Portugal – Project Status update.

Dear Susana,

This is an update on the Phase II of the wells' monitoring project we are performing.

The inspection conducted on 23 May 2013 confirmed that monitoring wells MW08 and MW09, located in the South Tank Farm Area, as well MW04, located in the Main Gate Area, do not show free product presence anymore. The product increase detected during April campaign in MW23, located in the South Tank Farm Area, is confirmed (product thickness is raised from 0.12 to 0.15 m). Although a fluctuation is to be considered normal when dealing with passive accumulation systems, whose efficiency strongly depends on GW level fluctuations, the collected data confirms an increasing trend of the product presence in the well.

In MW20, located in the Main Gate Area, product presence has been confirmed and LNAPL thickness has increased up to about 1.8m.

A significant product increase has finally been observed also in MW03, where product thickness has increased up to around 0.7m.

As MW20 and MW03 are very close (see map reported below), a better investigation and understanding of the aquifer characteristics and potential connection paths in between the monitoring wells (through a geophysical investigation) seem to be necessary for properly design and dimension free product extraction active systems.

Increases of the free product thickness along with the fast product recovery in the affected wells determine the need of active extraction systems.



Date: 15.10.2013

Distribution list: Susana Simoes

Subject: Perform LNAPL (LIGHT NON-AQUEOUS PHASE LIQUID) extraction and long term monitoring at sites 3001 and 5001 at Lajes Field, Azores, Portugal – Project Status update.

Dear Susana,

This is an update on the Phase II of the wells' monitoring project we are performing.

The monthly monitoring inspection performed on September 30th, 2013 indicated that monitoring wells MW08 and MW09, located in the South Tank Farm Area, and MW04, located in the Main Gate Area, do not show free product presence. MW23, located in the Main Gate Area, had a slight decrease of product, the thickness is approximately 22.0cm, and 0.17L of fluids were removed. As stated on our previous memorandum, the fluctuation is to be considered normal when dealing with passive accumulation systems, which have an efficiency that depends on GW level fluctuations.

In MW20, located in the Main Gate Area, product presence has been confirmed and LNAPL thickness has decreased. It was measured on the additional September 10th campaign at 0.26m, and further on the scheduled September 30th campaign at 0.14m. During this last campaign, a total of 3.21L of LNAPL were extracted (0.737L were removed from the petrobailer and 2.473L were removed with a bailer).

Likewise, an increase in product thickness has been observed in MW03, it is approximately 0.105m thick, and 0.567L of fluid were extracted.

Below please find the summary table for the free product thickness within the MWs.

ANEXO V

Análise da variação dos níveis piezométricos no local 6 (piezómetros FP6, FP6A, FP6B)

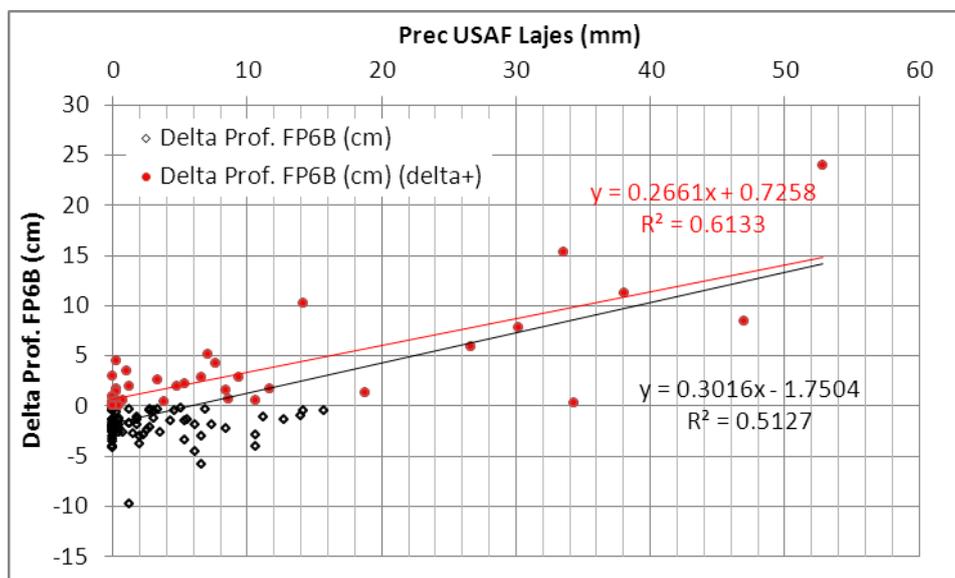
Análise da variação dos níveis piezométricos no local 6 (piezómetros FP6, FP6A, FP6B)

1 Formações hidrogeológicas superficiais

1.1 Considerando toda a precipitação

A Figura A-1 representa a variação do NP das formações hidrogeológicas superficiais em função da precipitação e as retas de regressão encontradas e respetivos quadrados dos coeficientes de correlação, para duas situações distintas: considerando todos os dados, ou considerando apenas os dados em que a variação do NP foi positiva. Descidas do NP apesar da ocorrência de precipitação são de esperar quando os processos E_{bs} e E_{b2s} excedem os processos R e E_{be} . Verifica-se que para precipitações superiores a 16 mm a variação do NP é sempre positiva, apesar de se ter registado um caso quase sem variação.

Com base nestes resultados é possível constatar uma relação entre a variação do NP e a precipitação, mais acentuada no caso de se considerar apenas as variações positivas (subidas) do NP.



do solo nem toda a precipitação se transforma em recarga. A Figura A-2 representa para vários limiares de precipitação a relação entre a subida do NP e a precipitação, representando também os quadrados dos coeficientes de correlação.

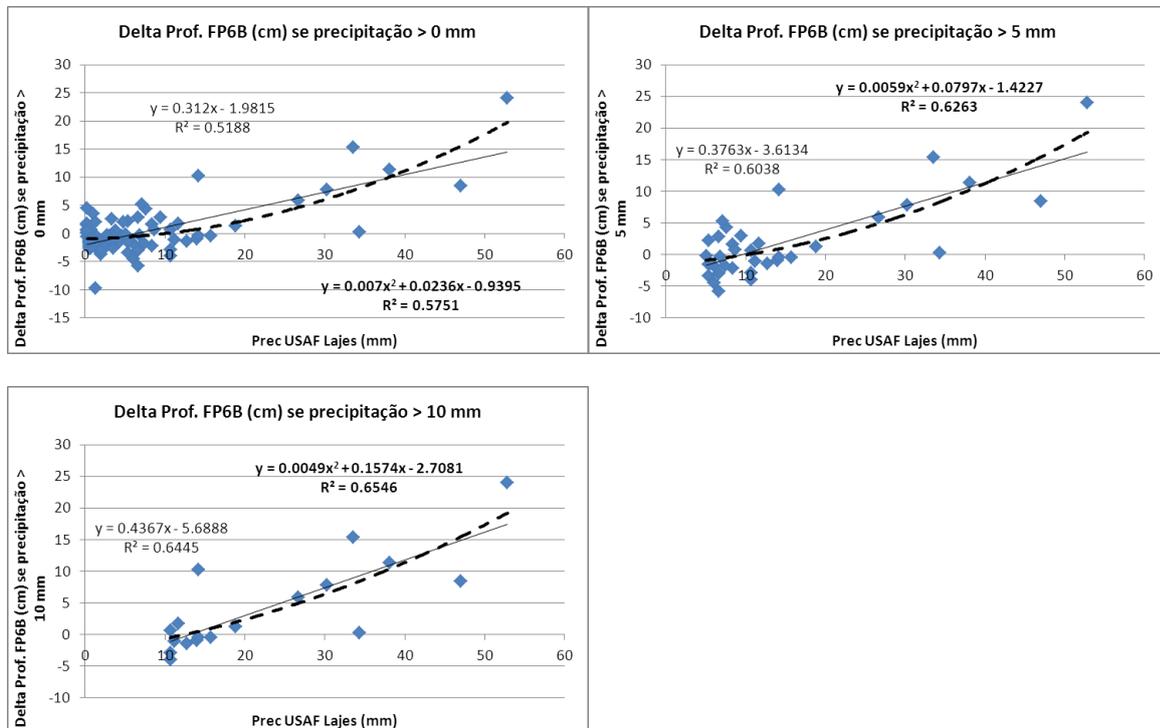


Figura A-2 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6B (sonda LNEC) e a precipitação registada nas Lajes (dados FAA), para diferentes valores de precipitação diária

Será de esperar que quando as precipitações diárias são elevadas as variações do NP se devam principalmente à recarga do sistema, por diminuição da importância relativa dos outros processos presentes. Analisando o caso das precipitações superiores a 10 mm num dia, verifica-se que há dois casos que se afastam mais de uma possível correlação, justificáveis da seguinte forma:

- para uma precipitação de 34 mm, a variação positiva foi de apenas 3 mm – dever-se-á ao facto de no dia anterior ter chovido apenas 5 mm e nos 9 dias precedentes não ter chovido, o que significa que a água que precipitou neste dia ainda serviu para preencher o armazenamento do solo, que terá perdido água por evapotranspiração nos dias anteriores;
- para uma precipitação reduzida de 14 mm, a variação positiva foi de 10 cm – dever-se-á ao facto de a precipitação dos dias anteriores já ter preenchido na totalidade ou quase na totalidade todo o armazenamento do solo não drenável por ação da gravidade; esta situação não terá acontecido para outros casos com precipitação semelhante.

Independentemente destas situações verifica-se um bom coeficiente de correlação entre a ocorrência de precipitação e a subida do NP.

Poderia eventualmente também haver uma dependência da variação do NP com a profundidade ao NP pelo que se fez o mesmo tipo de análise relacionando estas duas variáveis. A Figura A-3 mostra esta análise, revelando baixa correlação.

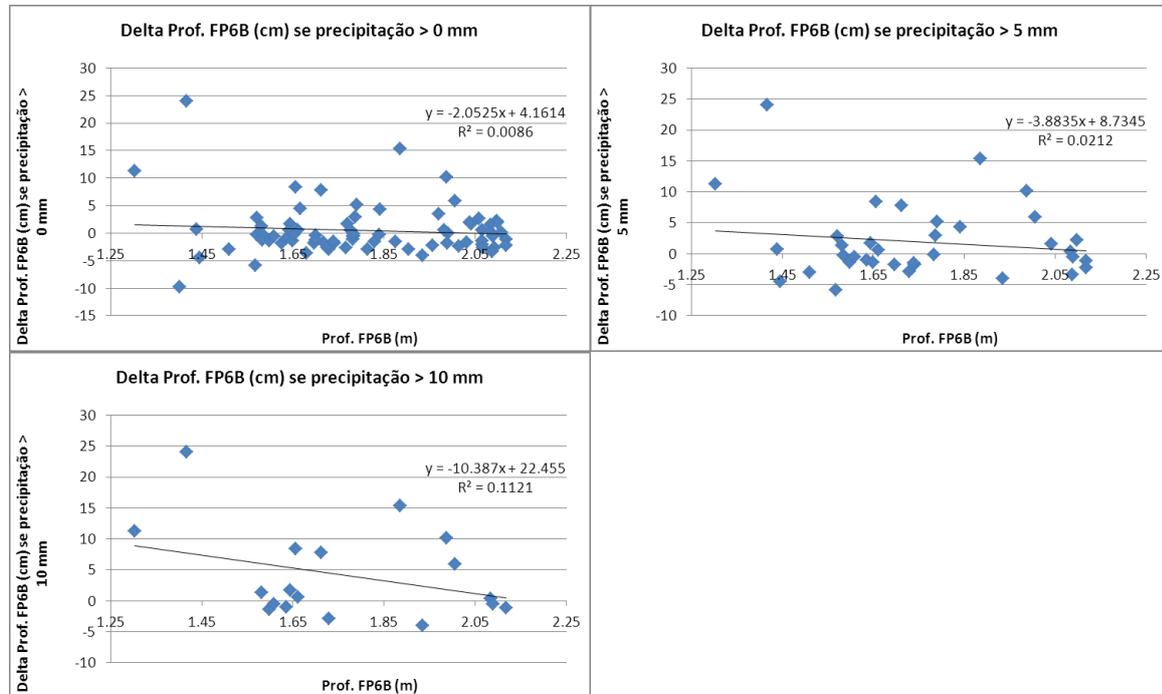


Figura A-3 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6B (sonda LNEC) e o NP no final do dia quando a precipitação registada nas Lajes (dados FAA) é superior ao valor indicado

1.3 Considerando os dias sem ocorrência de precipitação

Da mesma forma que a consideração dos eventos de precipitação maiores e a variação do nível piezométrico pode correlacionar-se melhor com o processo de recarga, a consideração dos eventos de precipitação nulos permitirá individualizar e estudar o processo de saída de águas subterrâneas, por drenagem vertical para as formações geológicas subjacentes ou por escoamento subterrâneo lateral gerado dentro do volume de controlo (ou seja, a diferença **Ebs-Ebe**).

A Figura A-4 ilustra a variação dos níveis piezométricos em função dos dias de precipitação nula no próprio dia ou nos dias antecedentes. No caso de se considerar apenas a precipitação do próprio dia há casos em que apesar de não haver precipitação os níveis piezométricos ainda sobem. Já quando se considera os casos em que a precipitação durante 3 dias é nula, só permanece um caso de subida do nível, de 1 mm, valor que por

sua vez é muito inferior à precisão das medições. A mesma Figura A-4 representa as correlações lineares e os quadrados dos coeficientes de correlação.

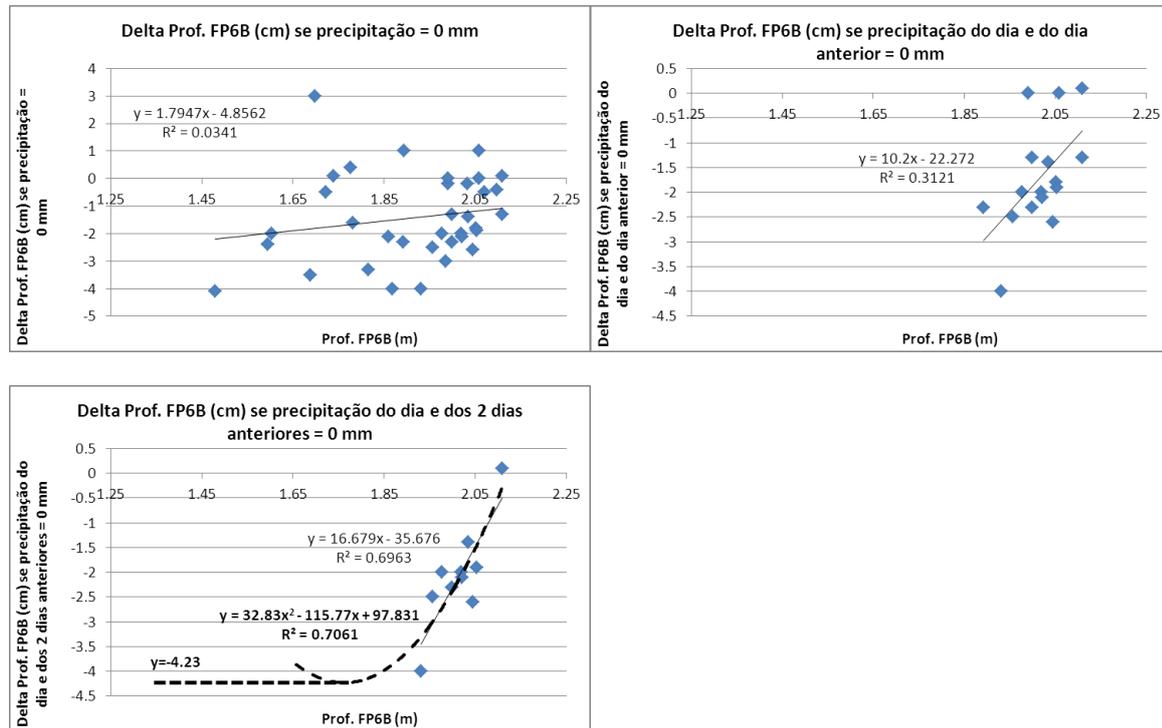


Figura A-4 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registrada durante o dia no piezômetro FP6B (sonda LNEC) e o NP no final do dia quando a precipitação acumulada registrada nas Lajes (dados FAA) nos dias indicados é nula

No caso dos três dias sem precipitação, o coeficiente de correlação apresenta-se maior, traduzindo também uma situação onde se garante que as entradas de água são nulas ou praticamente nulas (embora exista a possibilidade de haver precipitação no local que não foi registrada no posto udométrico ou de haver perdas em condutas de água, ou entrada por escoamento subterrâneo).

Verifica-se que quanto maior a profundidade ao NP, menor é a descida do nível piezométrico, o que se justifica pelo menor potencial hidráulico. Uma vez que os valores de descida do nível não podem continuar a aumentar da forma indicada pela regressão linear, fez-se também uma correlação quadrática, cujo NP correspondente ao mínimo da correlação quadrática pode ser utilizado para estimar um valor máximo de descida do nível; assim quando a profundidade do NP é inferior a 1,76 m, pode considerar-se que a descida do nível é de 4,23 cm.

Considerando os três tipos de situação estudados, somente para o caso em que se considerou a precipitação dos três dias nula é que se encontrou uma razoável correlação; a reta de regressão linear encontrada não pode no entanto ser extrapolada para fora dos valores de NP utilizados.

2 Formações hidrogeológicas intermédias

No caso das formações hidrogeológicas intermédias verificou-se se haveria relação entre a variação dos seus níveis piezométricos e (1) a precipitação e (2) a variação (com especial relevo para a descida) dos níveis piezométricos das formações hidrogeológicas superficiais. Considerando o volume de controlo das formações hidrogeológicas intermédias, são de esperar subidas dos NP quando o processo de drenância proveniente das formações hidrogeológicas que se lhe sobrepõem prevalece sobre o processo de drenância para o aquífero basal. São de esperar descidas dos NP na situação oposta. Daí que se procure uma relação com a possível drenância das formações subjacentes. Compara-se igualmente com os valores de precipitação registados nas Lajes, na expectativa de poder haver entrada de água numa zona próxima onde não se desenvolvam aquíferos suspensos.

2.1 Relação com a precipitação

2.1.1 Considerando toda a precipitação

A Figura A-5 representa a variação do NP das formações hidrogeológicas intermédias em função da precipitação e as correlações encontradas e respetivos quadrados dos coeficientes de correlação, para duas situações distintas: considerando todos os dados, ou considerando apenas os dados em que a variação do NP foi positiva. Os coeficientes de correlação encontrados são muito baixos.

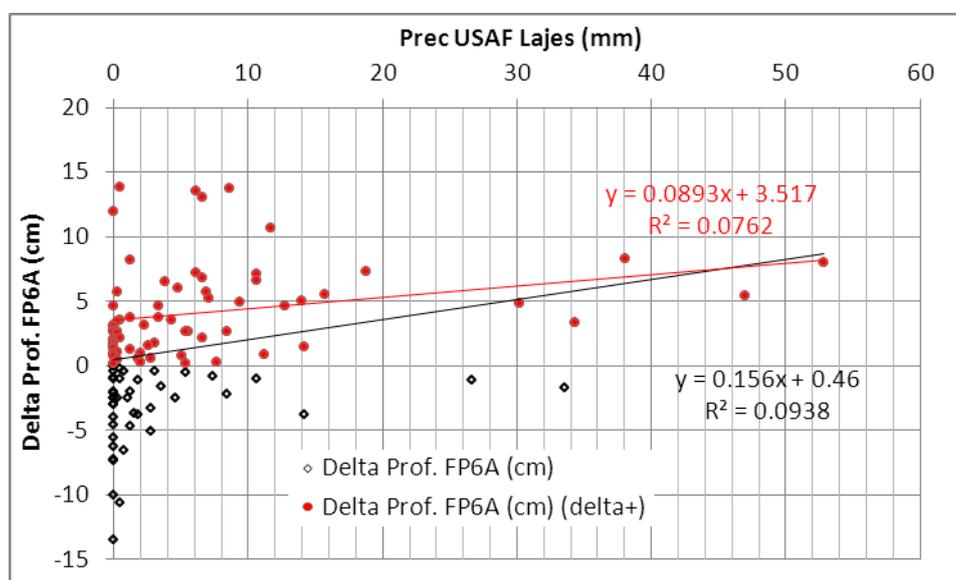


Figura A-5 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6A (sonda LNEC) e a precipitação registada nas Lajes (dados FAA), considerando a totalidade da série ou só os dados com subida do NP

2.1.2 Considerando os dias com ocorrência de precipitação

A comparação com os dias de ocorrência de precipitação é representada na Figura A-6. Como se pode constatar não se denota qualquer tipo de correlação.

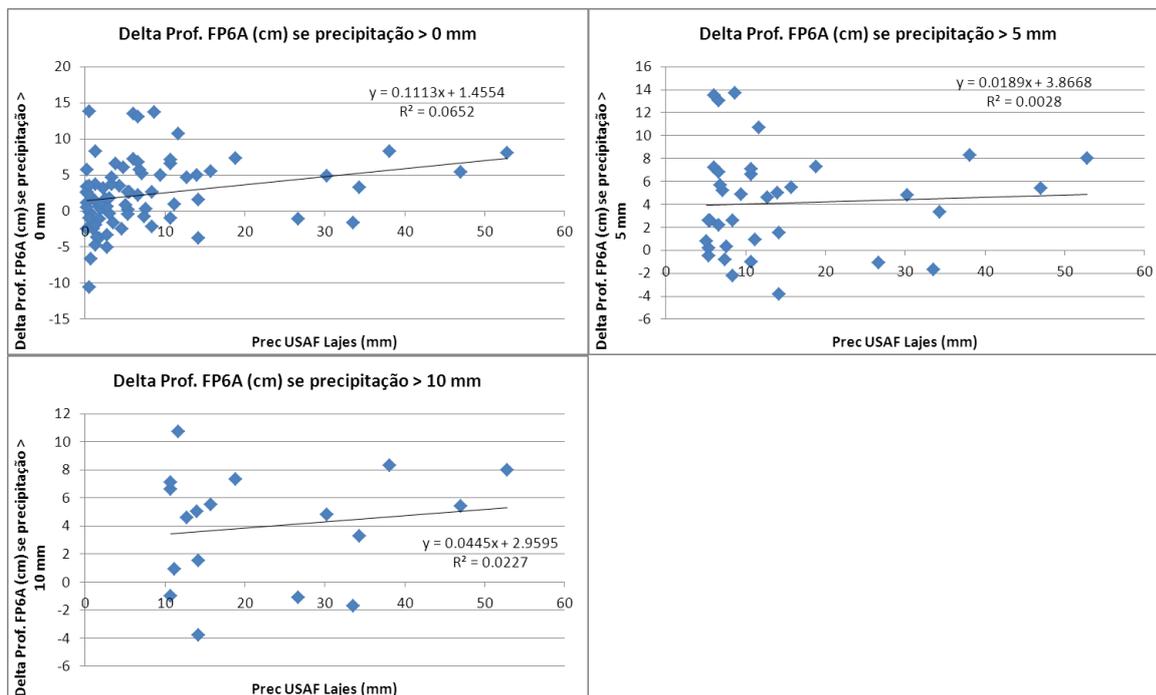


Figura A-6 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezômetro FP6A (sonda LNEC) e a precipitação registada nas Lajes (dados FAA), para diferentes valores de precipitação diária

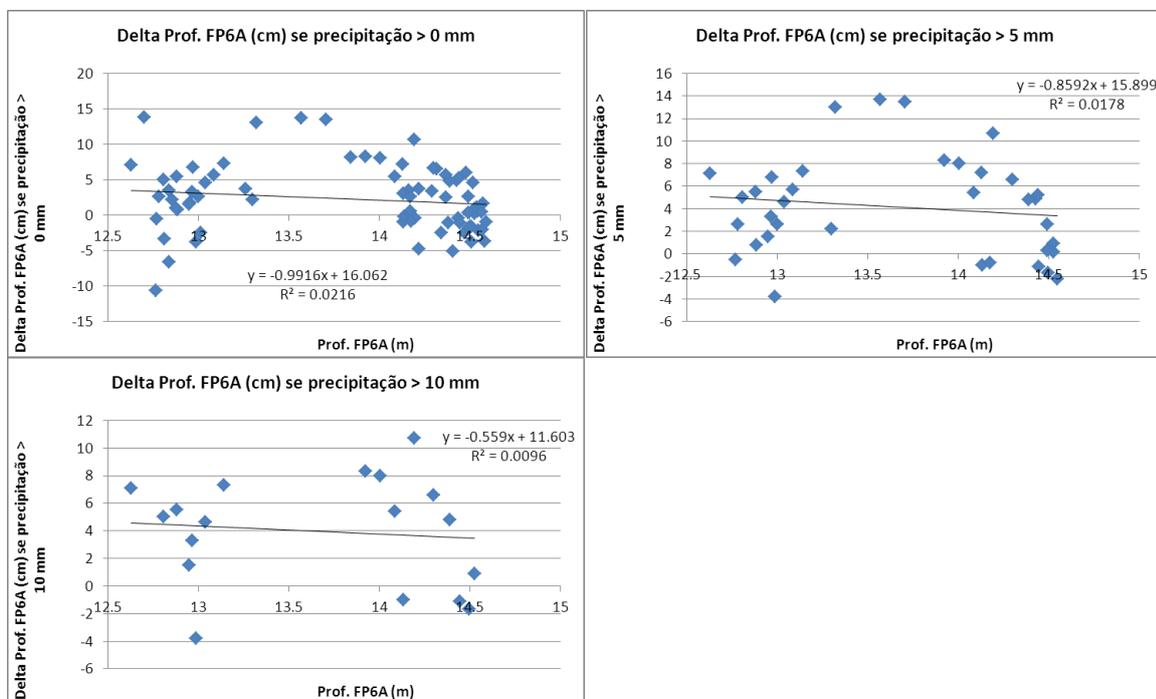


Figura A-7 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezômetro FP6A (sonda LNEC) e o NP no final do dia quando a precipitação registada nas Lajes (dados FAA) é superior ao valor indicado

Verificaram-se também, para os dias com ocorrência de precipitação, se a variação do NP dependia da profundidade ao NP. A representação da Figura A-7 permite verificar ausência de correlação.

2.1.3 Considerando os dias sem ocorrência de precipitação

Se a subida dos NP das formações hidrogeológicas em análise dependesse da precipitação seria de esperar que quando esta não existisse houvesse uma descida dos NP o que denotaria principalmente o processo de drenância para o aquífero basal. Independentemente da primeira condição não se verificar apresenta-se na Figura A-8 os casos em que não ocorreu precipitação durante até três dias, e as variações obtidas dos NP. Os coeficientes de correlação obtidos foram muito baixos.

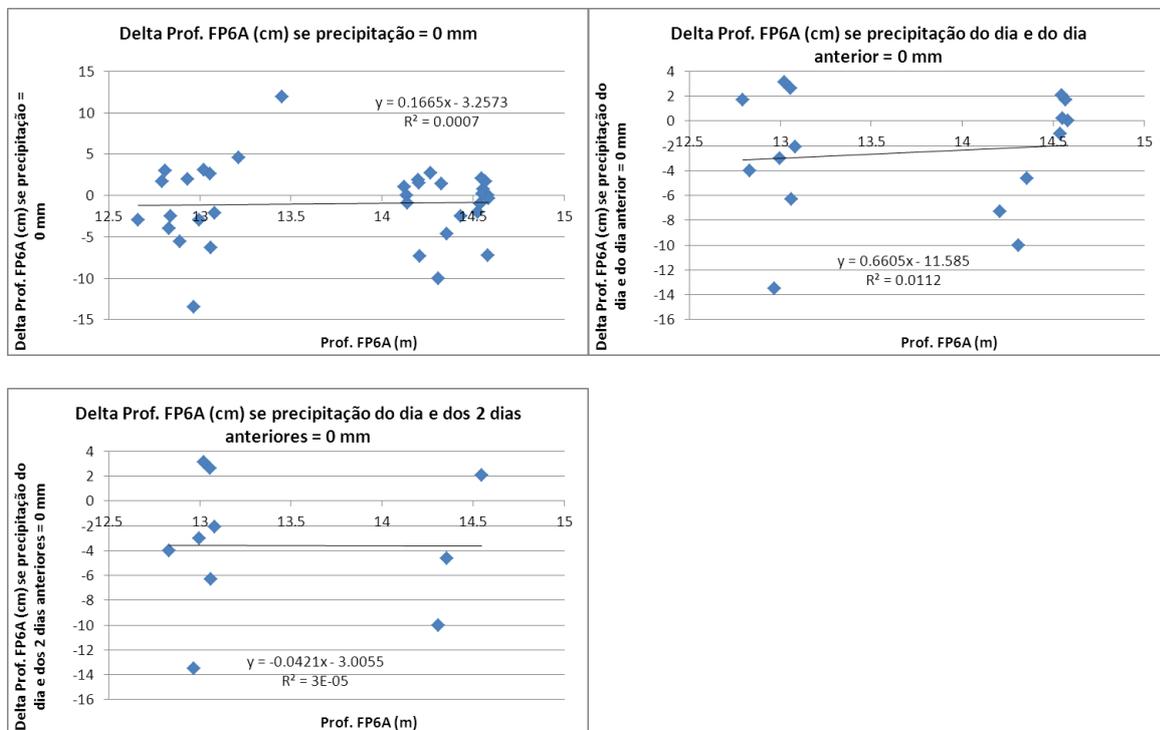


Figura A-8 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6A (sonda LNEC) e o NP no final do dia quando a precipitação acumulada registada nas Lajes (dados FAA) nos dias indicados é nula

2.2 Relação com as formações hidrogeológicas superficiais

2.2.1 Considerando a variação do nível piezométrico das formações hidrogeológicas superficiais

Verifica-se se existe relação entre as variações dos níveis piezométricos medidos pelos piezómetros FP6A e FP6B, procurando essencialmente uma relação entre a descida do NP no piezómetro FP6B, eventualmente devido a drenância, e uma correspondente subida do NP do piezómetro FP6A. A Figura A-9 mostra os resultados obtidos, considerando a totalidade dos dias ou apenas os dias para os quais houve subida dos níveis no piezómetro que mede as formações hidrogeológicas intermédias (FP6A), demonstrando um baixíssimo coeficiente de correlação.

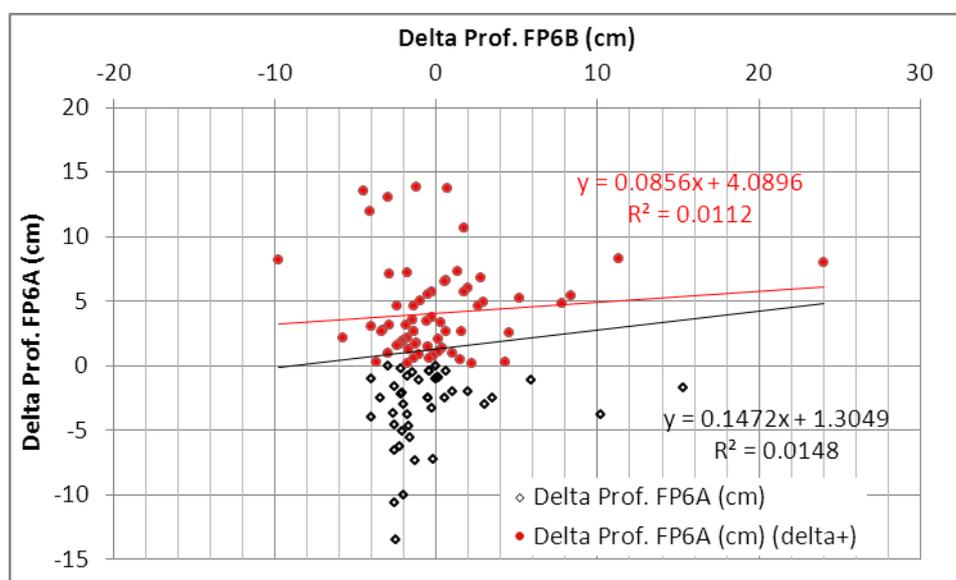


Figura A-9 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6A e a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6B (formações hidrogeológicas superficiais), considerando a totalidade da série ou só os dados com subida do NP

2.2.2 Considerando os dias com descida do nível piezométrico nas formações hidrogeológicas superficiais

No caso da origem de água registada pelas observações no piezómetro FP6A ser a água de drenagem das formações hidrogeológicas superficiais, medida pelo piezómetro FP6B, é de esperar uma boa correlação entre a descida de nível do piezómetro FP6B e a subida de nível no piezómetro FP6A. A Figura A-10 mostra a relação procurada, projetando os pares de valores calculados para o mesmo dia, verificando-se inexistência de correlação, mesmo considerando as descidas mais acentuadas do NP do piezómetro FP6B. Esta situação poderá justificar-se devido à distância a percorrer entre as formações hidrogeológicas

monitorizadas, sendo necessário a água de percolação vertical atravessar materiais de diferentes permeabilidades entre um piezômetro e outro. Outra situação que poderá ocorrer é uma parte importante da água contida nestas formações sair por escoamento subterrâneo (lateral) em vez de ocorrer drenância (vertical).

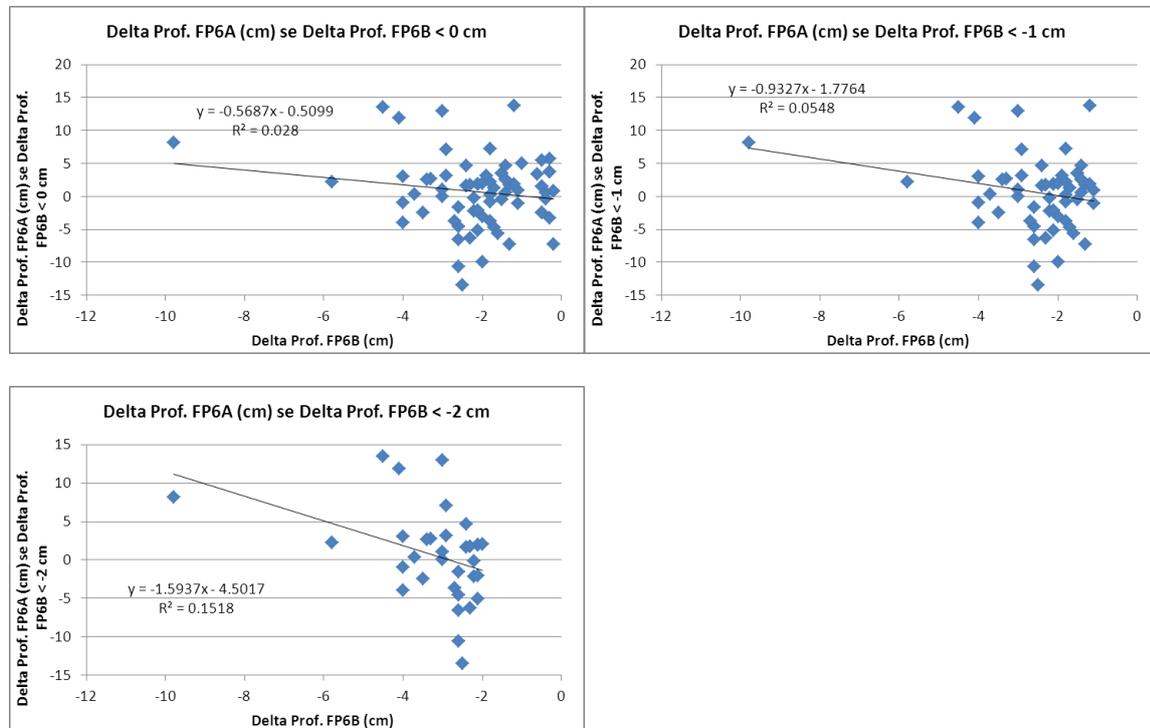


Figura A-10 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezômetro FP6A e a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezômetro FP6B (formações hidrogeológicas superficiais), para diferentes valores de descida do nível piezométrico nas formações hidrogeológicas superficiais

2.2.3 Considerando os dias com subida do nível piezométrico nas formações hidrogeológicas superficiais

Poderia acontecer que os dias de subida do NP nas formações hidrogeológicas superficiais correspondessem a dias de descida do NP nas formações intermédias, por este não receber água proveniente das formações hidrogeológicas superficiais. A Figura A-11 demonstra ausência de correlação.

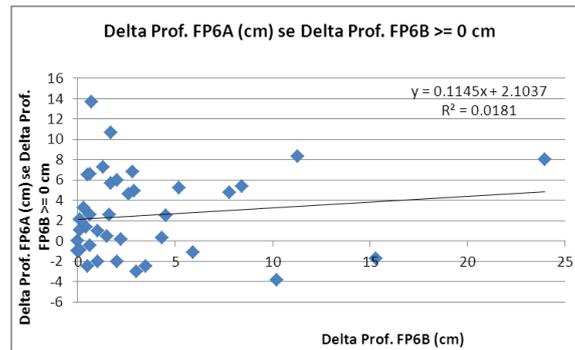


Figura A-11 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registrada durante o dia no piezômetro FP6A e a variação do nível piezométrico registrada durante o dia no piezômetro FP6B (formações hidrogeológicas superficiais), para situações de subida do nível piezométrico nas formações hidrogeológicas superficiais

3 Aquífero de base

No caso do aquífero de base verificou-se se haveria relação entre a variação dos seus níveis piezométricos, registados no piezômetro FP6, e (1) a precipitação, (2) a variação dos níveis piezométricos das formações hidrogeológicas superficiais monitorizadas pelo piezômetro FP6B, e (3) a variação dos níveis piezométricos das formações hidrogeológicas intermédias monitorizadas pelo piezômetro FP6A. No caso de prevalecer um modelo de aquífero formado por duas formações hidrogeológicas suspensas sobrepostas, que por sua vez se sobrepõem a um aquífero de base, será de esperar alguma correlação entre as subidas dos NP do aquífero de base e as descidas dos NP das formações hidrogeológicas intermédias (piezômetro FP6A).

Outras razões para a oscilação dos NP do aquífero de base são o escoamento subterrâneo lateral de entrada e saída, responsáveis pela subida do NP do piezômetro FP6 quando o escoamento de entrada prevalece sobre o de saída, e pela descida do NP no caso contrário.

Poderá haver alguma correlação entre o NP do aquífero de base e a precipitação registrada se houver na proximidade do local em análise recarga direta do aquífero por infiltração da água de precipitação. Contudo, a distância a percorrer pela água de infiltração é considerável, e o tempo de percurso deverá ser superior a um dia, caso em que não se encontrará correlação significativa entre estas duas variáveis.

3.1 Relação com a precipitação

3.1.1 Considerando toda a precipitação

A Figura A-15 representa a variação do NP registado no aquífero de base (piezômetro FP6) em função da precipitação, para duas situações distintas: considerando todos os dados, ou

considerando apenas os dados em que a variação do NP foi positiva. As correlações são baixas.

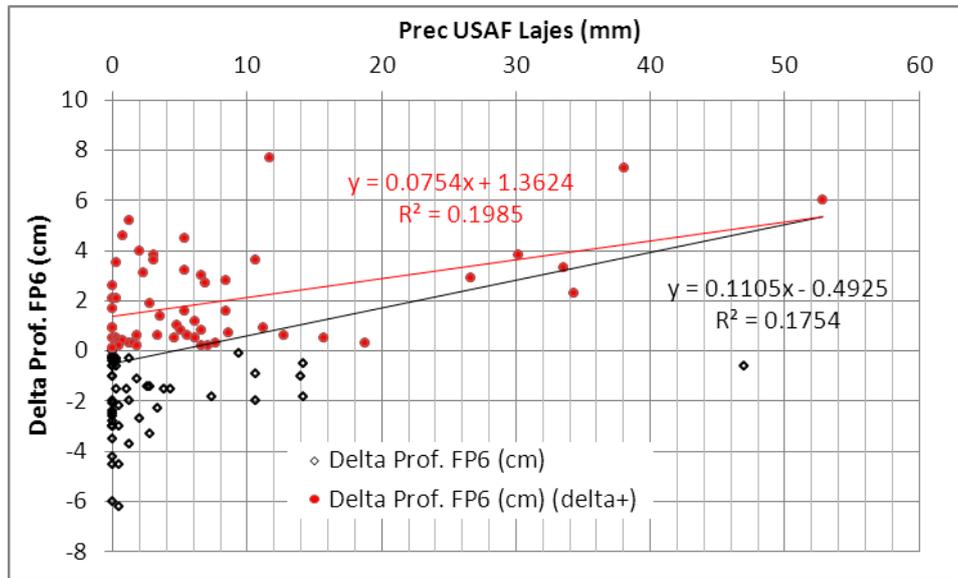


Figura A-12 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6 (sonda LNEC) e a precipitação registada nas Lajes (dados FAA), considerando a totalidade da série ou só os dados com subida do NP

3.1.2 Considerando os dias com ocorrência de precipitação

A Figura A-16 considera as variações dos NP nos dias em que ocorre precipitação. Verifica-se uma correlação fraca entre estas duas variáveis.

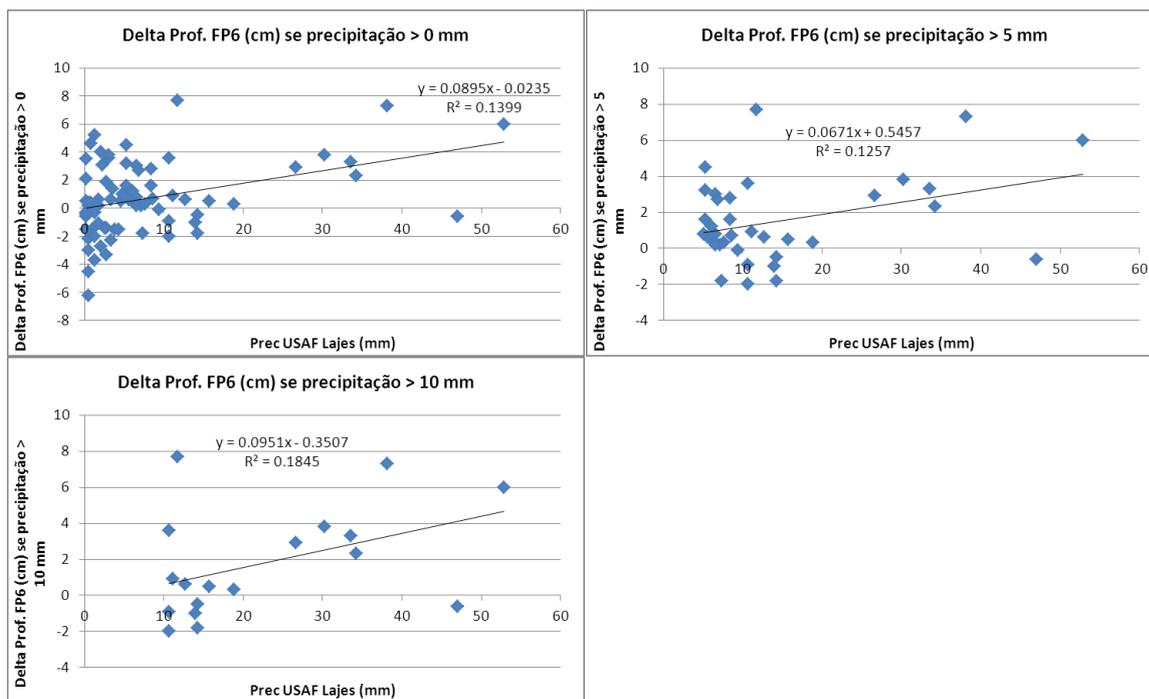


Figura A-13 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6 (sonda LNEC) e a precipitação registada nas Lajes (dados FAA), para diferentes valores de precipitação diária

Analizou-se também se havia alguma relação entre a variação dos NP e a profundidade do NP não se tendo obtido qualquer correlação (Figura A-14).

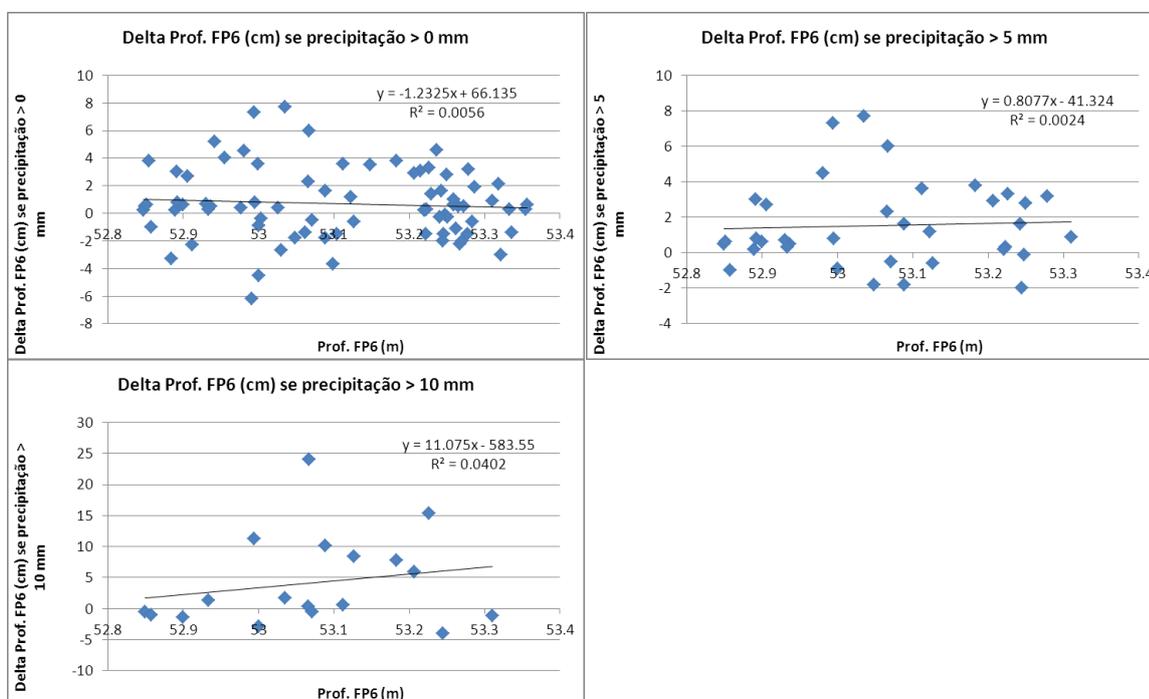


Figura A-14 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6 (sonda LNEC) e o NP no final do dia quando a precipitação registada nas Lajes (dados FAA) é superior ao valor indicado

3.1.3 Considerando os dias sem ocorrência de precipitação

As variações de NP do piezômetro FP6 nos dias em que não se registou precipitação foram igualmente analisadas em função da profundidade ao NP não se tendo encontrado correlações assinaláveis (Figura A-15). Mesmo assim, considerando os casos em que não choveu durante 3 dias esboça-se uma hipótese de correlação, aumentando a descida do NP à medida que a profundidade ao NP diminui. Tendo em conta os vários processos envolvidos, isto poderá significar que, nos dias em que não chovendo há mais tempo a hipotética recarga do aquífero de base por infiltração da precipitação se reduz (prevalecendo o escoamento subterrâneo), quando o NP está mais alto o escoamento subterrâneo de saída é mais elevado, causando com isso maiores descidas dos NP.

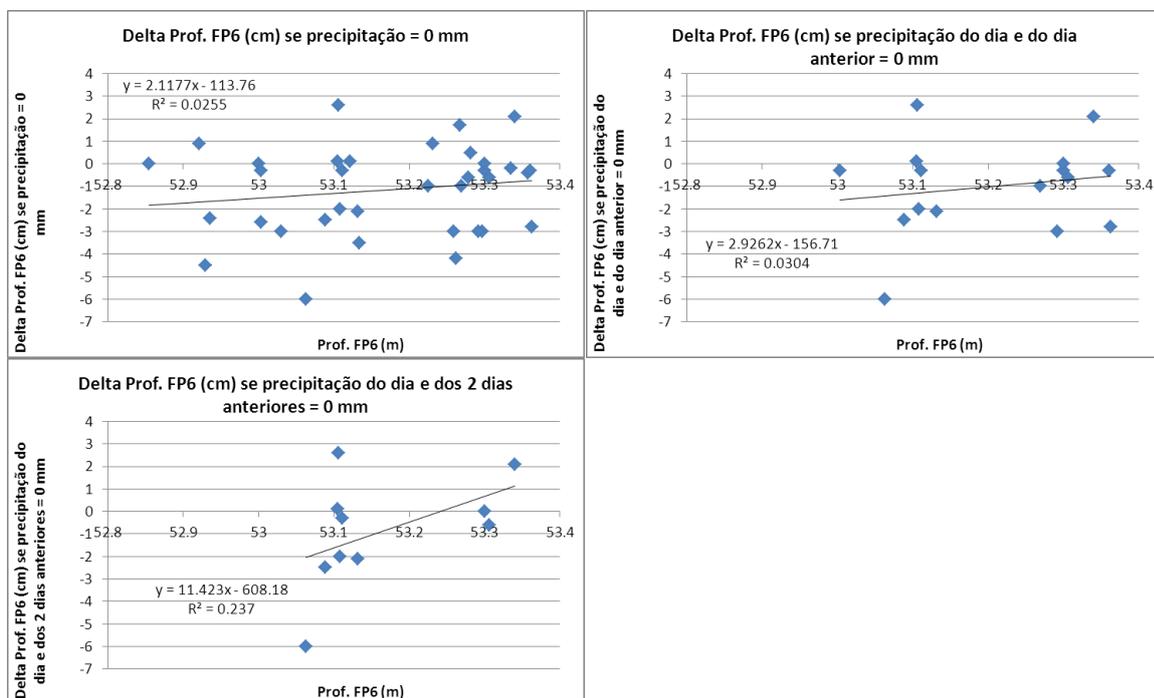


Figura A-15 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezômetro FP6 (sonda LNEC) e o NP no final do dia quando a precipitação acumulada registada nas Lajes (dados FAA) nos dias indicados é nula

3.2 Relação com as formações hidrogeológicas superficiais

3.2.1 Considerando a variação do nível piezométrico das formações hidrogeológicas superficiais

A relação entre a variação dos NP do piezômetro FP6 e a variação nas formações hidrogeológicas superficiais (piezômetro FP6B) pode verificar-se na Figura A-16 para todas as situações analisadas e considerando apenas as subidas de NP. As correlações são baixas.

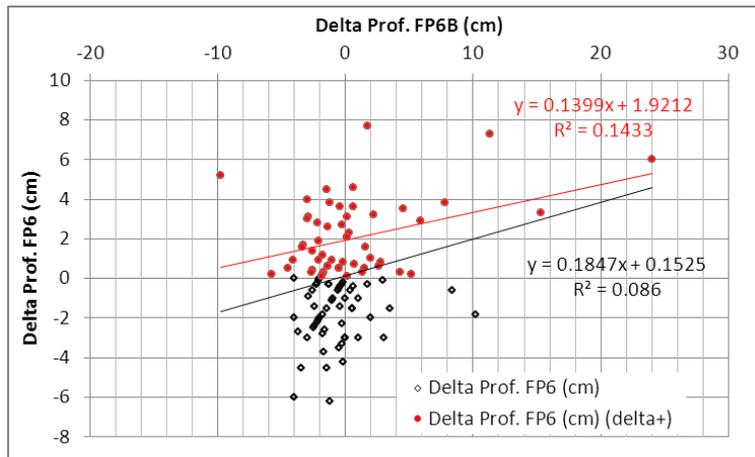


Figura A-16 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6 e a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6B (formações hidrogeológicas superficiais), considerando a totalidade da série ou só os dados com subida do NP

3.2.2 Considerando os dias com descida do nível piezométrico nas formações hidrogeológicas superficiais

Considerando apenas os casos de descida do NP nas formações hidrogeológicas superficiais que poderiam indiciar recarga dos aquíferos subjacentes e concretamente do aquífero de base, verifica-se ausência de correlação (Figura A-17), quando comparadas as variações calculadas para o mesmo dia.

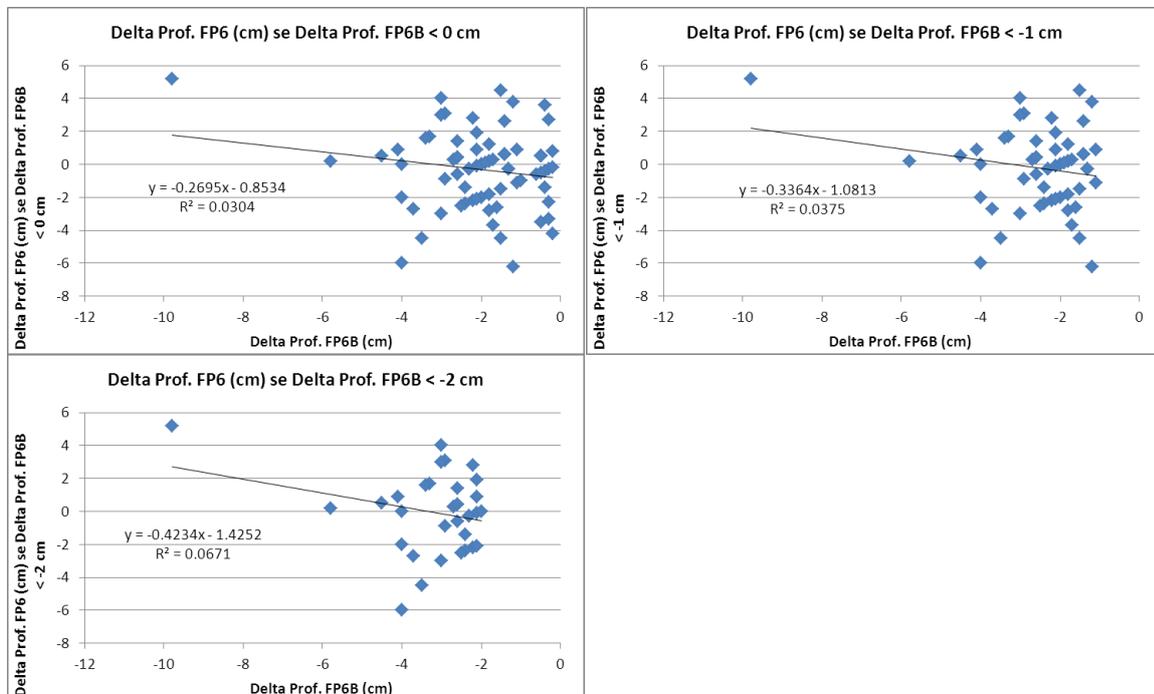


Figura A-17 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6 (sonda LNEC) e a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6B (formações hidrogeológicas superficiais) quando existe descida do NP no piezómetro FP6B (considerando diferentes descidas)

3.2.3 Considerando os dias com subida do nível piezométrico nas formações hidrogeológicas superficiais

De igual modo não se verifica qualquer tipo de correlação quando se consideram os casos de subida do NP nas formações hidrogeológicas superficiais (Figura A-18).

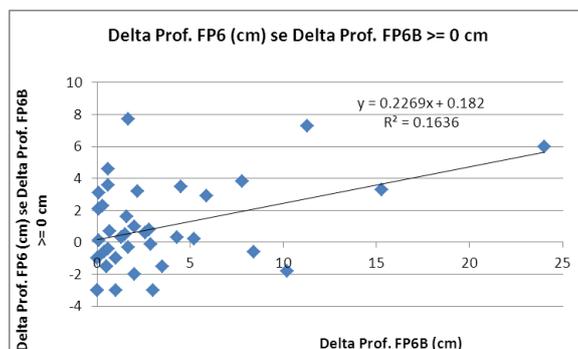


Figura A-18 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6 e a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6B (formações hidrogeológicas superficiais) quando existe subida do NP no piezómetro FP6B

3.3 Relação com as formações hidrogeológicas intermédias

3.3.1 Considerando a variação do nível piezométrico das formações hidrogeológicas intermédias

A exemplo da comparação com os dados do piezómetro FP6B, a comparação das variações dos NP do piezómetro FP6 com os do piezómetro FP6A mostrou ausência de correlação (Figura A-19).

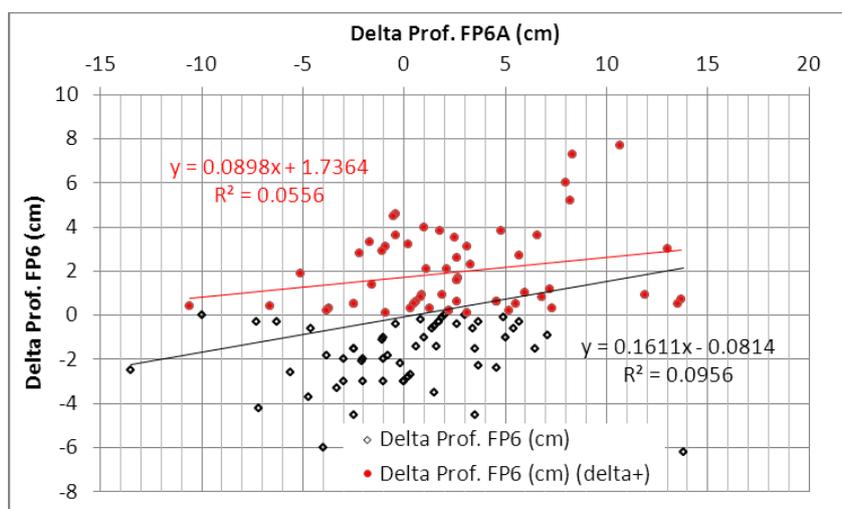


Figura A-19 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6 e a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6A (formações hidrogeológicas intermédias), considerando a totalidade da série ou só os dados com subida do NP

3.3.2 Considerando os dias com descida do nível piezométrico das formações hidrogeológicas intermédias

A proximidade das formações hidrogeológicas intermédias medidas pelo piezómetro FP6A poderá corresponder a alguma correlação entre as variações dos NP registados no piezómetro FP6A e as variações registadas no piezómetro FP6. A Figura A-20 demonstra falta de correlação quando se analisam as variações ao nível diário. Isto significa que o escoamento subterrâneo vertical é mais demorado, com redistribuição de potenciais hidráulicos ao longo das formações hidrogeológicas intermédias. A variação dos NP no aquífero de base dever-se-ia essencialmente ao escoamento subterrâneo lateral, ou à drenância distribuída ao longo do tempo proveniente das camadas hidrogeológicas superiores.

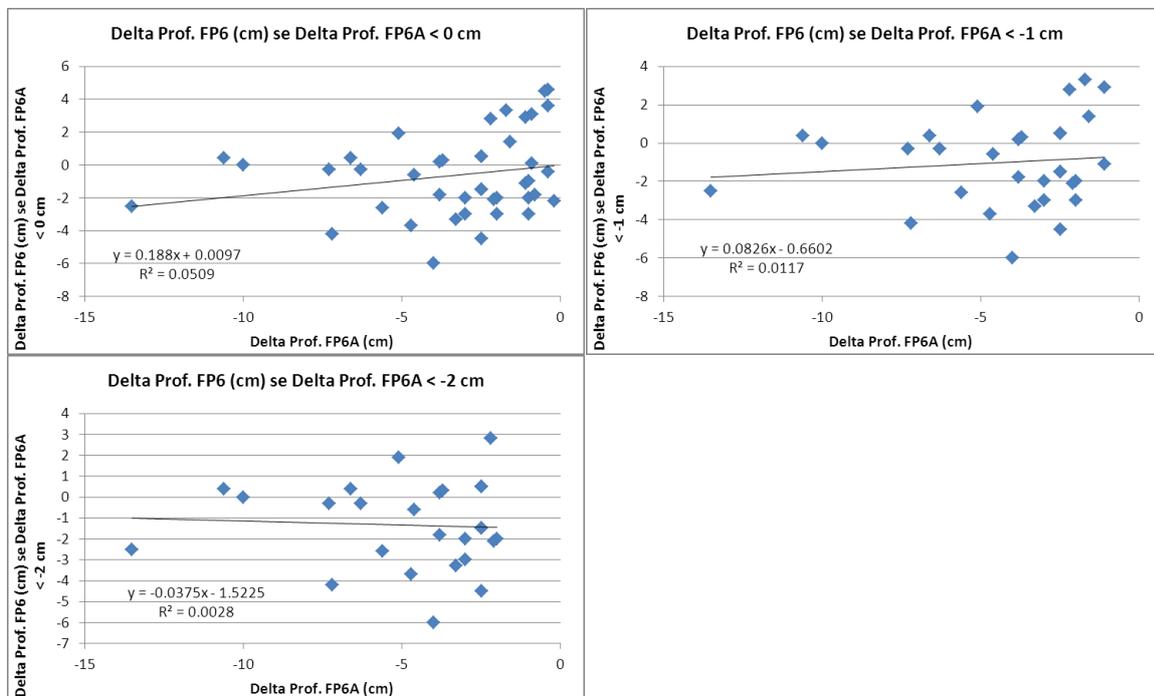


Figura A-20 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6 (sonda LNEC) e a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6A (formações hidrogeológicas intermédias) quando existe descida do NP no piezómetro FP6A (considerando diferentes descidas)

3.3.3 Considerando os dias com subida do nível piezométrico das formações hidrogeológicas intermédias

Considerando as subidas dos NP registadas no piezómetro FP6A não se encontra igualmente qualquer correlação com a variação do NP do aquífero de base (Figura A-21).

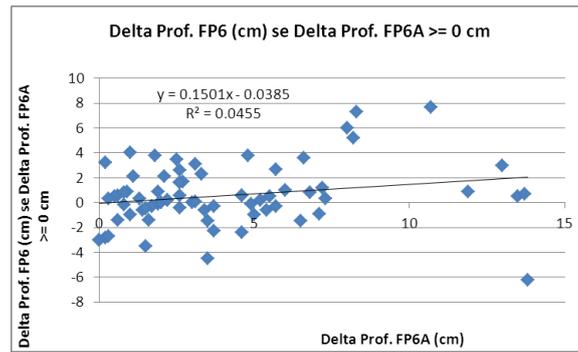


Figura A-21 – Correlação entre a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6 e a variação do nível piezométrico registada durante o dia no piezómetro FP6A (formações hidrogeológicas intermédias) quando existe subida do NP no piezómetro FP6A