



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

ASSESSORIA TÉCNICA AOS PROCESSOS DE REABILITAÇÃO AMBIENTAL RELACIONADOS COM A UTILIZAÇÃO DA BASE DAS LAJES PELOS EUA

Parecer sobre os materiais a utilizar para a instalação de novas redes de abastecimento de água em zonas com solos potencialmente contaminados e análise de solos no traçado previsto para o sistema de abastecimento a Santa Rita

Ministério da Defesa Nacional

Lisboa • agosto 2020

I&D CONSELHO DIRETIVO

RELATÓRIO 280/2020 – CD

Título

ASSESSORIA TÉCNICA AOS PROCESSOS DE REABILITAÇÃO AMBIENTAL RELACIONADOS COM A UTILIZAÇÃO DA BASE DAS LAJES PELOS EUA

Parecer sobre os materiais a utilizar para a instalação de novas redes de abastecimento de água em zonas com solos potencialmente contaminados e análise de solos no traçado previsto para o sistema de abastecimento a Santa Rita

Autoria

CONSELHO DIRETIVO

Maria de Lurdes Antunes

Investigadora-Coordenadora, Vogal do Conselho Diretivo

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS

Luís Pimentel Real

Investigador Auxiliar, Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE

Teresa E. Leitão

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

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

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 280/2020

Proc. 0102/121/22465

ASSESSORIA TÉCNICA AOS PROCESSOS DE REABILITAÇÃO AMBIENTAL RELACIONADOS COM A UTILIZAÇÃO DA BASE DAS LAJES PELOS EUA

Parecer sobre os materiais a utilizar para a instalação de novas redes para abastecimento de água em zonas com solos potencialmente contaminados e análise de solos no traçado previsto para o sistema de abastecimento a Santa Rita

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 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 a análise dos materiais mais adequados a utilizar na instalação de novas redes de abastecimento de água em zonas com solos potencialmente contaminados, tendo em atenção o projeto de execução da adução e abastecimento de água a Santa Rita / Juncal. Posteriormente foi, ainda, solicitada uma análise preliminar da qualidade dos solos num dos troços do traçado previsto para a condução de adução, identificado como apresentando maior risco de contaminação. Apresenta-se uma síntese das conclusões obtidas.

Palavras-chave: Materiais / Redes de abastecimento / Contaminação / Solos

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

Advise on the materials to be used for the installation of new water supply networks in areas with potentially contaminated soils and soil analysis in the area of the new installation of Santa Rita water supply system

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 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 analyze the most suitable materials to be used in the installation of new water supply networks in areas with potentially contaminated soil, considering the future installation of a new water supply system to Santa Rita / Juncal. Subsequently, a preliminary analysis of soil quality was also requested in one of the sections of the new system identified as presenting a higher risk of contamination. A summary of the conclusions obtained is presented.

Keywords: Materials / Water supply / Contamination / Soils

ASSESSORIA TÉCNICA AOS PROCESSOS DE REABILITAÇÃO AMBIENTAL RELACIONADOS COM A UTILIZAÇÃO DA BASE DAS LAJES PELOS EUA

Parecer sobre os materiais a utilizar para a instalação de novas redes de abastecimento de água em zonas com solos potencialmente contaminados e análise de solos no traçado previsto para o sistema de abastecimento a Santa Rita

Índice

1	Introdução	1
2	Análise dos principais materiais utilizados em redes de distribuição de água	3
3	Recomendações sobre os materiais a utilizar na zona com solos potencialmente contaminados	8
4	Análise de solos	9
5	Conclusões.....	14
	Referências bibliográficas	16

Índice de figuras

Figura 1.1 – Planta geral do projeto de execução da adutora e abastecimento de água a Santa Rita / Juncal (extraído de Noragua, 2016)	1
Figura 4.1 – Mapa da localização dos solos amostrados	9
Figura 4.2 – Aspeto geral do procedimento de recolha de solos pelo LREC	10

Índice de quadros

Quadro 2.1 – Vantagens, desvantagens e aplicações dos tubos de ferro dúctil	3
Quadro 2.2 – Vantagens, desvantagens e aplicações dos tubos de aço	4
Quadro 2.3 – Vantagens, desvantagens e aplicações dos tubos de betão	4
Quadro 2.4 – Vantagens, desvantagens e aplicações dos tubos de PVC-U.....	5
Quadro 2.5 – Vantagens, desvantagens e aplicações dos tubos de PE	5
Quadro 2.6 – Vantagens, desvantagens e aplicações dos tubos de PRFV	6
Quadro 4.1 – Resultados das análises químicas de amostras de solos recolhidas na Canada Mesquita, a estrada perpendicular à pista de aviação a sul (cf. Figura 4.1)	11

Parecer sobre os materiais a utilizar para a instalação de novas redes de abastecimento de água em zonas com solos potencialmente contaminados e análise de solos no traçado previsto para o sistema de abastecimento a Santa Rita

1 | Introdução

O LNEC encontra-se a apoiar o Ministério da Defesa Nacional (MDN) e a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores (ERSARA) num 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 (Leitão, Mota e Antunes, 2019).

Nesse âmbito, e na sequência da análise realizada pelo LNEC ao "Projeto de execução da adução e abastecimento de água a Santa Rita / Juncal, Concelho de Praia da Vitória" (NORAQUA, 2017), incidindo unicamente nas questões que possam ser suscitadas pelos aspetos ambientais relacionados com a utilização da Base das Lajes pelos EUA, o MDN solicitou ao LNEC um Parecer sobre os materiais a utilizar para a instalação de novas redes de abastecimento de águas em zonas com solos potencialmente contaminados.

Na Figura 1.1 apresenta-se a planta geral do sistema projetado pela NORAQUA para a adução e abastecimento de água ao bairro de Santa Rita /Juncal. A principal questão que se coloca é o facto da conduta adutora em Polietileno de Alta Densidade (PEAD) atravessar, no local assinalado no retângulo vermelho da Figura 1.1, uma área a jusante do Site 3001 que apresenta contaminação de solos em diversos locais, além de estar muito próxima do local onde passa o pipeline da Cova das Cinzas, entretanto removido/inertizado, sendo o PEAD um material passível de ser permeado por poluentes orgânicos do tipo dos que existem nos solos dessa área.

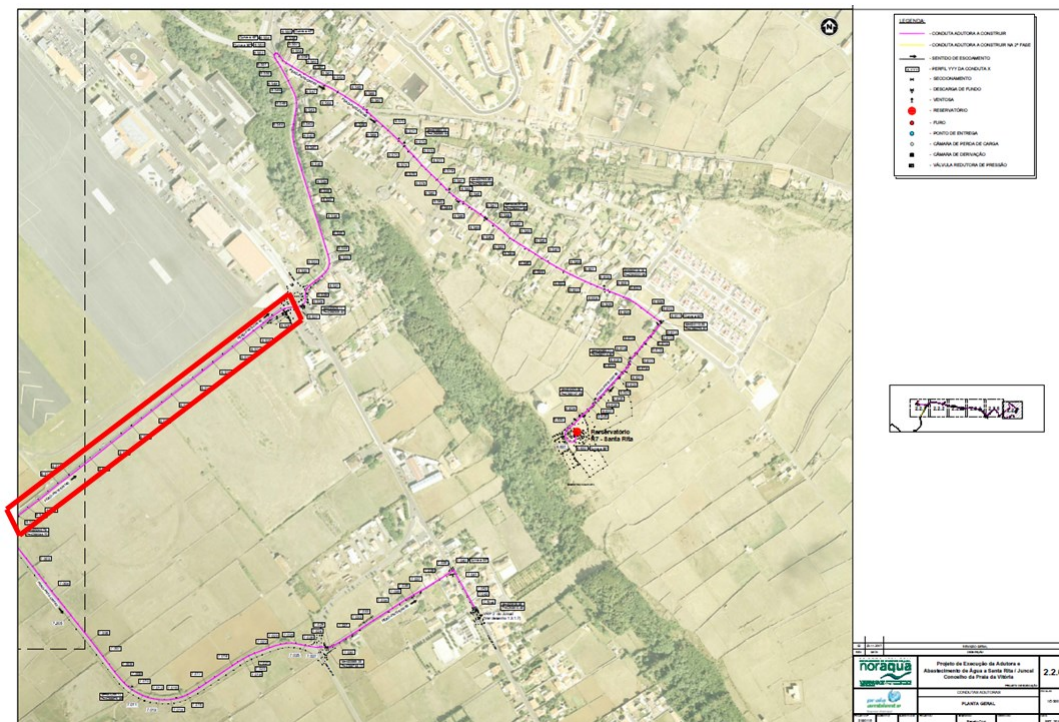


Figura 1.1 – Planta geral do projeto de execução da adutora e abastecimento de água a Santa Rita / Juncal (extraído de Noragua, 2016)

Neste contexto, foi já elaborado, em junho de 2020, um parecer preliminar contendo recomendações sobre os materiais a utilizar em tubagens de sistemas de abastecimento de água (Antunes, M.L. e Pimentel Real, L.; 2020).

Atendendo a que um dos principais condicionalismos para a escolha da solução a adotar para a nova rede de abastecimento de água a Santa Rita / Juncal é a potencial contaminação dos solos atravessados, aproveitaram-se os trabalhos de caracterização de solos em curso noutras áreas do Concelho de Praia da Vitória para efetuar um conjunto de análises expeditas preliminares da qualidade química dos solos numa das áreas mais sensíveis do projeto da rede de abastecimento de água (cf. Figura 1.1, troço a encarnado).

O objetivo desta análise preliminar foi caracterizar antecipadamente a eventual presença de contaminação de solos numa das áreas do traçado potencialmente mais problemática e, assim, adequar as soluções a adotar para o material da rede a essa realidade.

No presente Relatório apresentam-se de forma sumária as vantagens e desvantagens dos materiais a utilizar em tubagens de sistemas de abastecimento de água, analisam-se os resultados da caracterização das amostras de solos colhidas na zona e apresentam-se recomendações para a solução a adotar para a adução e abastecimento de água ao bairro de Santa Rita /Juncal.

2 | Análise dos principais materiais utilizados em redes de distribuição de água

Os principais materiais utilizados correntemente em tubagens para redes de distribuição de água (Melo Baptista *et al.*, 1999; Pimentel Real, 2020) são o ferro dúctil, o aço, o betão armado ou pré-esforçado, o polietileno (PE), o policloreto de vinilo não plastificado (PVC-U) e o polietileno reforçado com fibra de vidro (PRFV).

No Quadro 2.1 ao Quadro 2.6 resumem-se as vantagens, desvantagens e aplicações de cada um destes tipos de materiais (Pimentel Real, 2020).

Quadro 2.1 – Vantagens, desvantagens e aplicações dos tubos de ferro dúctil

Vantagens	Desvantagens	Aplicações	
		Adequado	Não recomendado
Elevadas resistência mecânica e rigidez	Suscetível de corrosão em caso de danificação dos sistemas de proteção interna e externa	Redes de bombeamento	Solos e águas agressivas
Elevada resistência à fadiga	Problemas potenciais associados a elevado pH de águas macias	Sob vias de tráfego principais	
Facilidade de união	Instalação retrospectiva de acessórios problemática em tubos não calibrados	Terrenos sujeitos a movimento e subsidência	
Impermeabilidade aos gases e a contaminantes orgânicos			
Fácil de rastrear			
Deteção direta de fugas e de localização			
Métodos de reparação bem estabelecidos			

Parecer sobre os materiais a utilizar para a instalação de novas redes de abastecimento de água em zonas com solos potencialmente contaminados e análise de solos no traçado previsto para o sistema de abastecimento a Santa Rita

Quadro 2.2 – Vantagens, desvantagens e aplicações dos tubos de aço

Vantagens	Desvantagens	Aplicações	
		Adequado	Não recomendado*
Elevadas resistência mecânica e rigidez	Soldaduras de uniões exigem equipamento específico e pessoal especializado	Redes com bombeamento e aumentos bruscos de pressão	Determinadas águas agressivas
Elevada resistência à fadiga	Uniões soldadas requerem sistemas de proteção e instalação no local	Sob vias de tráfego principais	
Flexível	Suscetível de corrosão em caso de danificação dos sistemas de proteção	Terrenos contaminados	
Disponível em comprimentos longos	A proteção catódica exige monitorização regular e manutenção		
Uniões podem ser soldadas e assegurar estanquidade total a cargas elevadas	Problemas potenciais de pH na canalização de águas macias		
Fácil de rastrear	Dependente de boas condições de instalação (em função da classe de rigidez)		
Deteção direta de fugas e da sua localização	Instalação retrospectiva e reparação de uniões pode ser problemática quando não se usam dimensões padrão		
Impermeável aos gases e a contaminantes orgânicos			

*Pode ser adequado desde que se tomem medidas de proteção adicionais

Quadro 2.3 – Vantagens, desvantagens e aplicações dos tubos de betão

Vantagens	Desvantagens	Aplicações	
		Adequado	Não recomendado*
Resistência mecânica e rigidez elevadas	Peso elevado	Redes com bombeamento e aumentos bruscos de pressão	Solos e águas agressivas
Elevada resistência à fadiga	Não adequado para ser cortado no local (por exemplo para acomodar variações de alinhamento)	Vias de tráfego secundárias	Localizações sujeitas a intrusão salina (Cl ⁻) e a contaminação por sal exceto com proteção catódica
Resistente à corrosão e à maioria dos solos e águas	Pouca adequabilidade das uniões para suportar movimentos do terreno e subsidência		Terrenos sujeitos a movimento e subsidência
Fácil de rastrear	Quando não contém camada de aço são permeáveis a determinados contaminantes orgânicos		
Quando contém uma alma de aço são impermeáveis aos contaminantes orgânicos	Deteção difícil de fugas		
	Instalação retrospectiva e reparação de uniões difícil		

*Pode ser adequado desde que se tomem medidas de proteção adicionais

Parecer sobre os materiais a utilizar para a instalação de novas redes de abastecimento de água em zonas com solos potencialmente contaminados e análise de solos no traçado previsto para o sistema de abastecimento a Santa Rita

Quadro 2.4 – Vantagens, desvantagens e aplicações dos tubos de PVC-U

Vantagens	Desvantagens	Aplicações	
		Adequado	Não recomendado*
Resistente à corrosão	Sensível ao impacto	Aplicações pouco exigentes em termos de tensões aplicadas	Redes com bombeamento e com aumentos bruscos de pressão
Relativamente leve	Exige instalação cuidada (dependente da classe de rigidez)		Sob vias de tráfego principais
Flexível	Degradação por radiação UV sob exposição prolongada à radiação solar, quando não especificamente aditivado		Terrenos contaminados*
Fácil de unir	Suscetível de permeação e degradação por ação de determinados contaminantes orgânicos		Terrenos sujeitos a movimento e subsidência
	Localização de tubagem difícil		
	Deteção de fugas complicada		

*Pode ser adequado desde que se tomem medidas de proteção adicionais

Quadro 2.5 – Vantagens, desvantagens e aplicações dos tubos de PE

Vantagens	Desvantagens	Aplicações	
		Adequado	Não recomendado*
Resistente à corrosão	Soldaduras de uniões exigem equipamento específico e pessoal especializado	Sob vias de tráfego secundárias	Redes com bombeamento e com aumentos bruscos de pressão
Relativamente leve	Dependente de boas condições de instalação (em função da classe de rigidez)	Terrenos sujeitos a movimento e subsidência	Sob vias de tráfego principais
Flexível	Necessidade de redução de pressão em situações de risco de propagação de fissuras		Terrenos contaminados (no caso de tubos de PE simples)*
Uniões soldadas asseguram estanquidade total	Suscetível de permeação e degradação por ação de determinados contaminantes orgânicos, a não ser que incluam no interior uma camada barreira metálica (alumínio)		
Possibilidade de montagem de uniões fora da vala de instalação	Degradação por radiação UV sob exposição prolongada à radiação solar, quando não especificamente aditivado		
	Deteção complicada de fugas		
	Instalação retrospectiva e reparação de uniões complicada		

*Pode ser adequado desde que se tomem medidas de proteção adicionais

Quadro 2.6 – Vantagens, desvantagens e aplicações dos tubos de PRFV

Vantagens	Desvantagens	Aplicações	
		Adequado	Não recomendado*
Resistente à corrosão	Sensível ao impacto	Aplicações não muito exigentes em termos de tensões aplicadas	Redes com bombeamento e com aumentos bruscos de pressão
Relativamente leve	Suscetível de corrosão em terrenos e águas de baixo pH	Sob vias de tráfego secundárias	Sob vias de tráfego principais
Fácil de unir	Exige instalação cuidada (dependente da classe de rigidez)	Terrenos sujeitos a movimento e subsidência limitada	Terrenos contaminados*
Uniões flexíveis, tolerando alguma deflexão	Localização difícil da tubagem		Terrenos sujeitos a movimento e subsidência significativos
	Deteção complicada de fugas		Contacto com águas de pH < 5,5
	Instalação posterior e reparação de uniões complicada		
	Suscetível de permeação e de degradação estrutural por ação de determinados contaminantes orgânicos		

*Pode ser adequado desde que se tomem medidas de proteção adicionais

Em zonas com solos contaminados existem algumas restrições técnicas ao uso de tubagens em materiais plásticos, pois estes materiais são permeáveis a poluentes orgânicos nomeadamente hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e compostos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno), com os riscos inerentes de contaminação da água que transportam.

Contudo, existem atualmente tubos barreira, específicos para instalação em solos contaminados, constituídos por tubos de polietileno (PE) multicamada que incluem uma camada interna de alumínio (PE-Al-PE) que funciona como uma barreira à passagem de poluentes orgânicos para o interior do tubo. Este tipo de tubagem é atualmente prescrito por algumas entidades gestoras de redes de distribuição de água potável (Reino Unido e Austrália) para zonas com solos contaminados e cumpre os requisitos da norma inglesa BS 8588-1017 “Polyethylene pressure pipe with an aluminium barrier layer and associated fittings for potable water supply in contaminated land. Size 20 mm to 630 mm”.

Não existem ainda normas ISO ou europeias EN aplicáveis a estas tubagens instaladas em solos contaminados. De facto, nem a norma EN 12201 (CEN1; 2012), nem a norma ISO 21004 (ISO; 2006), fazem referência a qualquer método de ensaio de permeação, a qual é a propriedade central dos tubos de plástico com camada barreira. O Despacho 19563/2006, de 25 de setembro, determina que os tubos, acessórios e sistemas de tubagem de plástico para distribuição de água para consumo humano, que sejam objeto de normas europeias adotadas em Portugal, devem ser certificados, devendo essa certificação ser complementada com a verificação da ausência de potenciais efeitos

Parecer sobre os materiais a utilizar para a instalação de novas redes de abastecimento de água em zonas com solos potencialmente contaminados e análise de solos no traçado previsto para o sistema de abastecimento a Santa Rita

nocivos na qualidade da água. De acordo com informações recolhidas junto de fabricantes, não existem ainda tubagens deste tipo que estejam certificadas para utilização no mercado nacional.

3 | Recomendações sobre os materiais a utilizar na zona com solos potencialmente contaminados

Do exposto na secção anterior conclui-se que a utilização de tubagens metálicas em substituição das de PE ou de PVC poderia mitigar o risco de permeação por parte dos contaminantes orgânicos existentes no solo. No entanto este tipo de tubagens apresenta algumas desvantagens importantes relativamente às de materiais plásticos, designadamente o facto de a sua instalação exigir equipamento específico e pessoal especializado e de serem suscetíveis à corrosão, exigindo monitorização regular e manutenção. Efetivamente, um dos fatores que contribui para o uso preferencial de tubos de plástico é a sua facilidade de transporte, manuseamento e instalação, a par da sua elevada durabilidade (Pimental Real, 2020).

Uma opção a considerar poderia ser a utilização de tubagens em (PE) multicamada que incluem uma camada interna de alumínio (PE-Al-PE), cumprindo os requisitos da norma BS 8588:2017 e da norma EN 12201. No entanto, à presente data, não existe nenhum método de ensaio consagrado na normalização europeia para avaliar as características de migração/permeação para este tipo de tubos, não se conhecendo também a existência de tubagens deste tipo que estejam certificadas para utilização no mercado nacional.

Uma outra alternativa a considerar, atendendo à dificuldade que se antevê em adquirir tubagens de PE com camada interna de alumínio obedecendo aos requisitos anteriores, será a de manter a utilização das tubagens em PEAD tal como previsto no projeto, recorrendo ao isolamento da tubagem com mangas de materiais metálicos (alumínio, aço inox ou ferro galvanizado), ou ao isolamento das valas relativamente aos solos circundantes. Para o efeito podem usar-se materiais de revestimento adequados, como por exemplo cortinas bentoníticas, sistemas de cobertura espessos, membranas com propriedade barreira, ou outros sistemas com efeito barreira equivalentes. Os solos a utilizar no envolvimento das tubagens devem ser solos limpos, com características adequadas.

4 | Análise de solos

Atendendo a que um dos principais condicionalismos para a escolha do material para a nova rede de abastecimento de água a Santa Rita / Juncal é a potencial contaminação dos solos atravessados, aproveitaram-se os trabalhos de caracterização de solos em curso noutras áreas do Concelho de Praia da Vitória para efetuar um conjunto de análises expeditas preliminares da qualidade química dos solos numa das áreas mais sensíveis do projeto da rede de abastecimento de água (cf. Figura 1.1, troço a encarnado).

O objetivo desta análise preliminar foi permitir caracterizar antecipadamente a eventual presença de contaminação de solos numa das áreas do traçado potencialmente mais problemática e, assim, adequar as soluções a adotar para a instalação da rede a essa realidade. Não obstante o facto de os resultados obtidos se referirem a amostras pontuais, considera-se que estes dão uma indicação importante sobre a qualidade dos solos expectável para aquele troço.

A Figura 4.1, que corresponde aproximadamente à mesma área do mapa da Figura 1.1, apresenta os três locais onde foi efetuada a recolha de solos pelo LREC (P1, P2 e P3).

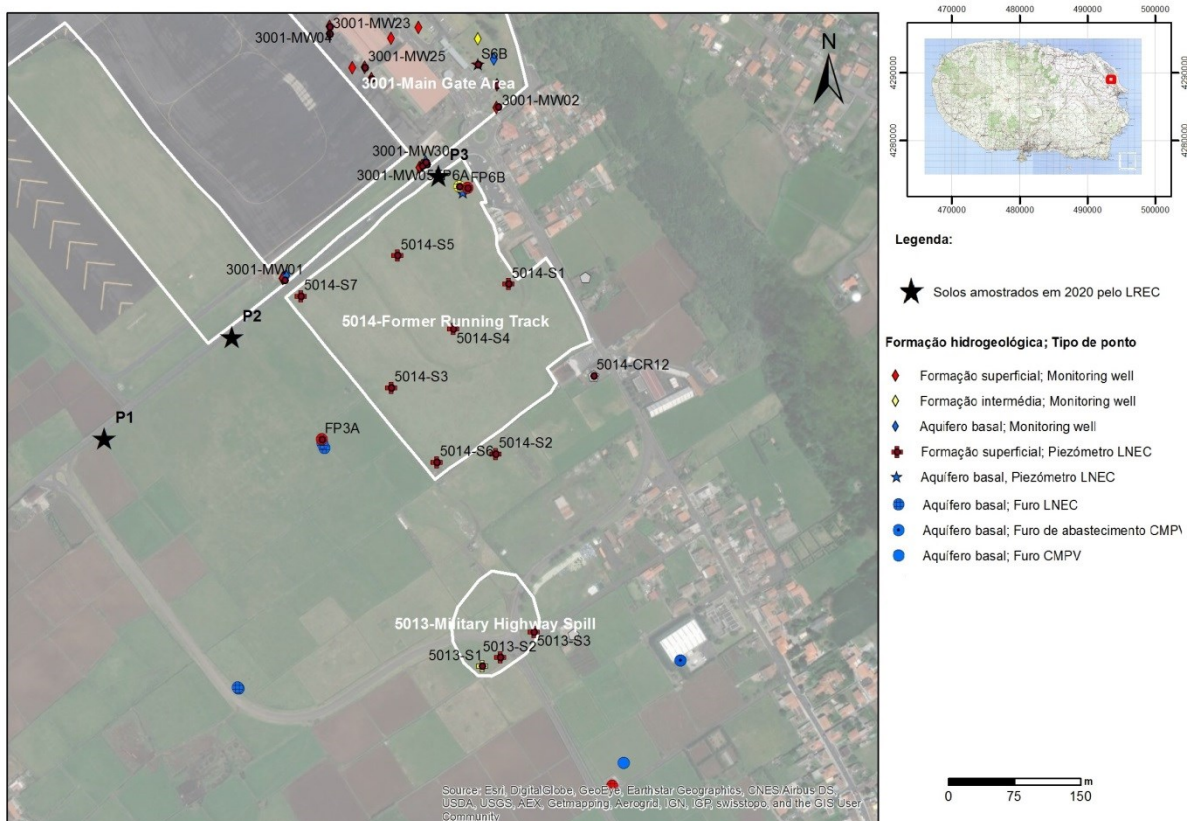


Figura 4.1 – Mapa da localização dos solos amostrados

Os solos foram recolhidos a duas profundidades através da realização de um conjunto de pequenos perfis onde foram cravados nos taludes, manualmente, os frascos para recolha de solos (cf. Figura 4.2). O relatório do LREC apresentará os detalhes dos procedimentos adotados e das amostras recolhidas.



Figura 4.2 – Aspeto geral do procedimento de recolha de solos pelo LREC

O Quadro 4.1 apresenta os resultados das análises químicas das amostras de solos recolhidas.

Quadro 4.1 – Resultados das análises químicas de amostras de solos recolhidas na Canada Mesquita, a estrada perpendicular à pista de aviação a sul (cf. Figura 4.1)

Site	Sondagem	3001						Canadá (Table 2, residential and parkland, coarse)	Holanda Intervention Value	N.º ocorrências acima do valor do Canadá	N.º ocorrências positivas
		P1	P2	P3		P4	P5				
		0,9-1,0	2,9-3,0	0,7-0,8	1,4-1,5	0,9-1,0	2,8-2,9				
Análise											
Matéria seca	% (w/w)	66,3	65,9	83,8	78,8	80,7	64,6	-	-	0	
Parâmetros agregados											
Índice fenóis	mg/kg ms	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	9,4	40	0	
Metais e fósforo											
Alumínio - Al	mg/kg ms	45000	87000	34000	14000	51000	88000	-	-	0	
Antimônio - Sb	mg/kg ms	-2	-2	-2	-2	-2	-2	7,5	15	0	
Arsénio - As	mg/kg ms	7,9	-5,0	7,3	-5,0	6,9	8	18	55	0	
Bário - Ba	mg/kg ms	700	500	110	20	250	190	390	625	2	
Berílio - Be	mg/kg ms	6,6	4,5	3,3	1	5,3	6,7	4	30	4	
Cádmio - Cd	mg/kg ms	5,8	-0,4	0,5	-0,4	-0,4	-0,4	1,2	12	1	
Chumbo - Pb	mg/kg ms	11	-10	55	-10	-10	10	120	530	0	
Cobalto - Co	mg/kg ms	5,5	63	13	-5	13	-5	22	240	1	
Cobre - Cu	mg/kg ms	36	30	25	-5	9,6	-5	140	190	0	
Crómio - Cr	mg/kg ms	6,1	55	13	8	13	8,1	160	380	0	
Ferro - Fe	mg/kg ms	51000	110000	48000	18000	62000	54000	-	-	0	
Floureto - F	mg/kg ms	28	43	2,6	6,5	8,8	17	-	-	0	
Fósforo total - P	g/kg ms	2,5	0,65	0,83	0,09	0,55	0,44	-	-	0	
Fósforo total - P2O5	g/kg ms	5,8	1,5	1,9	0,21	1,3	1	-	-	0	
Fósforo total - PO4	g/kg ms	7,7	2	2,5	0,28	1,7	1,4	-	-	0	
Manganês - Mn	mg/kg ms	3300	3000	1700	240	1300	760	-	-	0	
Mercurio - Hg	mg/kg ms	0,14	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,27	10	0	
Molibdeno - Mo	mg/kg ms	2,1	2,4	2,3	2,3	2,1	4	6,9	200	0	
Níquel - Ni	mg/kg ms	5,8	52	19	-5	16	10	100	210	0	
Selénio - Se	mg/kg ms	-2	-2	-2	-2	-2	-2	2,4	100	0	
Tálio - Tl	mg/kg ms	-5	-5	-5	-5	-5	-5	1	15	0	
Vanádio - V	mg/kg ms	17	56	69	13	50	19	86	250	0	
Zinco - Zn	mg/kg ms	900	150	190	58	160	220	340	720	1	
Hidrocarbonetos Totais do Petróleo - HTP											
HTP (C10-C12)	mg/kg ms	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-	-	0	0
HTP (C12-C16)	mg/kg ms	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	98	-	0	0
HTP (C16-C21)	mg/kg ms	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-	-	0	0
HTP (C21-C30)	mg/kg ms	-12	-12	26	-12	-12	-12	-	-	0	1
HTP (C30-C35)	mg/kg ms	-6	-6	20	-6	-6	-6	300	-	0	1
HTP (C35-C40)	mg/kg ms	-6	-6	12	-6	-6	-6	2800	-	0	1
HTP soma	mg/kg ms	-38	-38	63	-38	-38	-38	3253	5000	0	1
BTEX											
Benzeno	mg/kg ms	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	0,17	1	0	0
Etilbenzeno	mg/kg ms	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	1,1	50	0	0
Meta-para xileno	mg/kg ms	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-	25	0	0
Orto-xileno	mg/kg ms	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-	-	0	0
Tolueno	mg/kg ms	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	2,3	130	0	0
Compostos Orgânicos Voláteis											
1,1,1,2-Tetracloroetano	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,058	-	0	0
1,1,1-Tricloroetano	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,38	15	0	0
1,1,2-Tetracloroetano	mg/kg ms	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	0,05	-	0	0
1,1,2-Tricloroetano	mg/kg ms	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,05	10	0	0
1,1-Dicloroetano	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,47	15	0	0
1,1-Dicloroetano	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,05	0,3	0	0
1,1-Dicloropropileno	mg/kg ms	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-	-	0	0
1,2,3-Triclorobenzeno	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-	-	0	0
1,2,3-Tricloropropano	mg/kg ms	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-	-	0	0
1,2,3-Trimetilbenzene	mg/kg dm	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-	-	0	0
1,2,4-Triclorobenzeno	mg/kg ms	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,36	-	0	0
1,2,4-Trimetilbenzene	mg/kg ms	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-	-	0	0
1,2-Dibromo-3-cloroprop	mg/kg ms	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-	-	0	0
1,2-Dibromoetano (EDB)	mg/kg ms	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-	-	0	0
1,2-Diclorobenzeno	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	1,2	-	0	0
1,2-Dicloroetano	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,05	4	0	0
1,2-Dicloropropano	mg/kg ms	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,05	-	0	0
1,3,5-Triclorobenzeno	mg/kg ms	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-	-	0	0
1,3,5-Trimetilbenzene	mg/kg ms	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-	-	0	0
1,3-Diclorobenzeno	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	4,8	2	0	0
1,3-Dicloropropano	mg/kg ms	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	0,05	-	0	0
1,4-Diclorobenzeno	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,083	-	0	0
2,2-Dicloropropano	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-	-	0	0
2-Clorotolueno	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-	-	0	0
4-Clorotolueno	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-	-	0	0
Bromobenzeno	mg/kg ms	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-	-	0	0
Bromoclorometano	mg/kg ms	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-	-	0	0
Bromodichlorometano	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	1,5	-	0	0
Bromometano	mg/kg ms	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	0,05	-	0	0
cis-1,2-Dicloroetano	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	1,9	-	0	0
cis-1,3-Dicloropropileno	mg/kg ms	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-	-	0	0
Cloroetano	mg/kg ms	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-	-	0	0
Clorometano	mg/kg ms	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-	-	0	0
Dibromoclorometano	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	2,3	-	0	0
Dibromometano	mg/kg ms	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-	-	0	0
Diclorometano	mg/kg ms	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-	10	0	0
Estireno	mg/kg ms	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	0,7	100	0	0
Hexaclorobutadieno	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,012	-	0	0
Isopropilbenzeno	mg/kg ms	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-	-	0	0
Metil tert-Butil Éter (MTB)	mg/kg ms	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	0,75	100	0	0
Monoclorobenzeno	mg/kg ms	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	2,4	-	0	0
n-Butilbenzeno	mg/kg ms	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-	-	0	0
n-Propilbenzeno	mg/kg ms	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-	-	0	0
p-Isopropiltolueno	mg/kg ms	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-	-	0	0
sec-Butilbenzeno	mg/kg ms	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-	-	0	0
tert-Butil álcool	mg/kg ms	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-	-	0	0
tert-Butilbenzeno	mg/kg ms	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-	-	0	0
Tetracloroetileno (PCE)	mg/kg ms	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	0,28	4	0	0
Tetraclorometano	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,05	1	0	0
trans-1,2-Dicloroetano	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-	-	0	0
trans-1,3-Dicloropropeno	mg/kg ms	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-	-	0	0
Tribromometano	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-	75	0	0
Tricloroetileno (TCE)	mg/kg ms	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,061	60	0	0
Triclorofluorometano	mg/kg ms	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	4	-	0	0
Triclorometano	mg/kg ms	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-	-	0	0
Cloro de vinil	mg/kg ms	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	0,02	0,1	0	0
Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares (PAH)											
Acenafteno	mg/kg ms	-0,01	-0,01	0,02	-0,01	-0,01	-0,01	7,9	-	0	1
Acenaftileno	mg/kg ms	-0,01	-0,01	0,02	-0,01	-0,01	-0,01	0,15	-	0	1
Antraceno	mg/kg ms	-0,01	-0,01	0,05	-0,01	-0,01	-0,01	0,67	-	0	1
Benzo(a)antraceno	mg/kg ms	-0,01	-0,01	0,17	-0,01	-0,01	-0,01	0,50	-	0	1
Benzo(a)pireno	mg/kg ms	-0,01	-0,01	0,14	-0,01	-0,01	-0,01	0,30	-	0	1
Benzo(b)fluoranteno	mg/kg ms	-0,01	-0,01	0,21	-0,01	-0,01	-0,01	0,78	-	0	1
Benzo(g,h,i)perileno	mg/kg ms	-0,01	-0,01	0,11	-0,01	-0,01	-0,01	6,60	-	0	1
Benzo(k)fluoranteno	mg/kg ms	-0,01	-0,01	0,09	-0,01	-0,01	-0,01	0,78	-	0	1
Criseño	mg/kg ms	-0,01	-0,01	0,16	-0,01	-0,01	-0,01	7	-	0	1
Dibenz(a,h)antraceno	mg/kg ms	-0,01	-0,01	0,02	-0,01	-0,01	-0,01	0,10	-	0	1
Fenantreno	mg/kg ms	-0,01	-0,01	0,17	-0,01	-0,01	-0,01	6,2	-	0	1
Fluoranteno											

Página intencionalmente deixada em branco

Os resultados da qualidade dos solos foram comparados com os valores de referência internacionalmente mais utilizados: a legislação do Canadá, adotada pela APA em 2019, (também conhecida por normas do Ontário, cf. ME, 2011; APA, 2019) e a legislação da Holanda (VROM, 2010). A legislação do Canadá tem os valores padrão (*standard*) definidos em função do uso do solo (agricultura, industrial e residencial) e do uso das águas subterrâneas no local. A legislação da Holanda define um valor máximo a partir do qual considera que deve haver intervenção. As normas do Canadá utilizadas neste estudo foram a *Table 2: Full Depth Generic Site Condition Standards in a Potable Ground Water Condition* (cf. Quadro 4.1).

Os resultados das análises químicas mostram que as concentrações em HTP e HAP são inferiores aos respetivos limites de quantificação, com exceção do ponto P2 à profundidade entre 0,7 e 0,8 m. Neste caso, as concentrações em ambos os grupos de compostos não ultrapassam as indicadas pelas normas do Canadá para zonas residenciais (Quadro 4.1). Para o caso dos BTEX e COV as concentrações nos solos amostrados são sempre inferiores aos limites de quantificação, embora no caso dos COV nem sempre o limite de quantificação seja inferior às normas do Canadá. Porém, os valores são muito inferiores às concentrações que exigem intervenção (Limites Holandeses).

Em relação à presença de metais pesados, observa-se que o bário, o berílio, o cádmio, o cobalto e o zinco ultrapassam as normas do Canadá e, para o Ba e o Zn, inclusive ultrapassam os valores de intervenção da Holanda, valores a partir dos quais o local deve ser intervencionado (caso da amostra P1, entre 0,9 e 1 m). Embora a presença de bário possa ter origem natural (valores entre 330 e 400 mg/kg e superiores são referidos para solos de basaltos e afins), dada a proximidade com a estrada também é natural que a sua origem seja resultante da combustão de óleos de veículos (e.g. Leitão *et al.*, 2018). O zinco e o cádmio são metais emitidos pelos veículos, sendo o Zn também empregue como aditivo de lubrificantes. É natural que as concentrações observadas se devam a essas origens. Os valores elevados nestes metais já haviam sido reportados em relatórios anteriores (AMEC, 2011a; Leitão, Mota e Antunes, 2019), embora se tenha assumido que a extensão horizontal e vertical da contaminação fosse pequena e o risco para as utilizações atuais também.

5 | Conclusões

Com base na análise de amostras pontuais de solos, considera-se que a qualidade química dos solos amostrados não deverá condicionar a recolocação dos solos escavados no local.

Atendendo a que a área analisada (assinalada na Figura 1.1 com um retângulo encarnado) está próximo de zonas potencialmente contaminadas por hidrocarbonetos (cf. Leitão, Mota e Antunes, 2019), considera-se prudente, apesar de os resultados das amostras de solo analisadas não serem condicionantes, escolher uma solução para aquela área que seja adequada ao atravessamento de locais contaminados.

Face aos inconvenientes associados à instalação e à corrosão das tubagens metálicas e à expectativa de que haja dificuldades em obter tubagens de PE com camada interna de alumínio (sistemas multicamada) que tenham certificação para aplicação no mercado nacional, recomenda-se a utilização das tubagens em PEAD do tipo das previstas no projeto, recorrendo ao isolamento das valas relativamente aos solos circundantes. Para o efeito podem usar-se materiais de revestimento adequados, como por exemplo cortinas bentoníticas, sistemas de cobertura espessos, membranas com propriedade barreira, ou outros sistemas com efeito barreira equivalentes. Os solos a utilizar no envolvimento das tubagens devem ser solos limpos, com características adequadas.

Como em qualquer obra que atravesse áreas potencialmente contaminadas, deverá ter-se em atenção as características organoléticas dos solos escavados, separando e enviando para análise os solos suspeitos de estarem contaminados. Nesta situação, o solo suspeito de estar contaminado que seja escavado para proceder à instalação da tubagem deve ser resguardado com telas plásticas e cercado temporariamente, incluindo-se sinais de aviso, não devendo ser reutilizado como material de enchimento para instalação de tubagem, a menos que se comprove tratar-se de solo não contaminado.

Lisboa, LNEC, agosto de 2020

VISTO

O Conselho Diretivo



Carlos Pina
Presidente do LNEC

AUTORIA



Maria de Lurdes Antunes
Investigadora-Coordenadora



Luís Pimentel Real
Investigador Auxiliar



Teresa E. Leitão
Investigadora Principal com Habilitação

Referências bibliográficas

- ANTUNES, M. L.; PIMENTEL REAL, L., 2020 – **Parecer sobre os Materiais a Utilizar para a Instalação de Novas Redes de Abastecimento de Água em Zonas com Solos Potencialmente Contaminados**. LNEC, junho de 2020.
- APA, 2019 – **Solos Contaminados – Guia Técnico. Valores de Referência para o Solo**. Agência Portuguesa do Ambiente. https://apambiente.pt/_zdata/Politic/Solos/Guia%20Tecnico_Valores%20de%20Referencia_2019_01.pdf.
- BAPTISTA, J.M.; ALEGRE, H. CATARINO, J. M.; ROCHA, A.; SALTA, M.; LUCAS, J. A. C.; ESTEVES, A.M.; COELHO, S.; VIEIRA, P.; LEITÃO, T.E.; LOBO-FERREIRA, J. P.; CARVALHO, E. C.; COSTA, A.; SOUSA, M. L.; TELMO, F.; RODRIGUES, C. C., 2000 – **Especificações de Materiais para Redes de Abastecimento de Água da EPAL**. LNEC - Proc. 606/1/13447. Relatório 254/1999 – DH/NES.
- LEITÃO, T.E.; CAMEIRA, M.R.; COSTA, H.D.; PACHECO, J.M.; HENRIQUES, M.J.; MARTINS, M.L.L.; MOURATO, M., 2018 – **Environmental Quality in Urban Allotment Gardens. Atmospheric Deposition, Soil, Water and Vegetable Assessment at Lisbon City**. Water, Air, & Soil Pollution (2018) 229: 31. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3681-1>.
- 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.
- ME, 2011 – **Groundwater and Sediment Standards for Use Under Part XV.1 of the Environmental Protection Act**. Ministry of the Environment April 15, 2011.
- NORAQUA, Consultores de Engenharia, Lda., 2016 – **Projeto de Execução da Adução e Abastecimento de Água a Santa Rita / Juncal, Concelho de Praia da Vitória**. 3190115_PE_F1_V2_2.2_Planta Geral_REV02-2.2.6.pdf.
- PIMENTEL REAL, L. 2020 – **Recomendações para a Mitigação dos Riscos Associados à Permeação de Tubagens Existentes e para a Instalação de Novas Redes de Abastecimento de Água que Atravessam Zonas com Solos Contaminados**. LNEC - Proc. 0809/121/2246504. Relatório 242/2020 – DED/NAICI.
- U.S. Air Force, USAFE, 2020 – **Determination of no Substantial Impact to Human Health and Safety: Lajes Field Sites 3001 and 5001**. AFAFRICA N0379-20//20200504, 2020, maio 2020, 4 pp.
- VROM, 2000 – **Dutch Target and Intervention Values**. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 2000

