



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDOS COMPLEMENTARES NO ÂMBITO DOS PROCESSOS DE REABILITAÇÃO AMBIENTAL RELACIONADOS COM A UTILIZAÇÃO DA BASE DAS LAJES PELOS EUA

**Apreciação sumária do relatório “Perform remedial action:
installation of monitoring wells and groundwater monitoring
at Sites 3001 and 5001. Lajes Field, Azores, Portugal. Annual
groundwater monitoring report. August 2019”**

Ministério da Defesa Nacional

Lisboa • novembro de 2019

I&D CONSELHO DIRETIVO

RELATÓRIO 397/2019 – CD

Título

ESTUDOS COMPLEMENTARES NO ÂMBITO DOS PROCESSOS DE REABILITAÇÃO AMBIENTAL RELACIONADOS COM A UTILIZAÇÃO DA BASE DAS LAJES PELOS EUA

Apreciação sumária do relatório "Perform remedial action: installation of monitoring wells and groundwater monitoring at Sites 3001 and 5001. Lajes Field, Azores, Portugal. Annual groundwater monitoring report. August 2019"

Autoria

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE

Teresa E. Leitão

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

CONSELHO DIRETIVO

Maria de Lurdes Antunes

Investigadora-Coordenadora, Conselho Diretivo

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 397/2019

Proc. 0102/121/22166

ESTUDOS COMPLEMENTARES NO ÂMBITO DOS PROCESSOS DE REABILITAÇÃO AMBIENTAL RELACIONADOS COM A UTILIZAÇÃO DA BASE DAS LAJES PELOS EUA

Apreciação sumária do relatório "Perform remedial action: installation of monitoring wells and groundwater monitoring at Sites 3001 and 5001. Lajes Field, Azores, Portugal. Annual groundwater monitoring report. August 2019"

Resumo

O LNEC encontra-se a prestar assessoria ao Ministério da Defesa Nacional (MDN) num conjunto de questões técnico-ambientais suscitadas pela presença, nos últimos 60 anos, do contingente da Força Aérea Americana (USAFE) na Base das Lajes, nos Açores, relacionadas essencialmente com a eventual contaminação de solos e de águas subterrâneas decorrentes do armazenamento e manuseamento de reservas de combustíveis e de outras substâncias, tendo em atenção as práticas adotadas no passado.

No âmbito desta assessoria foi solicitada ao LNEC uma apreciação sumária do relatório intitulado "Perform remedial action: installation of monitoring wells and groundwater monitoring at Sites 3001 and 5001. Lajes Field, Azores, Portugal. Annual groundwater monitoring report. August 2019" (Tetra Tech, Inc., 2019).

Palavras-chave: Base das Lajes / Instalação de piezómetros / Monitorização / Reabilitação

TECHNICAL ASSISTANCE TO THE PROCESS OF ENVIRONMENTAL REHABILITATION ASSOCIATED TO THE USE OF LAJES AIR BASE BY THE USA

Brief opinion on the report "Perform remedial action: installation of monitoring wells and groundwater monitoring at Sites 3001 and 5001. Lajes Field, Azores, Portugal. Annual groundwater monitoring report. August 2019"

Abstract

LNEC is providing technical support to the Ministry of National Defense of Portugal (MDN) in the assessment of environmental issues arising from the presence of the United States Air Force (USAFE) at Lajes Air Base, Azores, essentially related to the possible contamination of soil and groundwater originating from the storage and handling of fuel and other dangerous substances, given the existing practices in the past.

In this context, LNEC was asked to produce a brief opinion about the report entitled "Perform remedial action: installation of monitoring wells and groundwater monitoring at Sites 3001 and 5001. Lajes Field, Azores, Portugal. Annual groundwater monitoring report. August 2019".

Keywords: Base das Lajes / Installation of monitoring wells / Monitoring / Rehabilitation

Índice

1	Introdução	1
2	Objetivos e metodologia	2
3	Síntese e considerações sobre os resultados	6
3.1	Construção de novos piezómetros	6
3.2	Escoamento de águas subterrâneas	7
3.2.1	Direções do escoamento subterrâneo	7
3.2.2	Contacto entre as formações hidrogeológicas superficial, intermédia e o aquífero basal no Site 3001	8
3.3	Qualidade das águas subterrâneas	9
3.3.1	Áreas contaminadas com LNAPL	9
3.3.2	Resultados das análises químicas	11
3.4	Reabilitação em curso	18
4	Conclusões e recomendações	21
4.1	Conclusões	21
4.2	Recomendações	21
	Referências bibliográficas	24
	ANEXO Valores de referência em águas subterrâneas	25

Índice de figuras

Figura 2.1 – Localização dos piezómetros analisados no Site 3001	4
Figura 2.2 – Localização dos piezómetros analisados no Site 5001	5
Figura 3.1 – Evolução da espessura de LNAPL sobrenadando o nível piezométrico, entre 2012 e 2019 (dados obtidos dos diversos relatórios solicitados pela USAFE)	10
Figura 3.2 – Soma das concentrações em HTP (C5_C40) em 2019 (dados do relatório Tetra Tech, Inc., 2019)	13
Figura 3.3 – Soma das concentrações em BTEX em 2019 (dados do relatório Tetra Tech, Inc., 2019)	14
Figura 3.4 – Soma das concentrações em PAH em 2019 (dados do relatório Tetra Tech, Inc., 2019)	15
Figura 3.5 – Soma das concentrações em CHC em 2019 (dados do relatório Tetra Tech, Inc., 2019)	16
Figura 3.6 – Soma das concentrações em alcalibenzenos em 2019 (dados do relatório Tetra Tech, Inc., 2019)	17
Figura 3.7 – Concentrações em hidrocarbonetos nas águas do aquífero basal em 2019 (todas as entidades, apesar de os limites de quantificação serem diferentes)	18

Índice de quadros

Quadro 2.1 – Atividade de monitorização e reabilitação desenvolvida em diversos piezómetros do Site 3001, em 2018 e 2019	3
Quadro 2.2 – Atividade de monitorização e reabilitação desenvolvida em diversos piezómetros do Site 5001, em 2018 e 2019	4
Quadro 3.1 – Espessura de LNAPL (m) em diversos piezómetros entre 2017 e 2019, nos Sites 3001 e 5001	9
Quadro 3.2 – Resultado das campanhas de medição de LNAPL nos pontos com meias absorventes, nos Sites 3001 e 5001	19
Quadro A.1 – Valores de referência em águas subterrâneas para os parâmetros analisados (extraído de Antunes et al., 2016)	27

Glossário

65 ABG – Forças Armadas dos Estados Unidos da América nas Lajes, 65th Air Base Group da USAFE ou Força Aérea Americana

AHC – Hidrocarbonetos aromáticos (*Aromatic Hydrocarbon Compounds*)

BTEX – Benzeno, tolueno, etilbenzeno, xileno

CHC – Hidrocarbonetos clorados (*Chlorinated hydrocarbons*)

COV – Composto Orgânico Volátil

DNAPL – Fase líquida densa não aquosa (*Dense Non-Aqueous Phase Liquid*)

ERSARA – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores

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

HAP – Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos

HTP – Hidrocarbonetos totais do petróleo

LNAPL – Fase líquida leve não aquosa (*Light Non-Aqueous Phase Liquid*)

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MDN – Ministério da Defesa Nacional

NAPL – Fase líquida não aquosa (*Non-Aqueous Phase Liquid*)

1 | Introdução

No âmbito do trabalho em curso no LNEC para o Ministério da Defesa Nacional (MDN) sobre um conjunto de questões técnico-ambientais relacionadas com a presença, nas últimas décadas, do contingente da Força Aérea Americana (USAFE) na Base das Lajes, ilha Terceira, foi solicitada a análise do relatório intitulado "Perform remedial action: installation of monitoring wells and groundwater monitoring at Sites 3001 and 5001. Lajes Field, Azores, Portugal. Annual groundwater monitoring report. August 2019" (Tetra Tech, Inc., 2019, 2019a e 2019b).

Apresenta-se uma apreciação sumária do mesmo, estruturada nos seguintes capítulos: 1 | Introdução; 2 | Objetivos e metodologia; 3 | Síntese e considerações sobre os resultados e 4 | Conclusões e recomendações.

2 | Objetivos e metodologia

O objetivo do presente relatório é analisar e emitir parecer sobre o conteúdo do trabalho intitulado "Perform remedial action: installation of monitoring wells and groundwater monitoring at Sites 3001 and 5001. Lajes Field, Azores, Portugal. Annual groundwater monitoring report. Draft. July 2019" (Tetra Tech, Inc, 2019). O relatório vem acompanhado de dois documentos, o primeiro constituído por oito apêndices (Tetra Tech, Inc, 2019a) e o segundo é um anexo que contém um resumo do processo de instalação dos seis novos piezómetros acompanhado de seis apêndices (Tetra Tech, Inc, 2019b).

O objetivo global do trabalho foi instalar seis piezómetros novos no Site 3001, bem como monitorizar e proceder a diversas ações de reabilitação em piezómetros dos Sites 3001 e 5001. Foram desenvolvidas as seguintes ações:

1. Instalar novos piezómetros:
 - a. construir e desenvolver seis piezómetros;
 - b. fazer uma análise de raio gama nos piezómetros.
2. Monitorizar as águas subterrâneas:
 - a. medir semestralmente os níveis piezométricos, incluindo a medição da espessura de LNAPL, caso exista;
 - b. monitorizar continuamente os níveis piezométricos em quatro piezómetros do Site 3001, bem como a temperatura e condutividade elétrica, através de uma sonda multiparamétrica;
 - c. analisar semestralmente a qualidade química das águas subterrâneas.
3. Reinstalar ou manter o equipamento de extração de LNAPL para um período de nove meses.

Os relatórios (Tetra Tech, Inc, 2019, 2019a e 2019b) sintetizam os resultados do trabalho desenvolvido.

O Quadro 2.1 e o Quadro 2.2 apresentam uma síntese da atividade referida nos piezómetros intervencionados e a Figura 2.1 e Figura 2.2 mostram a sua localização.

Quadro 2.1 – Atividade de monitorização e reabilitação desenvolvida em diversos piezómetros do Site 3001, em 2018 e 2019

Designação	Medição pontual		Registo contínuo			Tipo de reabilitação	Amostragem para análise
	NP	LNAPL	NP	T	CE		
Site 3001-MW01R	X	X					X
Site 3001-MW02	X	X					X
Site 3001-MW03	X	X				Meia absorvente	X
Site 3001-MW04	X	X					X
Site 3001-MW05	X	X					X ¹
Site 3001-MW05R	X	X					X
Site 3001-MW06	X	X					
Site 3001-MW07	X	X					
Site 3001-MW08	X	X					X ¹
Site 3001-MW09	X	X					
Site 3001-MW10	X	X					
Site 3001-MW11	X	X				Meia absorvente	X
Site 3001-MW12	X	X					X
Site 3001-MW13	X	X					X
Site 3001-MW14	X	X					X
Site 3001-MW15	X	X	X	X			
Site 3001-MW16	X	X	X	X	X	Meia absorvente	X
Site 3001-MW17	X	X	X	X	X		X
Site 3001-MW18	X	X					X
Site 3001-MW19	X	X				Meia absorvente	X ²
Site 3001-MW20	X	X				Meia absorvente	X
Site 3001-MW22	X	X	X	X	X		X
Site 3001-MW23	X	X					X
Site 3001-MW24	X	X					X
Site 3001-MW25	X	X					X
Site 3001-MW26	X	X					
Site 3001-MW27	X	X					X
Site 3001-MW28	X	X					X
Site 3001-MW29							X
Site 3001-MW30							X
Site 3001-MW31							X

Nota: NP – nível piezométrico; T – temperatura; CE – condutividade elétrica; LNAPL – hidrocarbonetos menos densos do que a água

¹ Apenas amostrado em janeiro de 2019

² Apenas amostrado em maio de 2019

Quadro 2.2 – Atividade de monitorização e reabilitação desenvolvida em diversos piezómetros do Site 5001, em 2018 e 2019

Designação	Medição pontual		Em reabilitação	Amostragem para análise
	NP	LNAPL		
Site 5001-MW04	X	X		
Site 5001-MW08	X	X	Meia absorvente	X
Site 5001-MW09	X	X	Meia absorvente	X
Site 5001-MW10	X	X		
Site 5001-MW17	X	X		X
Site 5001-MW18	X	X		X
Site 5001-MW19	X	X		X
Site 5001-MW20	X	X		X
Site 5001-MW21	X	X		
Site 5001-MW22	X	X		
Site 5001-MW23	X	X		X
Site 5001-MW24	X	X		X
Site 5001-MW25	X	X		
Site 5001-MW26	X	X		

Nota: NP – nível piezométrico; T – temperatura; CE – condutividade elétrica; LNAPL – hidrocarbonetos menos densos do que a água

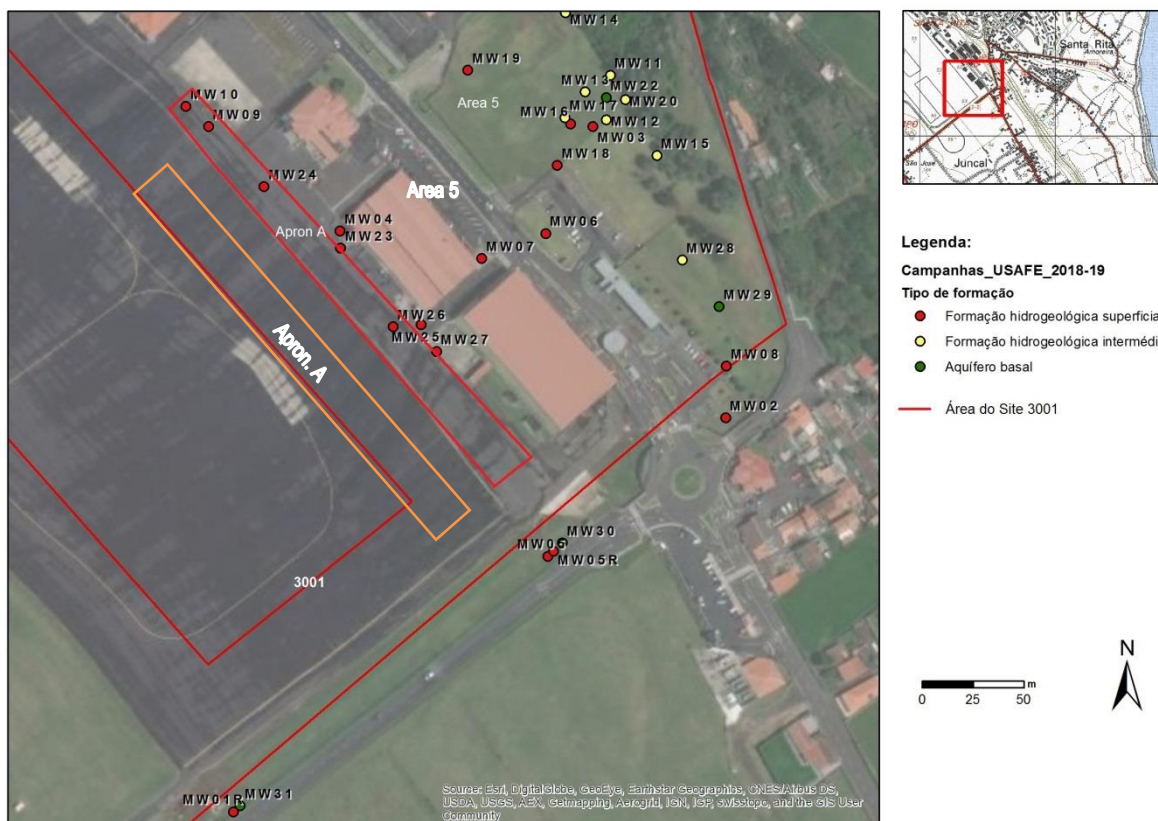


Figura 2.1 – Localização dos piezómetros analisados no Site 3001

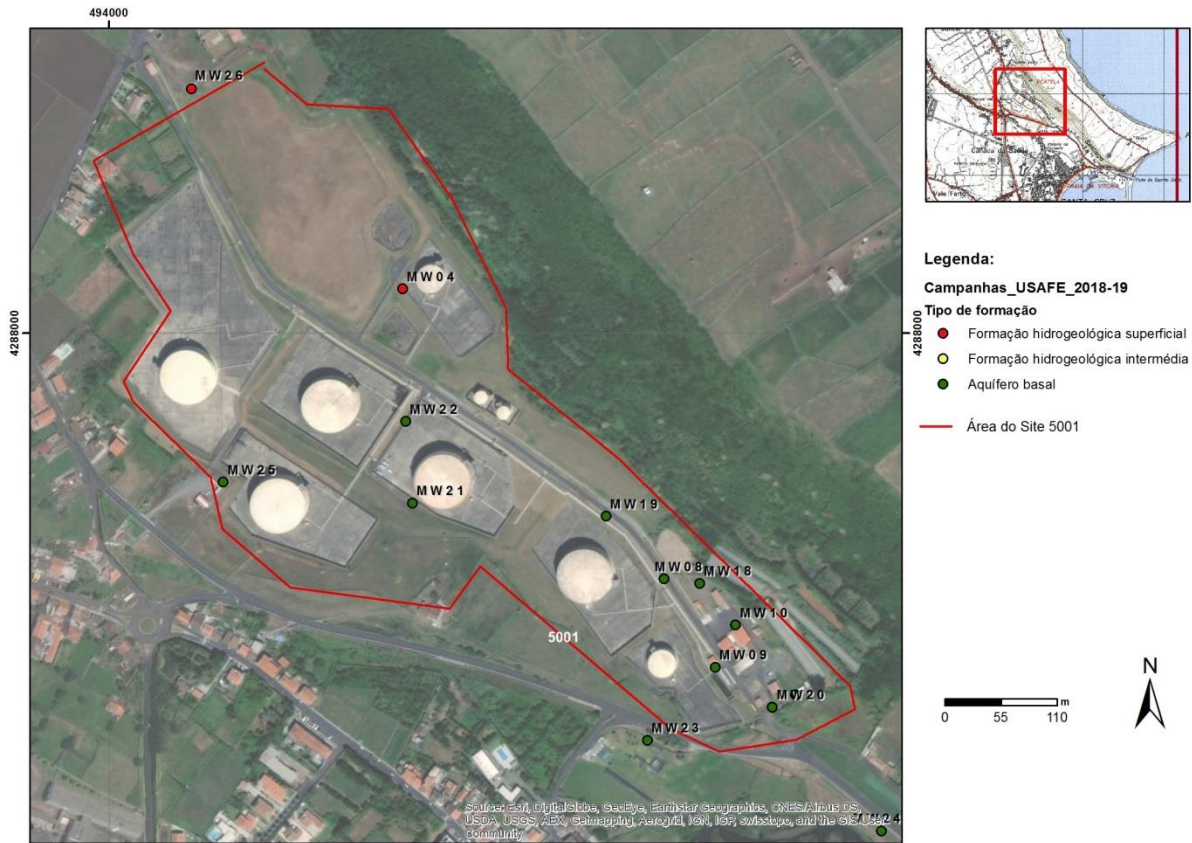


Figura 2.2 – Localização dos piezómetros analisados no Site 5001

3 | Síntese e considerações sobre os resultados

3.1 Construção de novos piezómetros

Entre outubro e dezembro de 2018 foram construídos no Site 3001 seis novos piezómetros pela Tetra Tech, Inc.. Três dos seis piezómetros foram instalados na formação hidrogeológica superficial (MW1R, MW5R e MW28) e os outros três piezómetros foram instalados no aquífero basal (MW29, MW30 e MW31). Os piezómetros MW01R e MW05R substituem os piezómetros com a mesma designação (MW01 e MW05), que se encontram partidos ou submersos.

A intenção de instalar os novos piezómetros foi obter informação mais detalhada sobre o estado de qualidade das águas subterrâneas em locais onde havia falta de dados, designadamente no aquífero basal onde apenas havia um furo (MW22) dentro do Site 3001. Com os novos piezómetros no aquífero basal foi possível determinar a direção do escoamento subterrâneo neste local (cf. secção 3.2.1).

No Appendix 2 - Boring Logs do Anexo do relatório (Tetra Tech, Inc, 2019b) apresenta-se uma detalhada descrição do procedimento de perfuração, geologia atravessada, níveis de água encontrados, revestimento e atividades de desenvolvimento de furo. Os autores referem o especial cuidado necessário durante a perfuração para evitar a entrada de contaminantes à superfície para níveis mais profundos. Os procedimentos descritos referem diversas operações no sentido de fazer o isolamento com tubagem da formação hidrogeológica superficial para permitir a perfuração até ao aquífero basal, sem arrastar solo e águas subterrâneas potencialmente contaminadas. Apesar dos procedimentos referidos parecerem corretos, o MW30 apresenta contaminação por hidrocarbonetos (cf. secção 3.3) deixando a dúvida de poder ter havido contaminação durante o processo de furação, uma vez que se encontrou odor a petróleo junto ao nível piezométrico da formação hidrogeológica superficial presente no local, a 1,4 m de profundidade, além de esta contaminação no aquífero basal ser exclusiva deste local. Este assunto é retomado na secção 3.3.2.

No contexto do exposto, o LNEC referiu no parecer emitido em agosto de 2019 que, com base nos elementos disponíveis, se crê que se tratará de um problema originado durante o processo de furação. Recomendou-se, por isso, a extração de cerca de 10 000 L de água e monitorização da sua qualidade a cada 1 000 L extraídos. Caso se verifique um decréscimo das concentrações ao longo da amostragem, significará que se tratou de falha durante a perfuração. Se, pelo contrário, os valores se mantiverem, então significará que a contaminação terá um carácter menos pontual.

3.2 Escoamento de águas subterrâneas

3.2.1 Direções do escoamento subterrâneo

A análise da direção do escoamento reveste-se de particular importância no estudo dos Sites 3001 e 5001 na medida em que permite verificar o potencial risco de contaminação das águas subterrâneas de furos ou de poços que estejam localizados a jusante de áreas contaminadas.

As direções do escoamento das águas subterrâneas nas duas áreas de estudo foram aferidas pelos autores do estudo com base na medição dos níveis piezométricos, realizada tanto no semestre húmido e como no seco (a 18 de dezembro de 2018 e a 26/27 de junho de 2019). As medições dos níveis foram efetuadas em piezómetros localizados nas três formações - hidrogeológicas superficial e intermédia, e aquífero basal - através da medição em 42 piezómetros, nos Sites 3001 e 5001 (Quadro 2.1 e Quadro 2.2). Com base nessa informação foram elaborados mapas das isopiezas (linhas de igual piezometria) para as formações hidrogeológicas superficial e intermédia e para o aquífero basal.

No Site 3001, para a formação hidrogeológica superficial, os resultados obtidos são consistentes com a informação obtida anteriormente, i.e. a direção principal do escoamento faz-se essencialmente para oeste e noroeste, a partir de uma zona sobrelevada localizada após a entrada na Porta de Armas.

A formação hidrogeológica intermédia apresentou uma direção de escoamento que é inconsistente, com padrões variáveis e apontando para diferentes direções, tal como havia sido reportado em relatórios anteriores (AMEC, 2012, 2015, Tetra Tech, Inc., 2017b, Tetra Tech, Inc., 2019).

A interpretação dos resultados obtidos para o aquífero basal indicam que a direção do escoamento se faz leste. Os modelos desenvolvidos pelo LNEC no âmbito de estudos efetuados anteriormente apontam para o escoamento para sudeste ou leste.

Em síntese, a direção do escoamento em ambas as formações hidrogeológicas (superficial e intermédia) é variável ao longo do tempo em resultado das suas extensões laterais e espessuras limitadas, com baixa transmissividade e capacidade de armazenamento. Não obstante, o escoamento na formação hidrogeológica superficial parece fazer-se essencialmente para oeste e noroeste, apresentando direção distinta do escoamento no aquífero basal (leste). O escoamento na formação hidrogeológica superficial é, assim, favorável à proteção das captações localizadas a sudeste (e.g. Juncal), contrariamente ao que acontece no aquífero basal, onde a possibilidade de escoamento para sudeste é um fator de risco de contaminação dessas mesmas captações.

No Site 5001, relativamente à direção do escoamento no aquífero basal, o relatório conclui que a mesma se processa para norte, não sendo consistente com medições anteriores onde o escoamento se processou para norte-nordeste (Tetra Tech, Inc., 2019) e para sudeste, oeste e este (AMEC, 2015). Leitão *et al.* (2019) referem que o escoamento se faz para sudeste, radialmente em direção à costa. Devido à sua elevada permeabilidade, este aquífero está sob a influência da maré, facto que poderá justificar parte destas oscilações na direção do escoamento. Existem, ainda, no local dois piezómetros na área nordeste que pertencem a formações hidrogeológicas superficiais (Figura 2.2), possivelmente

também originadas pelos depósitos da falha de Santiago (como acontece no Site 3001), mas apenas há dois piezómetros neste local não permitindo estabelecer uma direção de escoamento.

3.2.2 Contacto entre as formações hidrogeológicas superficial, intermédia e o aquífero basal no Site 3001

O registo contínuo do nível piezométrico, temperatura e condutividade elétrica, efetuado em quatro piezómetros do Site 3001 através de sondas multiparamétricas, permitiu avaliar a evolução contínua destes parâmetros e, dessa forma, avaliar a ligação entre as diferentes camadas hidrogeológicas presentes no local. Os piezómetros onde foram efetuados registos contínuos do nível piezométrico e da temperatura foram o MW15 (formação hidrogeológica intermédia), MW16 (formação hidrogeológica superficial), MW17 (formação hidrogeológica intermédia) e MW22 (aquífero basal) (cf. Quadro 2.1). Nos piezómetros MW16, MW17 e MW20 foi, ainda, medida a variação da condutividade elétrica.

Constata-se que, durante o período de cerca de um ano em que foram feitas medições, as variações dos níveis piezométricos foram muito idênticas entre os quatro piezómetros, com a exceção do período entre janeiro e março de 2019 para o MW16. Embora este piezómetro apresente uma resposta mais rápida aos processos de infiltração, nomeadamente no período referido, nos restantes meses observa-se uma subida do nível piezométrico ligeiramente superior à dos restantes piezómetros, mas essa subida é também praticamente instantânea nos piezómetros cujos ralos de entrada de água estão abertos na formação hidrogeológica intermédia, entre 18 e 25 m de profundidade, e no aquífero basal, entre 54 e 73 m de profundidade. Esta rápida reação só poderá encontrar explicação em duas hipóteses: 1) o solo estar saturado em toda a extensão vertical reagindo os níveis piezométricos diretamente à entrada de água no sistema ou 2) existir uma muito elevada permeabilidade vertical das formações neste local. Enquanto se considera que a primeira hipótese deverá estar fora de causa, pois se o solo estivesse todo saturado não haveria três níveis piezométricos no mesmo local, a segunda hipótese encontra explicação no facto de os pontos analisados estarem muito próximos da falha de Santiago com os materiais litológicos muito fragmentados e permeáveis. Efetivamente, de acordo com os perfis geofísicos realizados pelo LNEC em 2015 (Leitão e Mota, 2015), há naquela região uma interface entre anomalias de elevada condutividade por onde circula a água, que corresponderá provavelmente à caixa da falha de Santiago, e uma região de baixa condutividade que será provavelmente a parede da mesma e que funcionará como zona tampão para a propagação da água e/ou hidrocarbonetos. Esta constatação tem grande relevância já que demonstra uma elevada vulnerabilidade à contaminação neste local, sendo fácil a migração de contaminantes (presentes neste local, cf. 3.3.2) até ao aquífero basal.

Visando compreender a extensão desta zona vulnerável, teria interesse verificar se este mesmo comportamento se observa em piezómetros mais afastados da falha, mas dentro do Site 3001. De referir que em Leitão, Lobo Ferreira e Oliveira (2013) se apresentou uma análise semelhante (i.e. medição contínua de níveis piezométricos em três piezómetros muito próximos) em três piezómetros localizados à saída da Porta de Armas (FP6A, FP6B e FP6). Os autores referem que se verificou uma boa resposta das formações hidrogeológicas superficiais à entrada de água no sistema subterrâneo,

por infiltração da água da chuva, mas que não foi possível verificar uma resposta em tempo equivalente dos restantes níveis piezométricos analisados. Justificam a ausência de correlação pelo 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 destas formações.

Relativamente aos valores da condutividade elétrica registados nas sondas é possível verificar que estes vão aumentando em profundidade. Este aumento da mineralização da água de recarga para zonas mais profundas resulta do maior tempo de contacto água - rocha/solo.

Os valores da temperatura medidos não são claros e não apresentam uma correlação com as variações da temperatura do ar.

3.3 Qualidade das águas subterrâneas

3.3.1 Áreas contaminadas com LNAPL

A delimitação das áreas com águas subterrâneas contaminadas com LNAPL foi efetuada através da medição da eventual presença de LNAPL num conjunto de 28 pontos de água, no Site 3001 (Quadro 2.1) e 14 pontos no Site 5001 (Quadro 2.2). Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 3.1 para os piezómetros com valores acima de zero, apenas para os últimos três anos. Nos restantes piezómetros não se regista a presença de LNAPL desde 2017.

Quadro 3.1 – Espessura de LNAPL (m) em diversos piezómetros entre 2017 e 2019, nos Sites 3001 e 5001

Designação	14-06-2017	01-07-2017	18-01-2018	01-12-2018	18-12-2018	01-01-2019	26-06-2019
Site 3001-MW03	0	0,003	0	0	0	Película	Película
Site 3001-MW04	0,216	-	0,109	Película	0,445	0,411	0,634
Site 3001-MW12	0	0,003	0	0	0	0	0
Site 3001-MW20	0,003	-	0	0	0,125	0,122	0,472
Site 3001-MW22	0	0,003	0,003	0	0,003	0	0
Site 3001-MW23	0,025	-	0,019	Película	0,013	0,482	0,076
Site 3001-MW24	0,003	0,003	Película	0	0	Película	0
Site 3001-MW26	0	0,003	0,003	0	0	-	0
Site 5001-MW08	0,006	-	0,058	0	0	0	0
Site 5001-MW25	0	-	0,003	0	0	0	0
Site 5001-MW26	0	-	0,003	0	0	0	0

Na Figura 3.1 apresenta-se a evolução da espessura de LNAPL sobrenadando o nível piezométrico, entre 2012 e 2019, para os pontos com valores mensuráveis, com base nos dados obtidos dos diversos relatórios apresentados pela USAFE. Refere-se que, no relatório em análise, a informação apresentada nem sempre é consistente (p.e. no "Appendix G - LNAPL Recovery Maintenance Protocol", Tetra Tech, Inc., 2019b, os dados do MW20, entre outros, não são iguais aos apresentados na "Table 4-3: Site 3001 – LNAPL and Analytical Summary", cf. Tetra Tech, Inc., 2019). Na Figura 3.1 optou-se por utilizar

a síntese dos dados da Table 4.3, já que estes estão de acordo com os dados apresentados no "Appendix C - Well Gauging Forms".

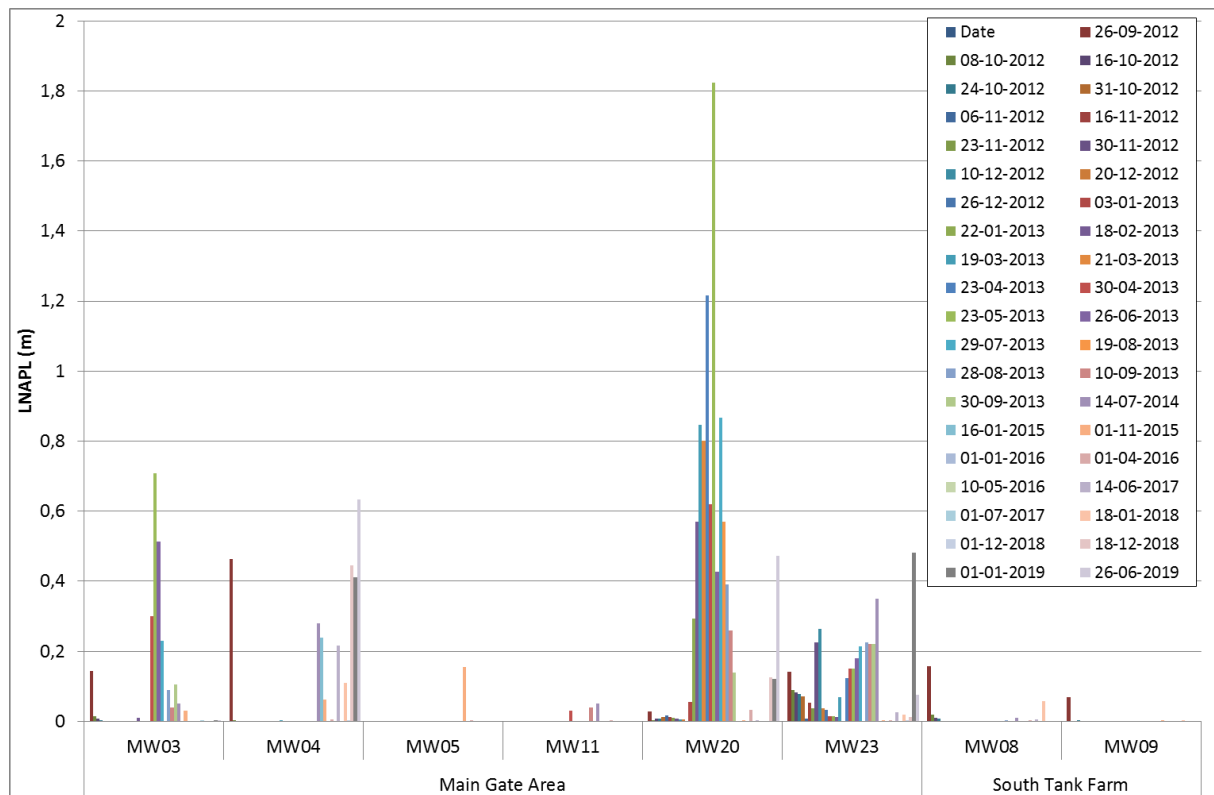


Figura 3.1 – Evolução da espessura de LNAPL sobrenadando o nível piezométrico, entre 2012 e 2019 (dados obtidos dos diversos relatórios solicitados pela USAFE)

Em estudos anteriores sobre as águas subterrâneas do Site 3001 (AMEC, 2012; CH2M Hill, 2005) já haviam sido identificadas estas duas áreas contaminadas (onde se localizam o 3001-MW04, 3001-MW20 e 3001-MW23, cf. Figura 3.2), uma nas formações hidrogeológicas superficiais junto à área Apron. A e outra nas formações hidrogeológicas intermédias junto à Area 5 onde havia depósitos de armazenamento de combustível (Figura 2.1), local onde não existe a formação hidrogeológica superficial.

Nesses locais observa-se que os valores de LNAPL em 2018 e 2019 registaram um novo aumento, nomeadamente nos piezómetros 3001-MW04, 3001-MW20 e 3001-MW23. Leitão e Antunes (2017) referem a pequena ou inexistente espessura de LNAPL registada em 2017 com exceção do Site 3001-MW04 onde ainda se havia registado uma espessura assinalável de LNAPL. À data foi questionado se estes níveis se manteriam após eventos de elevada precipitação, sendo fundamental proceder à sua medição para essas condições. De facto, o aumento destes valores em diversos piezómetros nas campanhas dos anos seguintes mostra que os solos ainda contêm hidrocarbonetos, sendo estes lixiviados até ao nível piezométrico durante a recarga. Em complemento à informação analisada neste relatório refere-se que, em outubro de 2019, o LNEC registou 0,31 m e 0,81 m de LNAPL nos piezómetros MW04 e MW23, respetivamente.

No contexto dos resultados obtidos, corroborados nos perfis geofísicos feitos pelo LNEC em 2019 (Leitão, Mota e Antunes, 2019), devem ser tomadas medidas adicionais no sentido de remover os LNAPL presentes nos locais assinalados com toda a celeridade possível. O processo deverá ser contínuo no tempo para produzir os necessários efeitos de reabilitação.

3.3.2 Resultados das análises químicas

No Quadro 2.1 e Quadro 2.2 referem-se os piezómetros amostrados para análise química das suas águas subterrâneas. Foram analisados os seguintes parâmetros: hidrocarboneto total de petróleo (HTP); benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX); 14 hidrocarbonetos clorados (CHC), 14 alcalibenzos e 16 hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP). Os parâmetros de campo que foram analisados são a condutividade elétrica, a temperatura, o pH e o potencial redox. Foram feitos duplicados e brancos de campo e respeitados os procedimentos de conservação da integridade das amostras.

Na Figura 3.2 à Figura 3.7 apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos em Tetra Tech, Inc. (2019). Para o efeito, agregaram-se os valores das concentrações dos 58 parâmetros analisados por campanha, para cada piezómetro, pelos principais grupos de hidrocarbonetos analisados.

Para o Site 3001, os resultados obtidos também permitem constatar haver duas áreas onde se observam maiores concentrações: Apron. A e Area 5. Os autores do estudo referem que os piezómetros cujas águas subterrâneas apresentaram concentrações individuais em HTP acima da norma, utilizando os critérios do Canadá e Holandês (Ontario Guideline e Dutch Intervention Value), foram o 3001-MW03, 3001-MW04, 3001-MW11, 3001-MW20 e 3001-MW23 em janeiro de 2019 ou maio de 2019, ou durante ambos os eventos de amostragem. Além disso referem terem sido encontradas concentrações em HAP superiores às normas consideradas nos piezómetros 3001-MW03, 3001-MW04 e 3001-MW23. As concentrações individuais de CHC encontraram-se acima das normas nos piezómetros 3001-MW12, 3001-MW13, 3001-MW17 e 3001-MW30. Contudo, se forem considerados os Limiares de Qualidade definidos pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2015) há diversas outras situações em que as normas são ultrapassadas, como é o caso dos BTEX onde, embora as concentrações individuais não tenham ultrapassado as normas utilizadas em Tetra Tech, Inc. (2019), alguns dos seus valores ultrapassam os Limiares de Qualidade para os piezómetros 3001-MW03, 3001-MW05R, 3001-MW11, 3001-MW16, 3001-MW19, 3001-MW20, 3001-MW24, 3001-MW25 e 3001-MW27, além de diversos HAP.

Em comparação com resultados anteriores nas formações hidrogeológicas observa-se que, apesar de a contaminação persistir, os valores da sua concentração são um pouco inferiores para a maioria dos compostos, com exceção do piezómetro 3001-MW04.

Um outro aspeto a salientar é a presença de contaminantes nos piezómetros de águas subterrâneas que captam o aquífero basal, com valores acima das normas para diversos CHC no 3001-MW30 (em todas as campanhas) e no 3001-MW22 para o HAP naftaleno (apenas numa campanha) (cf. Figura 3.7). Esta é uma situação nova, para a qual se procura uma explicação por forma a estancar a sua expansão e minimizar as consequências para a água de consumo. Os autores deste estudo

argumentam que quer no piezómetro 3001-MW05R (que capta a formação hidrogeológica superficial no mesmo local do 3001-MW30), quer noutros piezómetros dentro do Site 3001 (3001-MW13 e 3001-MW17), os valores encontrados para CHC, nomeadamente tricloroetileno (TCE), são substancialmente inferiores aos valores medidos para MW30, sugerindo que o Site 3001 não seja a principal fonte de TCE na MW30, não referindo qual seria então a sua origem. Com base nos elementos atualmente disponíveis, dada a limitação espacial desta poluição e o facto de ter sido recentemente perfurado o MW30, é possível que esta contaminação tenha sido originada pelos procedimentos do processo de furação, ou por infiltração de contaminantes a partir de níveis superiores. Reitera-se por isso a recomendação já efetuada pelo LNEC em agosto de 2019 a este propósito, no sentido de proceder à extração de cerca de 10 000 L de água e monitorização da sua qualidade a cada 1 000 L extraídos. Caso se verifique um decréscimo das concentrações ao longo da amostragem, significará que se tratou de um problema pontual. Se, pelo contrário, os valores se mantiverem, então significará que a contaminação terá um carácter menos pontual.

Apreciação sumária do relatório

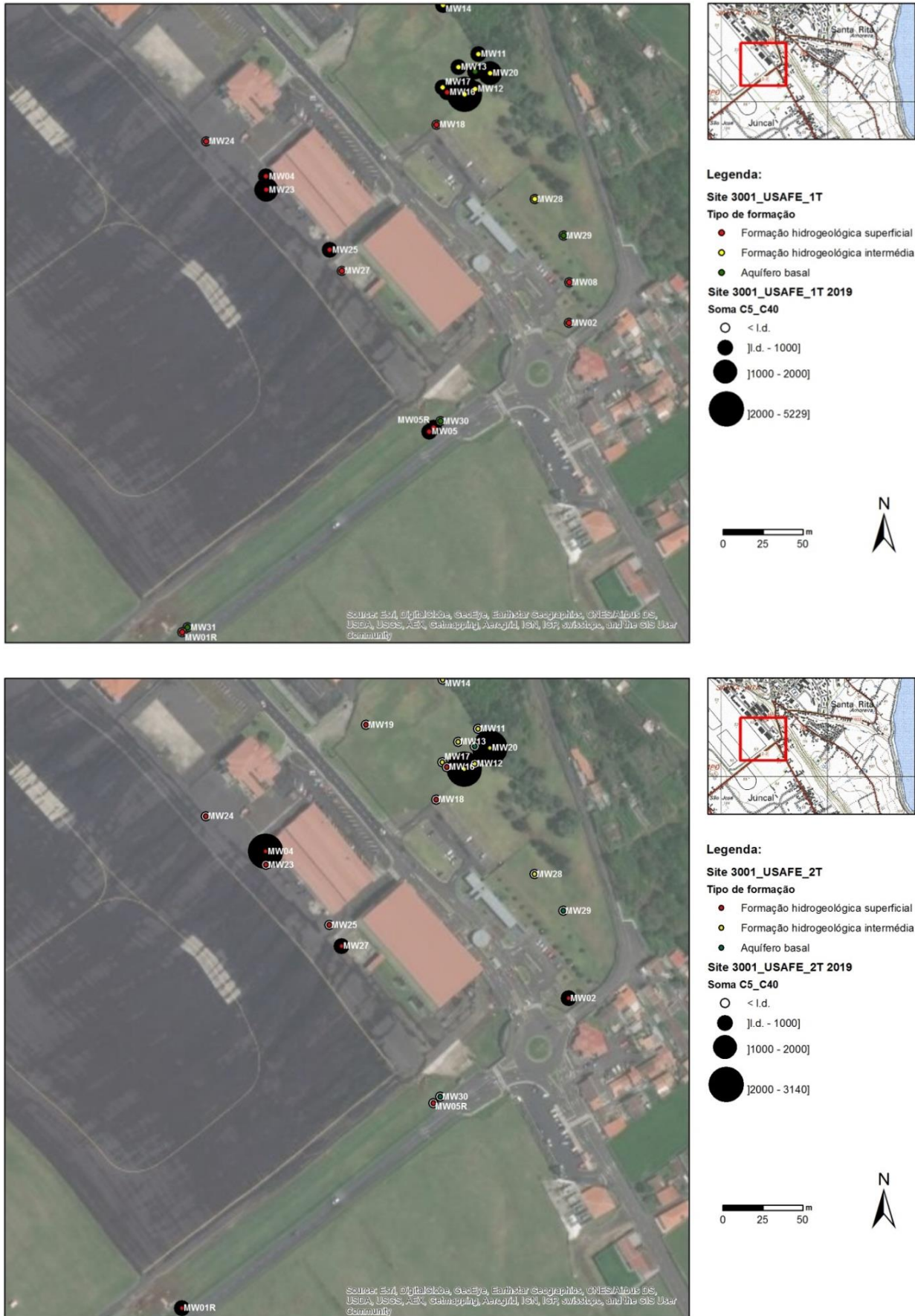


Figura 3.2 – Soma das concentrações em HTP (C5_C40) em 2019 (dados do relatório Tetra Tech, Inc., 2019)

Apreciação sumária do relatório

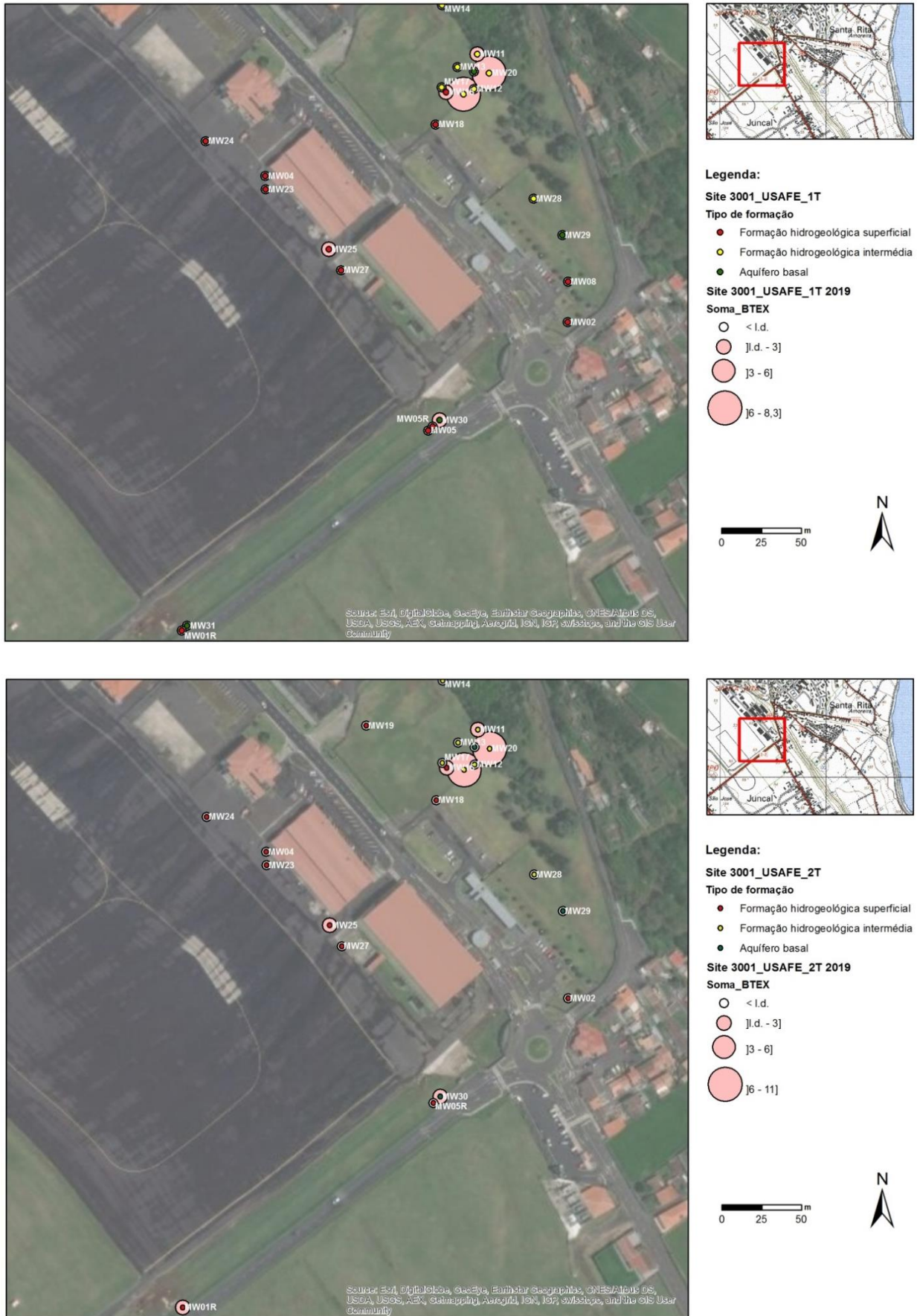


Figura 3.3 – Soma das concentrações em BTEX em 2019 (dados do relatório Tetra Tech, Inc., 2019)

Apreciação sumária do relatório

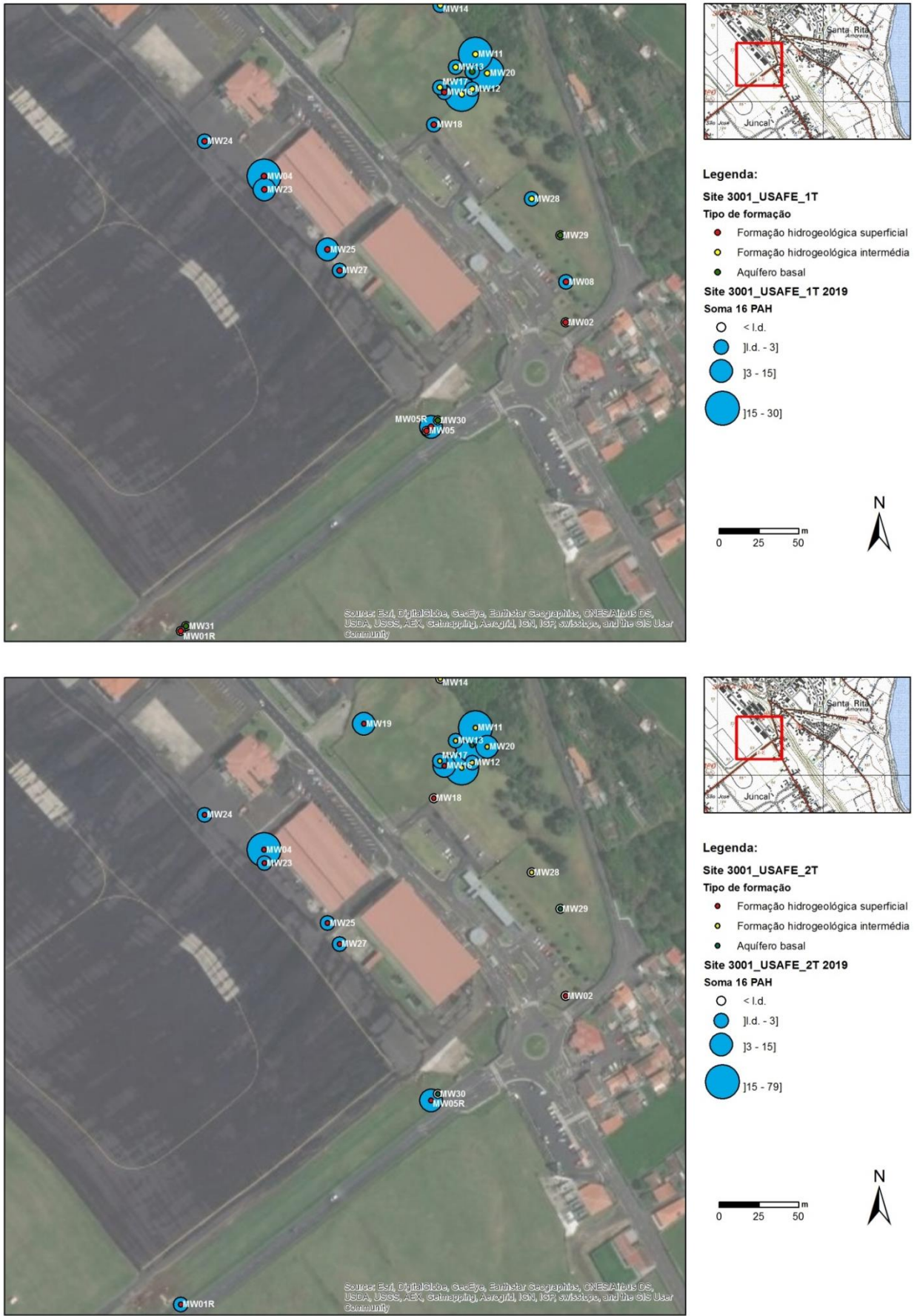


Figura 3.4 – Soma das concentrações em PAH em 2019 (dados do relatório Tetra Tech, Inc., 2019)

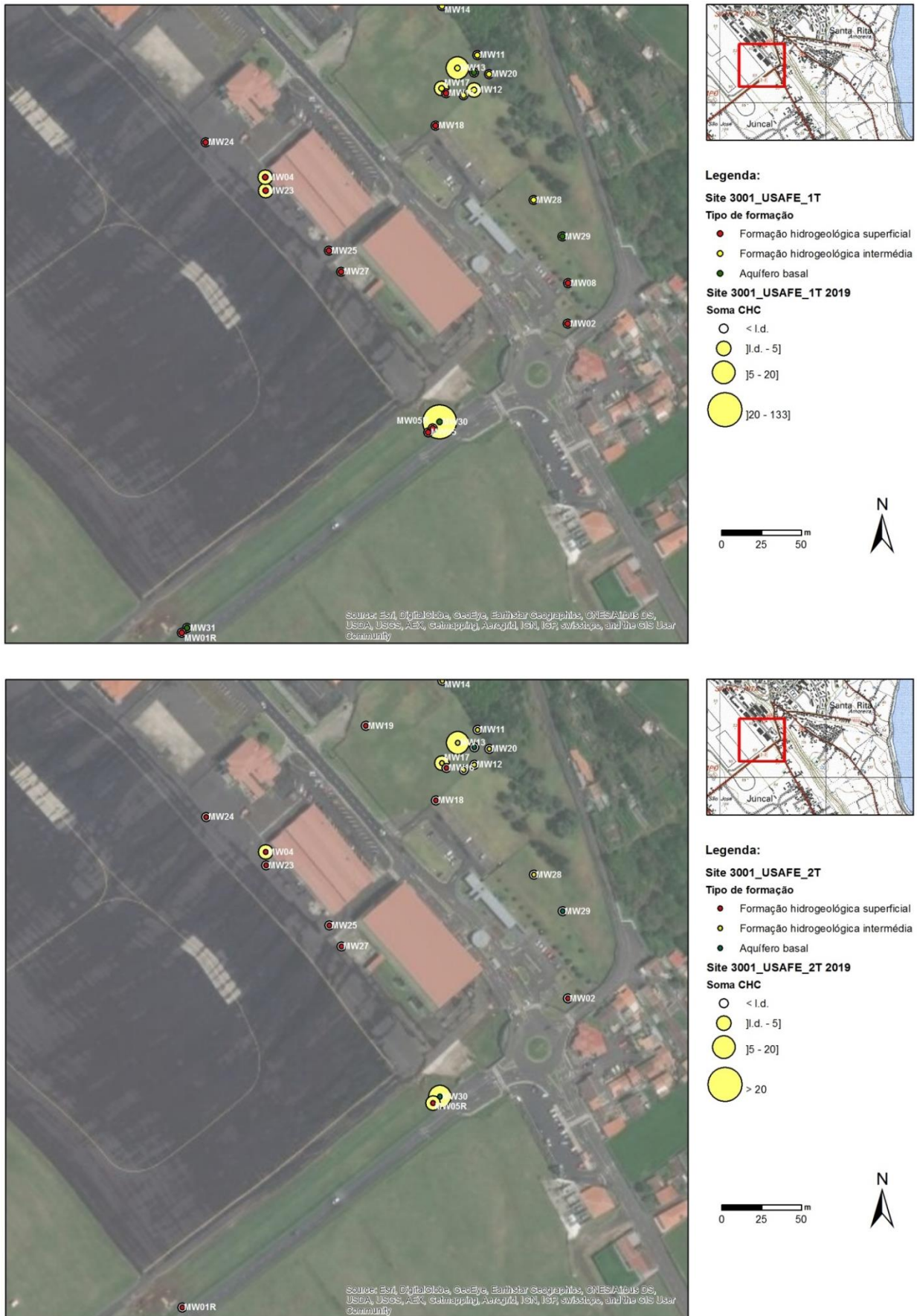


Figura 3.5 – Soma das concentrações em CHC em 2019 (dados do relatório Tetra Tech, Inc., 2019)

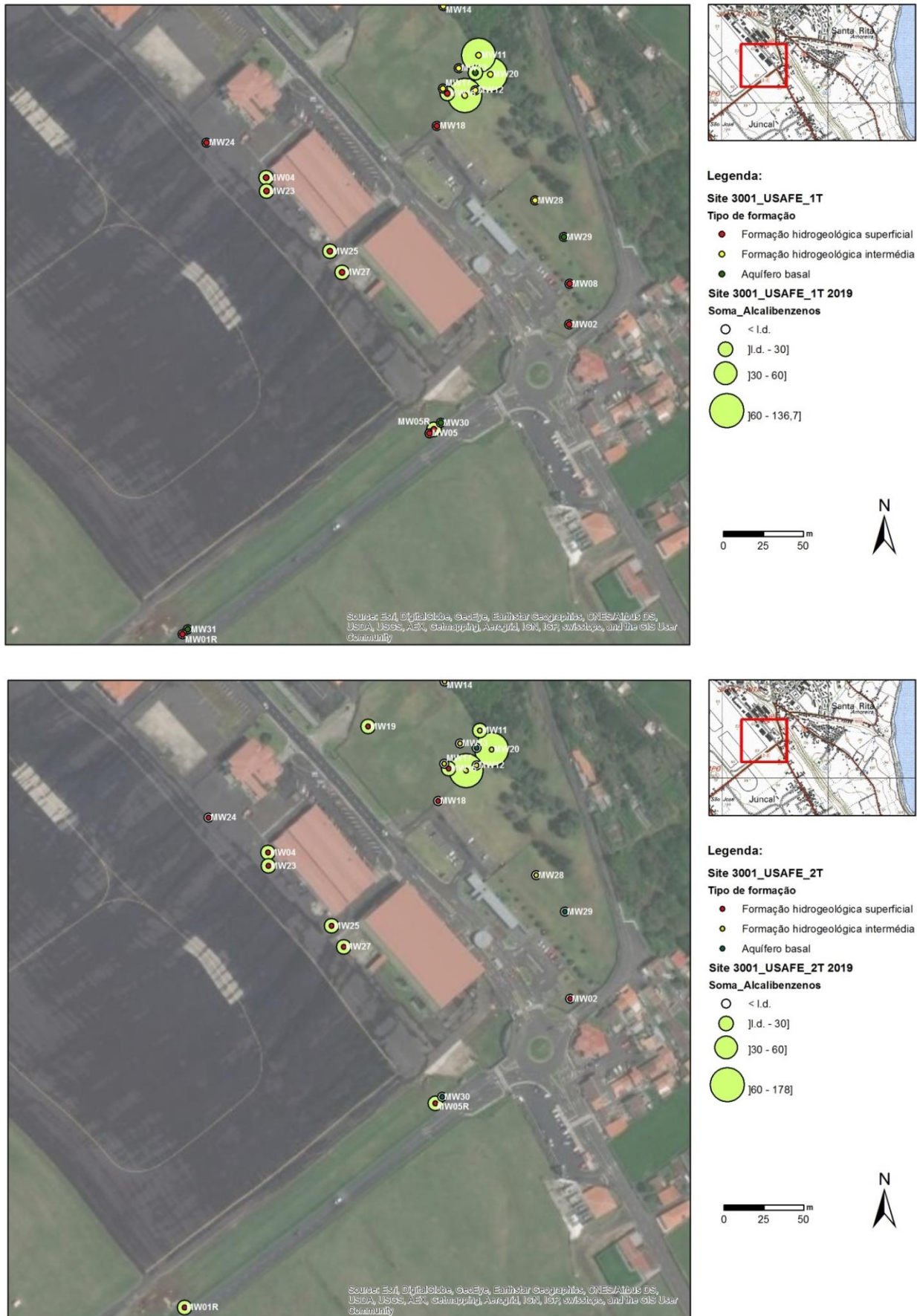


Figura 3.6 – Soma das concentrações em alcalibenzenos em 2019 (dados do relatório Tetra Tech, Inc., 2019)

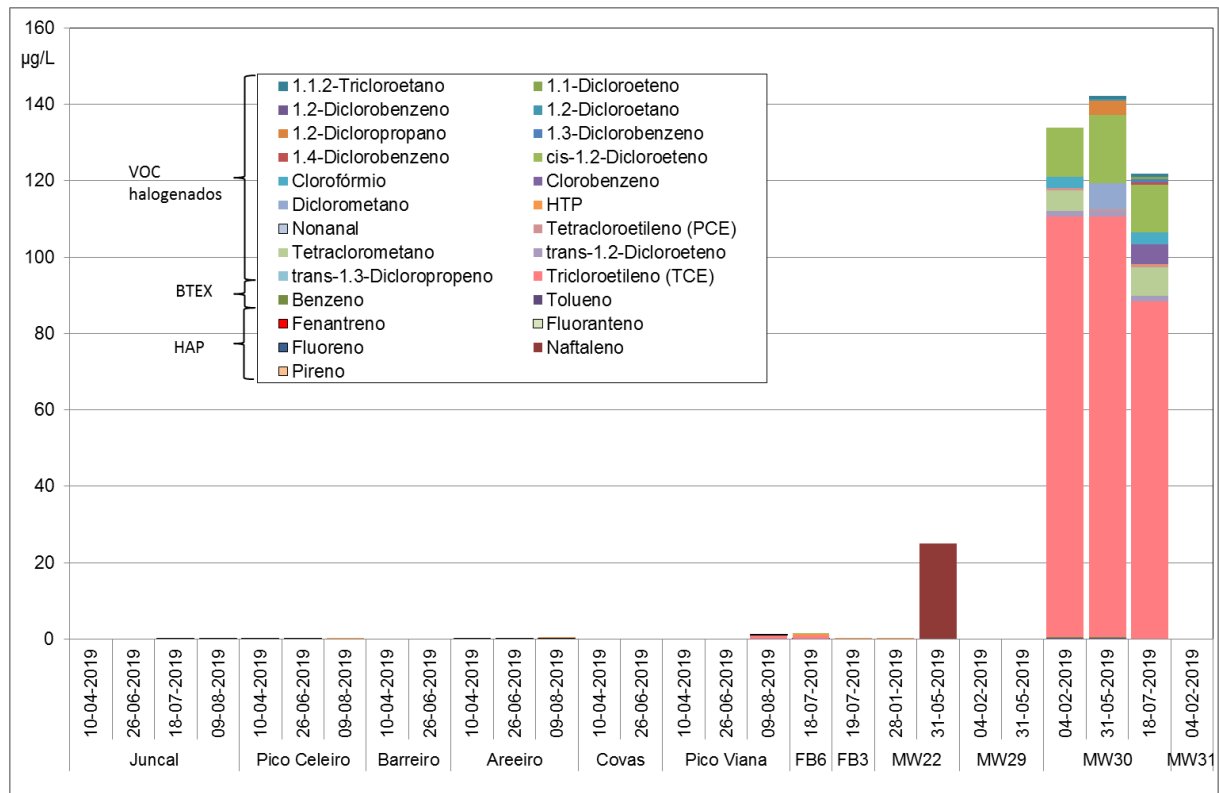


Figura 3.7 – Concentrações em hidrocarbonetos nas águas do aquífero basal em 2019 (todas as entidades, apesar de os limites de quantificação serem diferentes)

Para o Site 5001, observa-se que há diversos piezómetros (5001-MW08, 5001-MW09, 5001-MW17, 5001-MW20, 5001-MW23 e 5001-MW24) com concentrações em HTP, HAP e/ou CHC nas águas subterrâneas acima do limite de quantificação, mas apenas o 5001-MW08 apresentou concentrações de TPH, CHC (1,1,2-tricloroetano) e HAP superiores aos critérios de avaliação utilizados. O piezómetro 5001-MW17 teve uma concentração de acenafileno superior ao valor de avaliação e o 5001-MW09 teve uma concentração em HTP superior à norma. Contudo, se atendermos aos limiares de qualidade da APA (2015) também há contaminação por BTEX em alguns piezómetros (5001-MW08, 5001-MW09, 5001-MW17), além de HAP extensível a esses e outros piezómetros.

Os dados agora apresentados têm algumas oscilações em relação a campanhas recentes, situando-se dentro da mesma ordem de grandeza. Os piezómetros 5001-MW08, 5001-MW09 e 5001-MW17 são os mais impactados.

3.4 Reabilitação em curso

Um dos objetivos do trabalho em análise foi proceder à reinstalação e manutenção do equipamento de extração LNAPL pelo período de nove meses de vigência do trabalho, i.e. entre 1 de outubro de 2018 e 30 de junho de 2019. No relatório apenas se referem os resultados até maio de 2019.

A extração de LNAPL foi realizada através da colocação de meias absorventes, trocadas em cada campanha realizada, em sete piezómetros (cf. Quadro 2.1 e Quadro 2.2), segundo as recomendações da equipa da USAFE. Os piezómetros foram os seguintes:

- Site 3001: MW03, MW11, MW16, MW19 (só em parte do tempo) e MW20;
- Site 5001: MW08 e MW09.

O relatório refere que nenhuma atividade de manutenção ou extração de LNAPL tinha sido realizada em mais de um ano antes do primeiro evento de manutenção, realizado em outubro de 2018. O trabalho executado incluiu a inspeção visual dos piezómetros e a substituição da meia adsorvente. Foram anotados a espessura do LNAPL e a diferença de peso da meia absorvente antes e depois do seu uso. Com base nos resultados obtidos foi sendo feita uma otimização da frequência de extração e substituição da meia em cada piezómetro, atendendo ao produto livre registado e às taxas de recarga.

O Quadro 3.2 apresenta uma síntese dos resultados reportados.

Quadro 3.2 – Resultado das campanhas de medição de LNAPL nos pontos com meias absorventes, nos Sites 3001 e 5001

Designação	Encontrado LNAPL nalguma campanha	Indício da presença de hidrocarbonetos	Peso de hidrocarbonetos retirados entre 1 de outubro de 2018 e 28 de maio de 2019 (kg)
Site 3001-MW03	Sim (primeira de 17 campanhas)	Sim	6,848
Site 3001-MW11	Sim (em 2 de 17 campanhas)	Sim	7,463
Site 3001-MW16	Não (em 17 campanhas)	Não	7,738
Site 3001-MW19	-	-	0,530
Site 3001-MW20	Sim (em 14 campanhas)	Sim	12,399
Site 5001-MW08	Sim (em 3 de 12 campanhas)	Sim	7,645
Site 5001-MW09	Não (em 11 campanhas)	Não	8,594

Tetra Tech, Inc (2019) apresenta um conjunto de gráficos com a evolução semanal dos hidrocarbonetos extraídos em cada um destes piezómetros. Observa-se que na maioria dos casos os valores extraídos aumentam a partir de janeiro, corroborando a tese de que haverá um arraste dos hidrocarbonetos presentes no solo durante os episódios de recarga. Os resultados mostram que ainda existe uma pluma delimitada de contaminantes em ambos os locais.

Comparando os piezómetros onde se extraíram LNAPL (Quadro 3.2) com os resultados obtidos da medição de LNAPL apresentados no Quadro 3.1, verifica-se que as meias absorventes foram essencialmente colocadas em piezómetros com baixa (3001-MW03) ou nula espessura de LNAPL (p.e. 3001-MW11, 3001-MW16 e 3001-MW19). Naturalmente que os locais com espessuras significativas de LNAPL (e.g. 3001-MW04 e 3001-MW23) também não são indicados para remoção de hidrocarbonetos com meias absorventes, mas questiona-se porque não foram utilizadas outras medidas de reabilitação mais eficientes para estas situações.

O trabalho de reabilitação desenvolvido até à data não se tem revelado suficiente para resolver o problema de contaminação identificado nos Sites 3001 e 5001, contrariando a tendência de redução

significativa de LNAPL reportada em relatórios anteriores, nomeadamente com o aumento de LNAPL nos piezómetros 3001-MW04, 3001-MW20 e 3001-MW23 (Figura 3.1). Os procedimentos não têm tido um carácter contínuo, o que pode explicar esta situação. Atendendo aos resultados obtidos para a espessura de LNAPL, cuja presença pode estar na origem das “anomalias” detetadas em geofísica realizada pelo LNEC (Leitão, Mota e Antunes, 2019), reforça-se a necessidade de tomar medidas no sentido de remover os LNAPL presentes com toda a celeridade possível, por forma a evitar eventuais consequências na qualidade da água do aquífero basal.

4 | Conclusões e recomendações

4.1 Conclusões

O trabalho analisado permitiu verificar que a direção do escoamento subterrâneo das formações hidrogeológicas superficial e intermédia do Site 3001 é variável ao longo do tempo, embora o escoamento na formação hidrogeológica superficial se faça essencialmente para oeste e noroeste. O escoamento no aquífero basal apresenta direção oposta, para leste. No Site 5001, a direção do escoamento no aquífero basal é variável ao longo do tempo e apresenta-se sob forte influência da maré.

A medição contínua de níveis de água em quatro piezómetros que captam três níveis hidrogeológicos distintos (MW16, na formação hidrogeológica superficial; MW15 e MW17, na formação hidrogeológica intermédia e MW22, no aquífero basal) permitiu registar uma resposta idêntica dos três sistemas a eventos de precipitação. Crê-se que esta rápida reação resulta do facto destes pontos se encontrarem junto à falha de Santiago, num local de elevada permeabilidade vertical das formações proporcionada pelos materiais litológicos fragmentados. Este é naturalmente um fator de preocupação já que a falha parece estar a favorecer a entrada de contaminantes para o aquífero basal.

Relativamente à qualidade das águas subterrâneas, os resultados obtidos contrariam a tendência observada nos últimos anos de diminuição da espessura de LNAPL, tendo sido registado no Site 3001 uma assinalável espessura de LNAPL nos piezómetros 3001-MW04, 3001-MW20 e 3001-MW23 (cf. Quadro 3.1). Os resultados da qualidade das águas subterrâneas mostram a presença de diversos parâmetros acima das normas.

Os resultados das análises químicas das águas de dois piezómetros que captam o aquífero basal apresentaram valores acima das normas para diversos compostos orgânicos (CHC) no 3001-MW30 (em todas as campanhas) e no 3001-MW22 para o HAP naftaleno (apenas numa campanha). Com base nos elementos atualmente disponíveis, dada a limitação espacial desta poluição, e o facto de ter sido recentemente perfurado o MW30, é possível que esta contaminação tenha sido originada durante o processo de furação, ou por infiltração a partir de níveis superiores.

Os trabalhos de reabilitação realizados através da colocação de meias absorventes, durante os nove meses em que se desenvolveu o estudo em análise, permitiram retirar 34,98 kg de hidrocarbonetos do Site 3001 e 16,24 kg do Site 5001 (cf. Quadro 3.2). A evolução semanal dos hidrocarbonetos retirados não apresentou sinais de redução do volume extraído e confirmou a presença de plumas de contaminação delimitadas em ambos os Sites.

4.2 Recomendações

No contexto do exposto recomendam-se as seguintes ações com vista à resolução dos problemas de contaminação de águas subterrâneas:

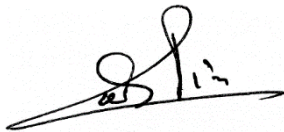
- Elaboração de um programa que permita remover, de forma eficaz e continuada no tempo, os contaminantes identificados nas áreas poluídas dos Sites 3001 e 5001.
- Extração da água poluída do MW30, apontando-se para um volume total a extrair de cerca de 10 000 L de água, e monitorização da sua qualidade a cada 1 000 L extraídos. Caso se venha a verificar um decréscimo das concentrações ao longo da amostragem, significará que se tratou de um problema pontual.

Recomenda-se também que se efetue o registo contínuo dos níveis da água subterrânea em piezómetros mais afastados da falha de Santiago, procurando analisar se as variações nos três níveis hidrogeológicos são equivalentes, ou não, às encontradas nos piezómetros junto à falha, procurando identificar a extensão da zona de maior vulnerabilidade à contaminação.

Recomenda-se ainda que, nas próximas campanhas promovidas pela USAFE sejam alterados os limites de quantificação das análises químicas por forma a serem inferiores aos Limiares de Qualidade propostos pela APA. Uma vez mais se refere que a maioria das análises químicas efetuadas pela Tetra Tech, Inc. utiliza limites de quantificação que estão acima dos Limiares de Qualidade (LQ) publicados pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2015) (cf. Anexo I).

Lisboa, LNEC, novembro de 2019

VISTO



O Conselho Diretivo

AUTORIA



Teresa E. Leitão
Investigadora Principal com Habilitação



Maria de Lurdes Antunes
Investigadora-Coordenadora

Referências bibliográficas

- AMEC, 2012 – **Site Investigation Activities and Site Characterizations at Lajes Field, Azores. Risk Assessment Report.** Kaiserslautern, March 2012.
- AMEC, 2015 – **Light Non-Aqueous Phase Liquid Extraction and Long-Term Monitoring at Sites 3001 and 5001 at Lajes Field, Azores, Portugal. Second semi annual LTM report – Final.** May 2015, 159 pp.
- APA, 2015 – **Plano de Gestão de Região Hidrográfica do Minho e Lima. 2.º Ciclo de Planeamento.** Anexo V dos Planos de Gestão das Regiões Hidrográficas 2016/2021 publicados pela Agência Portuguesa do Ambiente.
- LEITÃO, T.E.; LOBO FERREIRA, J.P.; OLIVEIRA, M.M., 2013 – **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.** LNEC - Proc. 0605/121/18422. Relatório 407/2013 – DHA/NRE.
- LEITÃO T.E.; ANTUNES, M.L., 2017 – **Assessoria Técnica aos Processos de Reabilitação Ambiental Relacionados com a Utilização da Base das Lajes pelos EUA. Apreciação sumária do relatório "Perform Remedial Action: Light Non-Aqueous Phase Liquid Extraction at Sites 3001 and 5001 Lajes Field, Azores, Portugal. Semi-Annual Monitoring Report. November 2017".** LNEC - Proc. 0102/121/21116. Relatório 452/2017 – CD.
- LEITÃO T.E.; MOTA, R.; ANTUNES, M.L., 2019 – **Estudos Complementares no Âmbito dos Processos de Reabilitação Ambiental Relacionados com a Utilização da Base das Lajes pelos EUA. Relatório Final, 2019.** LNEC - Proc. 0102/121/21350. Relatório 145/2019 – CD.
- TETRA TECH, INC., 2019a – **Perform Remedial Action: Installation of Monitoring Wells and Groundwater Monitoring at Sites 3001 and 5001. Lajes Field, Azores, Portugal. Annual Groundwater Monitoring Report.** August 2019, 40 pp.
- TETRA TECH, INC., 2019b – **Perform Remedial Action: Installation of Monitoring Wells and Groundwater Monitoring at Sites 3001 and 5001. Lajes Field, Azores, Portugal. Annual Groundwater Monitoring Report. Appendices A to G,** 206 pp.
- TETRA TECH, INC., 2019c – **Perform Remedial Action: Installation of Monitoring Wells and Groundwater Monitoring at Sites 3001 and 5001. Lajes Field, Azores, Portugal. Annual Groundwater Monitoring Report. Attachment A - Groundwater well installation summary - Drilling of Six New Wells. Appendix 1 to 5.** August 2019, 91 pp.

ANEXO

Valores de referência em águas subterrâneas

Quadro A.1 – Valores de referência em águas subterrâneas para os parâmetros analisados
(extraído de Antunes *et al.*, 2016)

Parâmetro	Unidade	Normativo					
		NQ	LQ	VP	Canadá T2	Canadá T3	Holanda IV
Temperatura	°C						
pH	Sorensen		5,5; 9				
Condutividade elétrica	µS/cm (20°C)		2500				
Índice de fenóis	mg/L				0,89	12	2
Carbonatos	mg/L						
Cloretos	mg/L		250		790	2300	
Bicarbonato	mg/L						
Nitratos	mg/L	50					
Sulfato	mg/L		250				
Alumínio - Al	mg/L			0,2			
Antimónio - Sb	mg/L			0,005			0,02
Arsénio - As	mg/L		0,01		0,025	1,9	0,06
Bário - Ba	mg/L				1	29	0,625
Berílio - Be	mg/L				0,004	0,067	0,015
Boro - B	mg/L				5	45	
Cádmio - Cd	mg/L		0,005		0,0027	0,0027	0,006
Cálcio - Ca	mg/L						
Crómio - Cr	mg/L			0,05	0,05	0,81	0,03
Cobalto - Co	mg/L				0,0038	0,066	0,1
Cobre - Cu	mg/L			2	0,087	0,087	0,075
Ferro - Fe	mg/L			0,2			
Chumbo - Pb	mg/L		0,01		0,01	0,025	0,075
Lítio - Li	mg/L						
Magnésio - Mg	mg/L						
Manganês - Mn	mg/L			0,05			
Mercúrio - Hg	µg/L		1		0,29	0,29	0,3
Molibdeno - Mo	mg/L				0,07	9,2	0,3
Níquel - Ni	mg/L			0,02	0,1	0,49	0,075
Fósforo - P	mg/L						
Potássio - K	mg/L						
Selénio - Se	mg/L			0,01	0,01	0,063	0,16
Prata - Ag	mg/L				0,0015	0,0015	0,04
Sódio - Na	mg/L			200	490	2300	
Tálio - Ta	mg/L				0,002	0,51	0,007
Vanádio - V	mg/L				0,0062	0,25	0,07
Zinco - Zn	mg/L				1,1	1,1	0,8
Hidrocarbonetos Totais do Petróleo	mg/L				0,75	0,75	
BTEX:							
Benzeno	µg/L		1	1	5	44	30
Etilbenzeno	µg/L		1,3		2,4	2300	150
Meta-para xileno	µg/L		1,3		300	4200	70

Parâmetro	Unidade	Normativo					
		NQ	LQ	VP	Canadá T2	Canadá T3	Holanda IV
Orto-xileno	µg/L		1,3		300	4200	70
Tolueno	µg/L		1,3		24	18000	1000
Compostos Orgânicos Voláteis Halogenados:							
1.1.1.2-Tetracloroetano	µg/L				1,1	3,3	
1.1.1-Tricloroetano	µg/L				200	640	300
1.1.2.2-Tetracloroetano	µg/L				1	3,2	
1.1.2-Tricloroetano	µg/L				4,7	4,7	130
1.1-Dicloroetano	µg/L				5	320	900
1.1-Dicloroetano	µg/L				1,6	1,6	10
1.1-Dicloropropileno	µg/L						
1.2.3-Triclorobenzeno	µg/L						
1.2.3-Tricloropropano	µg/L						
1.2.4-Triclorobenzeno	µg/L				70	180	
1.2-Dibromo-3-cloropropano	µg/L						
1.2-Dibromoetano (EDB)	µg/L						
1.2-Diclorobenzeno	µg/L				3	4600	
1.2-Dicloroetano	µg/L			3	1,6	1,6	400
1.2-Dicloropropano	µg/L				5	16	
1.3.5-Triclorobenzeno	µg/L						
1.3-Diclorobenzeno	µg/L				59	9600	
1.3-Dicloropropano	µg/L						
1.4-Diclorobenzeno	µg/L				1	8	
2.2-Dicloropropano	µg/L						
2-Clorotolueno	µg/L						
4-Clorotolueno	µg/L						
Bromobenzeno	µg/L						
Bromoclorometano	µg/L						
Bromodiclorometano	µg/L				16	85000	
Bromofórmio	µg/L				25	380	
Bromometano	µg/L				0,89	5,6	
cis-1.2-Dicloroetano	µg/L				1,6	1,6	20
cis-1.3-Dicloropropileno	µg/L				0,5		
Cloreto de vinil	µg/L				0,5	0,5	5
Clorobenzeno	µg/L				30	630	180
Cloroetano	µg/L						
Clorofórmio	µg/L				2,4	2,4	400
Clorometano	µg/L						
Dibromoclorometano	µg/L				25	82000	
Dibromometano	µg/L						
Diclorodifluorometano	µg/L				590	4400	
Diclorometano	µg/L						1000
Hexaclorobutadieno	µg/L				0,44	0,44	

Parâmetro	Unidade	Normativo					
		NQ	LQ	VP	Canadá T2	Canadá T3	Holanda IV
Tetracloroetileno (PCE)	µg/L		0,65	10 ³	1,6	1,6	40
Tetraclorometano	µg/L						10
trans-1.2-Dicloroeteno	µg/L				1,6	1,6	
trans-1.3-Dicloropropeno	µg/L				0,5		
Tricloroetileno (TCE)	µg/L		0,65	10 ¹	1,6	1,6	500
Triclorofluorometano	µg/L				150	2500	
Compostos Orgânicos Voláteis não Halogenados:							
1.2.4-Trimetilbenzeno	µg/L						
1.3.5-Trimetilbenzeno	µg/L						
Isopropilbenzeno	µg/L						
Metil tert-Butil Éter (MTBE)	µg/L				15	190	9200
n-Butilbenzeno	µg/L						
n-Propilbenzeno	µg/L						
p-Isopropiltolueno	µg/L						
sec-Butilbenzeno	µg/L						
Estireno	µg/L				5,4	1300	300
tert-Butil álcool	µg/L						
tert-Butilbenzeno	µg/L						
Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares (PAHs) (DNAPL):							
Acenafteno	µg/L		0,0065		4,1	600	
Acenaftileno	µg/L		0,013		1	1,8	
Antraceno	µg/L		0,1		2,4	2,4	5
Benzo(a)antraceno	µg/L		0,0065		1	4,7	0,5
Benzo(a)pireno	µg/L		0,01	0,01	0,01	0,81	0,05
Benzo(b)fluoranteno	µg/L		0,1		0,1	0,75	0,05
Benzo(g,h,i)perileno	µg/L		0,1		0,2	0,2	0,05
Benzo(k)fluoranteno	µg/L		0,1		0,1	0,4	
Criseno	µg/L		0,0065		0,1	1	0,2
Dibenz(a,h)antraceno	µg/L				0,2	0,52	
Fluoranteno	µg/L		0,1		0,41	130	1
Fluoreno	µg/L		0,0065		120	400	
Indeno(1.2.3.cd)pireno	µg/L		0,1		0,2	0,2	0,05
Naftaleno	µg/L		2,4		11	1400	70
Fenantreno	µg/L		0,0065		1	580	5
Pireno	µg/L		0,003		4,1	68	
Soma de 4 PAH (DL 306/2007)	µg/L			0,1			

NQ - Normas de Qualidade. Anexo I da DAS. DL 208/2008

LQ - Limiar de Qualidade definido pela APA (2015)

VP - Valor Paramétrico. DL 306/2007 Qualidade da água destinada ao consumo humano

Canadá T2 - *Standards in a Potable Groundwater Condition*; Canadá T3 - *Standards in a Non-Potable Ground Water Condition*

Holanda, *Intervention values*

³ Soma das concentrações dos compostos especificados

