



PROJECTO DO EMISSÁRIO SUBMARINO DA ETAR LAGOA/MECO

Cristina Afonso ⁽¹⁾, Pedro Figueira ⁽¹⁾, Lisete Epifâneo ⁽²⁾

⁽¹⁾ WW - Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A., Av. Conselheiro Ferreira Lobo, 23,
Laveiras, 2760-032 Caxias

cafonso@wwsa.pt , figueira@wwsa.pt

⁽²⁾ SIMARSUL - Sistema Integrado Multimunicipal de Águas Residuais da Península de
Setúbal, S.A., Av. Luisa Todi, 300, 3º, 2900-452 Setúbal

l.epifaneo@simarsul.adp.pt

Resumo

Apresenta-se o projecto do emissário submarino destinado a lançar no mar os efluentes urbanos tratados pela ETAR de Lagoa/Meco, incluída no Sistema Integrado Multimunicipal de Águas Residuais da Península de Setúbal.

Faz-se uma breve abordagem geral a alguns aspectos relacionados com o projecto dos emissários submarinos no que diz respeito à sua estrutura e ao seu funcionamento.

Descrevem-se diversos aspectos do projecto do emissário de Lagoa/Meco, nomeadamente a justificação da localização e do traçado do emissário com base nos estudos de dispersão do efluente, e o dimensionamento hidráulico e estrutural do mesmo. Analisam-se alguns pormenores relacionados com o comportamento da estrutura, a sua durabilidade e a sua operacionalidade, bem como aspectos construtivos que correspondem a situações críticas para a integridade da tubagem.

1. INTRODUÇÃO

O destino final das águas residuais tratadas de povoações localizadas na zona costeira é, na maioria das vezes, o seu lançamento no mar, através de emissários submarinos. Esse lançamento é feito a uma distância da linha da costa que evite a contaminação de áreas que sejam utilizadas para actividades humanas ou que tenham grande sensibilidade ambiental. A legislação nacional, à semelhança da legislação em vigor na União Europeia, define para a maioria dos casos de lançamento de águas residuais urbanas no mar que estas sejam previamente sujeitas, no mínimo, a um tratamento secundário.

Em Portugal a utilização de emissários submarinos começou na década de 1970 com a construção do emissário submarino da Portucel em Viana do Castelo. Desde 1985 foram construídos 28 emissários no Continente e nas Regiões Autónomas.

A SIMARSUL decidiu utilizar este tipo de solução para resolver o problema dos efluentes urbanos provenientes da ETAR de Lagoa/Meco que assegura o tratamento de cerca de 26% das águas residuais urbanas do concelho de Sesimbra. O Subsistema de Lagoa/Meco – Sistema de Drenagem, ETAR e Emissário de Descarga, assegura a recolha, tratamento e destino final das águas residuais urbanas de áreas de elevado valor ecológico, como o Parque



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

Natural da Serra da Arrábida, a Lagoa de Albufeira, Sítio Arrábida / Espichel (pertencente à Lista Nacional de Sítios) e a Zona Especial de Protecção do Cabo Espichel.

Parte do emissário de Lagoa/Meco encontrar-se-á implantado na área abrangida pelo Plano de Ordenamento da Orla Costeira Sintra-Sado e no Sítio Arrábida/Espichel (SITIO_PTCON0010).

Nesta comunicação, e após abordagem de alguns aspectos gerais sobre emissários submarinos, apresentam-se as características do emissário submarino de Lagoa/Meco.

2. EMISSÁRIOS SUBMARINOS EM PORTUGAL

Em Portugal Continental e nas Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores foram até agora construídos 28 emissários submarinos destinados, na sua maior parte, à descarga de águas residuais urbanas após tratamento em ETAR. Nas Figuras 1, 2 e 3 indicam-se as localizações dos emissários construídos ou em fase de construção.

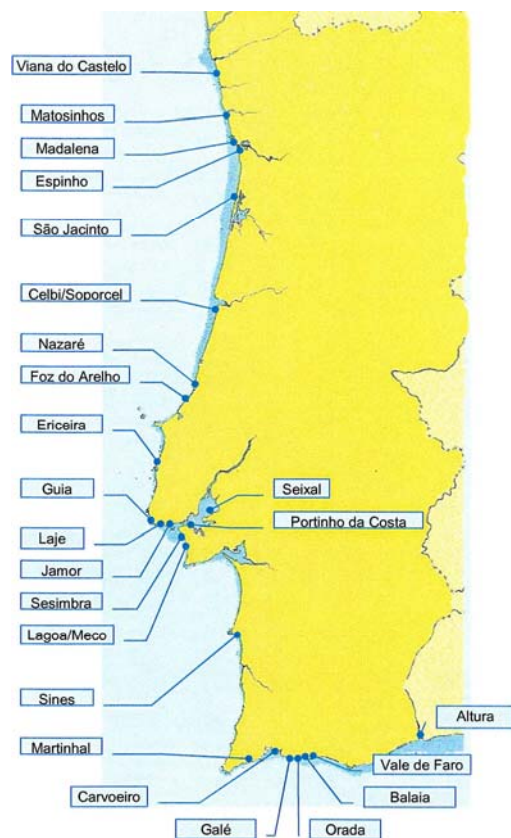


Figura 2 – Emissários no Continente



Figura 1 – Emissários na Região Autónoma da Madeira



Figura 3 – Emissários na Região Autónoma dos Açores

No Quadro 1 indicam-se as principais características dos emissários submarinos portugueses: material da tubagem, comprimento, diâmetro e profundidade máxima.



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

	Emissário	Dono da Obra	Ano	Material	Comprim. (m)	φ máx (mm)	Prof. Max. m(ZH)
1	Viana do Castelo	Portucel	1973	Betão armado com alma de aço	2250	900	-17,5
2	Laje (Santo Amaro de Oeiras)	C.M. Oeiras	1985	PEAD	424	630	-15
3	Orada (Albufeira)	C.M. Albufeira	1986	PEAD	580	400	-7,2
4	Vale de Faro (1º Albufeira)	C.M. Albufeira	1986	PEAD	956	400	-7,5
5	Carvoeiro (Lagoa)	C.M. Albufeira	1987	PEAD	1582	280	-23
6	Martinhal (Baleeira)	C.M. Vila do Bispo	1988	PEAD / FFD	1822	450	-23,6
7	Balaia (Albufeira)	C.M. Albufeira	1989	PEAD / FFD	1610	400	-8,4
8	Nazaré	Instituto Portuário do Centro	1988	PEAD	838	560	-20
9	Galé (Albufeira)	C.M. Albufeira	1989	PEAD	1724	400	-14,2
10	Funchal (Madeira)	D.R. San. Básico	1991	PEAD	657	1200	-52
11	Câmara de Lobos (Madeira)	D.R. San. Básico	1992	PEAD	550	355	-57
12	Madalena (Vila Nova de Gaia)	SMAS Vila Nova de Gaia	1992	Aço / PEAD	2192	800	-17,9
13	Guia	SANEST	1994	FFD / PEAD	3150	1800	-41
14	Santa Cruz (Madeira)	D.R. San. Básico	1994	PEAD	800	345	-55
15	Canico (Madeira)	D.R. San. Básico	1994	PEAD	478	400	-60
16	Celbi/Soporcel (Figueira da Foz)	Celbi e Soporcel	1995	GRP / MDPE	2689	1200	-11
17	Seixal	C.M. Seixal	1995	PEAD	1000	1200	-3
18	Jamor	SANEST	1995	PEAD	267	900	-7
19	Vila Franca do Campo (S. Miguel, Açores)	C.M. Vila Franca do Campo	1993	PEAD	1234	250	-27
20	Pranchinha (S. Miguel, Açores)	SMAS Ponta Delgada	1997	PEAD	852	500	-28,8
21	Portinho da Costa	C.M. Almada	1998	Aço	1000	600	-33
22	S. Jacinto	AMRIA	1999	PEAD	3376	1600	-15,5
23	Espinho	C.M. Espinho	1999	PEAD	2000	800	-9
24	Matosinhos	SMAS Matosinhos	1999	Betão revestido a chapa e PEAD	2748	1600	-27
25	Foz do Arelho	C.M. Caldas da Rainha	2001	PEAD	2149	710	-17
26	Vale de Faro (2º Albufeira)	Águas do Algarve	2001	PEAD	1080	1000	-10
27	Lagoa (S. Miguel, Açores)	C.M. Ribeira Grande	2002	PEAD	486	315	-37
28	Sines	Águas de Santo André	2002	Aço Revestido a betão	2432	1100	-38
29	Lagoa Meco	SIMARSUL	2007	PEAD	2000	710	-25
Comprimento total						21.805	

PEAD - Polietileno de alta densidade, MDPE - Polietileno de média densidade, FFD - Ferro Fundido Ductil e GRP - Glass-Fibre-Reinforced Polyester

Quadro 1 – Principais características dos emissários existentes ou em construção

Como se pode ver, 24 emissários foram construídos com tubagem de polietileno de alta densidade (PEAD) em toda a sua extensão ou na maior parte dela. Este material tem-se mostrado adequado do ponto de vista de operação e do ponto de vista de construção.

3. ASPECTOS GERAIS DOS EMISSÁRIOS SUBMARINOS

Um emissário submarino é uma tubagem que tem como função transportar as águas residuais urbanas e/ou industriais, de um determinado ponto em terra, até um ponto de lançamento situado no mar a maior ou menor distância da costa.

Do ponto de vista de comportamento estrutural, a generalidade dos emissários submarinos são de dois tipos:

- rígidos (aço, betão armado e “glass fibre reinforced poliester”);
- flexíveis (polietileno).

Os emissários submarinos são estruturas que estão sujeitas a acções exteriores intensas, tanto na fase de construção como na fase de operação.

Na fase de construção as principais acções sobre a tubagem acontecem:

- durante o puxe da tubagem, no caso dos emissários rígidos.
- durante o puxe e o posicionamento da tubagem para a operação de afundamento no caso dos emissários flexíveis, quando ocorrem correntes, devido à maré e ao vento.
- durante o afundamento da tubagem, no caso dos emissários flexíveis.

Nos emissários flexíveis estas acções podem provocar deformações permanentes por fluência, ou podem provocar danos irreversíveis no tubo se se verificarem curvaturas elevadas que dêem origem ao fenómeno de "buckling". Este é um aspecto crítico durante o afundamento da tubagem.

Na fase de operação as principais acções sobre o emissário são:

- as ondas e as correntes;
- as alterações da morfologia do fundo, as quais permitem alguma adaptação dos emissários flexíveis;
- interacção com objectos estranhos, por exemplo ancoras, que podem provocar danos elevados no emissário. Os emissários devem ser sinalizados para evitar estas situações.

Em geral, é actualmente considerado que os emissários flexíveis têm vantagens em relação aos emissários rígidos, quer durante a fase de construção, quer durante a fase de operação.

Sendo os emissários flexíveis o tipo mais utilizado actualmente, caso do emissário Lagoa/Meco, apenas se abordarão os aspectos relacionados com este tipo de estrutura.

Do ponto de vista das soluções estruturais e métodos de construção, os emissários submarinos flexíveis são constituídos por 4 troços: troço terrestre; troço na zona de rebentação; troço exterior e difusor, (Figura 4).

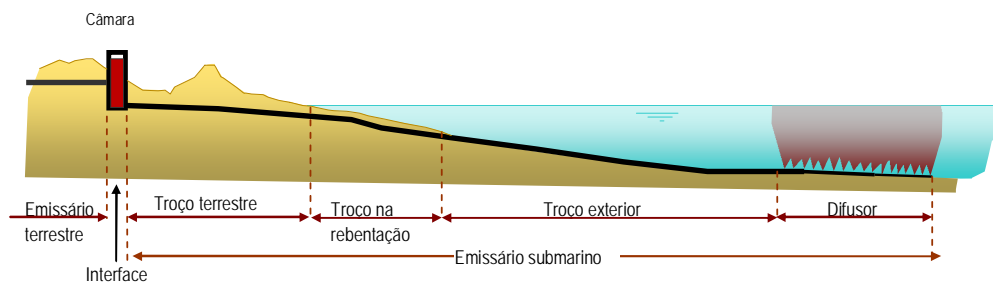


Figura 4 - Perfil esquemático de um emissário

O efluente pode sair para o emissário submarino através de uma câmara de bombagem, de uma câmara de carga ou directamente por gravidade a partir de uma ETAR.

O troço terrestre do emissário submarino é uma estrutura enterrada em vala, em que a tubagem tem em geral a geratriz superior abaixo do zero hidrográfico de forma a estar sempre submerso, evitando a entrada de ar, prejudicial ao escoamento. Por este motivo, este troço do tubo deverá ser colocado com o auxílio de pesos de afundamento, em geral anéis de betão.

A intensidade dos processos hidrodinâmicos e/ou sedimentares que ocorrem na zona de rebentação excluem, na prática, a possibilidade de manter estável uma tubagem assente sobre o fundo. A solução para este problema consiste em enterrar a tubagem. No caso de zonas de natureza sedimentar, o principal problema prende-se com a variação sazonal do perfil transversal da praia. Os perfis dos fundos são diferentes após o Verão e após o Inverno, devendo o emissário ser implantado sob a envolvente dos perfis, para que a estrutura não seja exposta à acção directa da rebentação.

A solução mais usual no troço exterior e no difusor é a da estrutura assente no fundo. A estabilização é conseguida através do peso dos anéis de afundamento e, em caso de necessidade, através da colocação de pesos suplementares.



4. SISTEMA DE DRENAGEM DA ETAR LAGOA/MECO. DESCRIÇÃO GERAL

O sistema de drenagem descrito nesta comunicação destina-se a lançar no mar os efluentes provenientes da ETAR Lagoa/Meco e é constituído por dois troços, o Emissário Terrestre e o Emissário Submarino e uma câmara de carga que serve de interface entre os dois troços.

O Emissário Terrestre liga a ETAR à câmara de carga, e tem uma extensão de 860 m sendo constituído por uma tubagem de PE100, com o diâmetro de 800 mm. O emissário submarino tem um comprimento de 2000 m, diâmetro de 710 mm e desenvolve-se entre a câmara de carga e a batimétrica -25 m(ZH) com um azimute de 270°, aproximadamente perpendicular à linha de costa.

Os caudais considerados nos estudos de localização do difusor do emissário e no dimensionamento hidráulico do mesmo, são 0,385 m³/s no início da exploração e de 0,432 m³/s no ano correspondente ao horizonte de projecto. O efluente tem um nível de tratamento secundário, sendo o tratamento da ETAR constituído por sistema de biomassa suspensa.

5. PROJECTO DO EMISSÁRIO SUBMARINO LAGOA/MECO

5.1 Generalidades

O projecto do emissário submarino Lagoa/Meco desenvolveu-se em 3 fases principais:

- Projecto ambiental - estudos de dispersão do efluente para definição da localização do difusor;
- Projecto hidráulico - definição do material e do diâmetro da tubagem, da distribuição e dimensão dos orifícios do difusor e das cotas da câmara de carga, incluindo estudo de implantação;
- Projecto estrutural - estudo da estabilidade da tubagem sob a acção das ondas e correntes.

Complementarmente desenvolveram-se estudos relacionados com a durabilidade e a resistência das componentes da estrutura, e com a construção do emissário.

5.2 Dados de base

Os principais dados de base utilizados no projecto foram:

- Levantamentos topo-hidrográfico da zona de implantação dos emissários submarino e terrestre;
- Estudo geológico-geotécnico abrangendo a zona do emissário terrestre e da câmara de carga;
- Estudo de prospecção de sísmica de reflexão na zona do emissário submarino;
- Granulometria da areia do fundo na zona de rebentação.

5.3 Escolha da localização do difusor

Na escolha da localização da descarga (difusor), utilizou-se como critério o valor da concentração de coliformes fecais numa linha a 100 metros da costa não exceder 100NMP/100mL. Considerou-se uma concentração à saída do difusor de 10⁶ NMP/100mL, com um valor da diluição inicial (zona próxima do difusor) de 100.

Para simulação de uma situação de avaria da ETAR considerou-se uma concentração à saída do difusor de 10^8 NMP/100mL (por segurança foi considerado que as águas residuais brutas apresentam uma concentração, em coliformes fecais, de 108 NMP/100 mL, assumindo-se uma redução de 2 log durante o tratamento na ETAR – tratamento secundário).

Utilizou-se a modelação matemática da evolução do efluente no campo longínquo recorrendo-se ao sistema de cálculo MIKE21 desenvolvido pelo DHI Water & Environment. Verificaram-se os valores da diluição inicial correspondente aos fenómenos de mistura do efluente com a água do mar na zona próxima do difusor com o modelo UM3 incluído no sistema Visual Plumes desenvolvido pela EPA – Environmental Protection Agency (EUA).

Na Figura 5 apresenta-se um exemplo dos cálculos de dispersão do efluente durante os estudos de localização do difusor, realizados com os módulos HD e AD do sistema MIKE21.

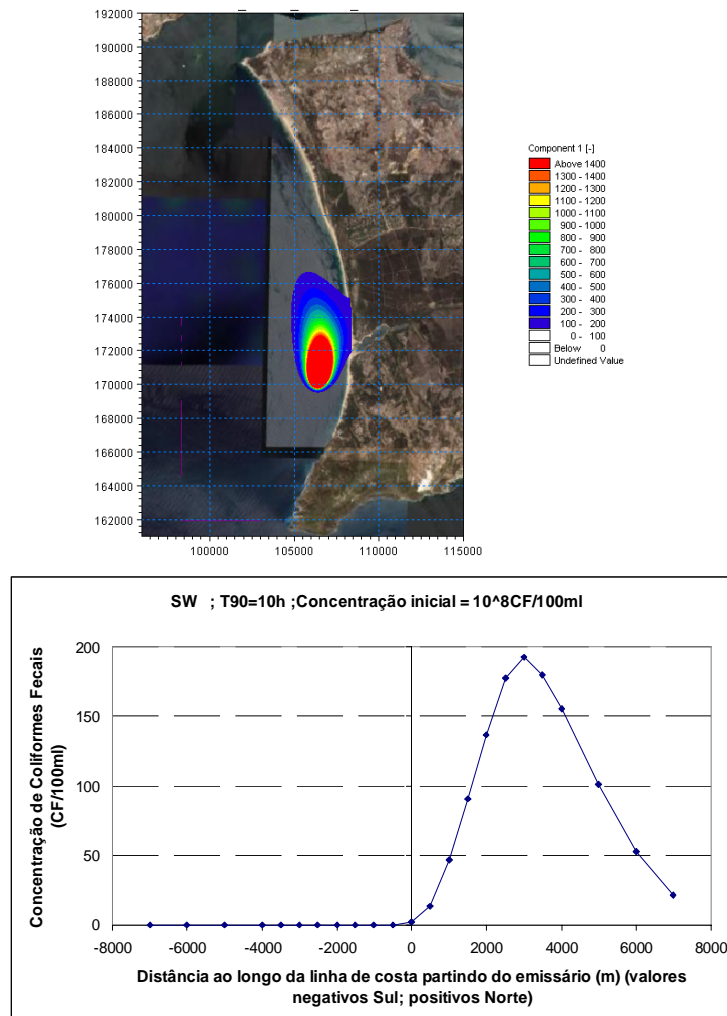


Figura 5 - Lançamento do efluente na -25m (ZH). Vento SW com 17,2 km/h.
 Concentração inicial= 10^8 e $T_{90}=10$ h

5.4 Escolha da localização da câmara de carga

A interface entre o Emissário Terrestre e o Emissário Submarino consiste numa câmara de carga localizada perto da base das dunas da praia do Moinho de Baixo - Meco. A câmara de carga terá uma área em planta de $3,4 \times 3,2$ m² e uma altura de 15 metros com a cota do fundo de -1,50m(ZH). A escolha da localização obedeceu a recomendações das autoridades ambientais competentes. Os condicionamentos de natureza ambiental impostos, levaram à



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

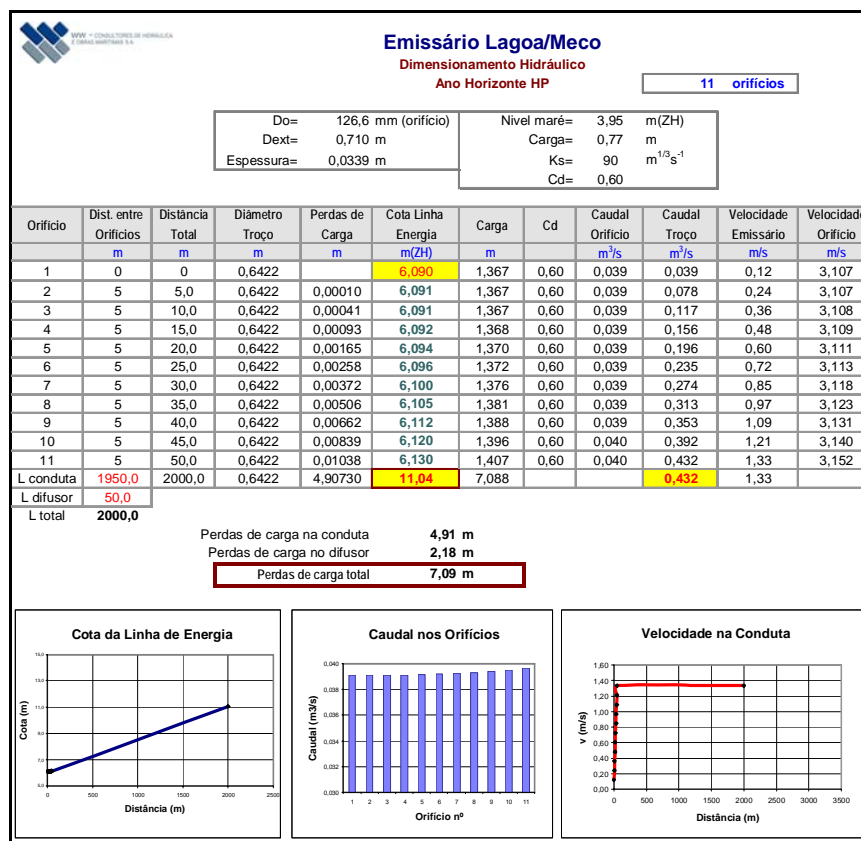
localização da câmara de carga em cotas muito baixas, facto que conduziu à necessidade de utilizar um tubo de diâmetro elevado para compensar a pequena carga hidráulica disponível para o escoamento.

5.5 Traçado em planta do emissário submarino

Como se referiu anteriormente, o emissário submarino terá um comprimento de 2000 m e um diâmetro de 710 mm. Será constituído por 3 troços: o Troço Enterrado, com 450 metros de comprimento e profundidade máxima de -12,0 m(ZH), o Troço Apoiado, com 1,5 km e profundidade máxima de -24,3 m(ZH), e o Difusor, com 53 metros de comprimento e profundidade máxima de -25,0 m(ZH).

5.6 Dimensionamento hidráulico

Depois de escolhidos os locais da rejeição e da câmara de carga, procedeu-se ao dimensionamento hidráulico dos órgãos do emissário submarino (câmara de carga, tubo e difusor). Para isso utilizou-se um modelo de cálculo no qual se definem as características do escoamento entre a câmara de carga e o último orifício do difusor, apresentando-se um exemplo de cálculo no Quadro 2.



Quadro 2 – Resultados do modelo de dimensionamento hidráulico do emissário

5.7 Dimensionamento estrutural

5.7.1 Generalidades

Este ponto refere-se ao dimensionamento estrutural da tubagem do emissário submarino. Sendo considerada uma estrutura flexível, no seu dimensionamento admitiu-se que a tubagem pode sofrer pequenos deslocamentos, desde que estes sejam recuperáveis. Para isso garantiu-se que nas suas extremidades a estrutura é fixa.

No troço enterrado garantiu-se a estabilidade ao obrigar a tubagem a ficar implantada abaixo da envolvente dos perfis de praia, não sendo assim atingida directamente pelas ondas que constituem a principal acção sobre a estrutura. Para isso estudou-se a possível variação do perfil transversal da praia em função da agitação marítima, utilizando o módulo LITPROF do sistema de cálculo LITPACK desenvolvido pelo DHI Water & Environment. Para evitar eventuais erosões excessivas que possam pôr a tubagem a descoberto, previu-se a colocação de uma protecção de enrocamento entre as cotas -9 m(ZH) e a +5 m(ZH). A secção tipo desta protecção é apresentada na Figura 6.

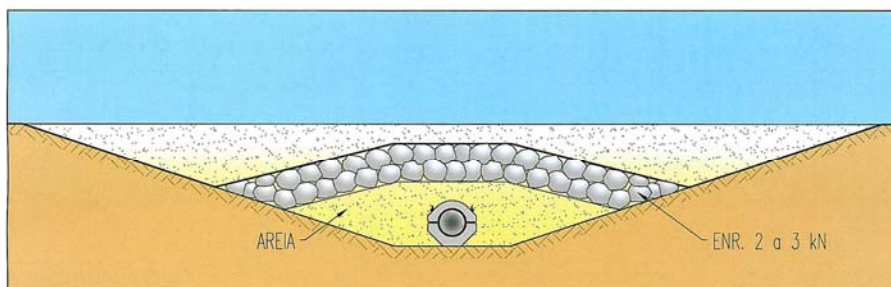


Figura 6 – Troço na zona de rebentação. Perfil transversal tipo

5.7.2 Troço apoiado do emissário submarino

A estabilidade do troço apoiado do emissário é garantida pelo peso dos anéis de betão distanciados de 5 metros (Figura 7). Estes anéis são montados no tubo antes do transporte para o local de afundamento, e servem também como pesos de afundamento.

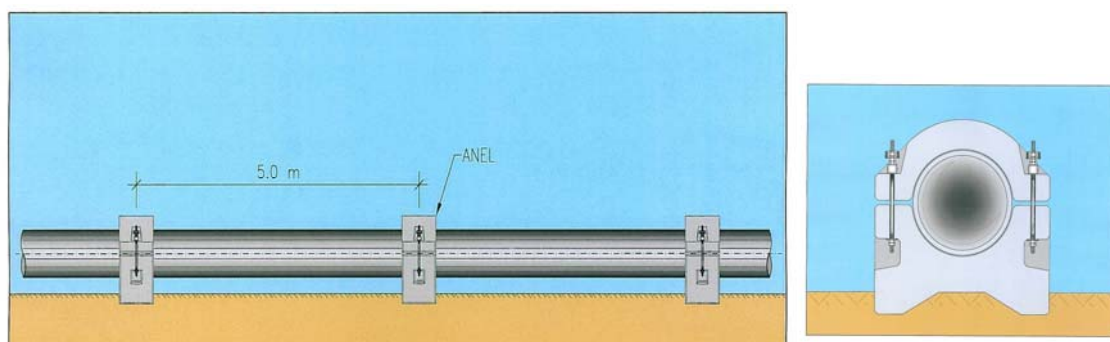


Figura 7 – Troço apoiado. Perfis longitudinal e transversal tipo


No cálculo das forças sobre a tubagem utilizam-se as equações de Morison, sendo as velocidades das partículas calculadas segundo a teoria de onda de Airy. Os coeficientes de forma das equações de Morison (arrastamento, sustentação e inércia) foram escolhidos de



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

acordo com a literatura técnica sobre este assunto, e a experiência dos numerosos projectos realizados.

No Quadro 3 apresenta-se um exemplo de cálculo da determinação dos coeficientes de segurança ao derrubamento e ao escorregamento, obtidos para uma secção da tubagem situada a profundidade de 20,9 m.

 WW - Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A.										
VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE DO EMISSÁRIO SUBMARINO										
EMISSÁRIO LAGOA / MECO										
ONDA										
ALTURA:	11,7 m									
PERÍODO:	13,6 s									
PROFUNDIDADE:	20,9 m									
VELOCIDADE CORRENTES:	0,20 m/s									
OBLIQUIDADE:	19 deg									
CARACTERÍSTICAS/ACÇÕES										
Coefficiente de atrito:	0,80									
Diâmetro exterior da conduta:	0,710 m									
Diâmetro interior da conduta:	0,6422 m									
Impulsão por metro de conduta:	0,406 t/m				3,98 kN/m					
Impulsão sobre a conduta entre eixos dos anéis:	2,029 t				19,89 kN					
Peso por metro da conduta:	0,074 t				0,727 kN					
Peso por troço (entre eixo dos anéis):	0,3705 t				3,63 kN					
Densidade da água do mar:	1,025									
ANÉIS										
Afastamento:	5,00 m									
Largura:	0,60 m									
Área exposta:	0,79 m ²									
Volume:	0,56 m ³									
Peso volúmico:	2,45 t/m ³									
Peso aço:	0,056 t									
Pesos:										
Emerso:	1,410 t				Distância do eixo da conduta ao fundo:		0,755 m			
Submerso:	0,836 t				Largura da base:		1,250 m			
Área Exposta Total:	3,92 m ²									
Peso Total (Submerso):	0,838 t				8,21 kN					
CALCULO DAS FORÇAS										
Forças de Escorregamento:										
t	U	V	Ur	Re	Kc	Cd	Fdh	Fdv		
0	3,50	0,00	3,50	2.485.148	67,05	0,70	0,180	0,000		
Forças de Sustentação:										
t	U	V	Ur	Re	Kc	Cl	Flv			
0	3,50	0,00	3,50	2.485.148	67,05	0,90	0,231			
Forças de Inercia:										
t	Ah	Av	Re	Cl	Fih	Fiv				
0	0,0000	-0,0383	2.485.148	1,00	0,0000	-0,0007				
RESULTANTES										
t	Horizont.	Verticais	Resultante	Alfa						
0	0,18	0,23	0,29	52,04						
Coefficientes Adimensionais:										
$C_D = 0,70$			$C_L = 0,90$			$C_M = 1,00$				
VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA										
t	(Fh)N	F.V.	Esacorregamento (W-Fv)*CA	Coef.Sec.	MEscorreg.	Derrubamento Mderrub.	Coef.Sec.			
0	0,180	0,23	0,486	2,70	0,379	0,136	2,79			
Coefficientes de Segurança:										
Esacorregamento:				Mínimo		2,70		Médio (*):		30,59
Derrubamento:				Mínimo		2,79		Médio (*):		31,66
Nota: (*) Coeficiente médio em meio comprimento de onda										

Quadro 3 - Cálculo da estabilidade do emissário

Como se pode ver na Figura 8, no troço final, correspondente ao difusor, os anéis de estabilização têm um afastamento menor que no troço corrente (2,5 m) de modo a evitar a ocorrência de deslocamentos na extremidade da tubagem.

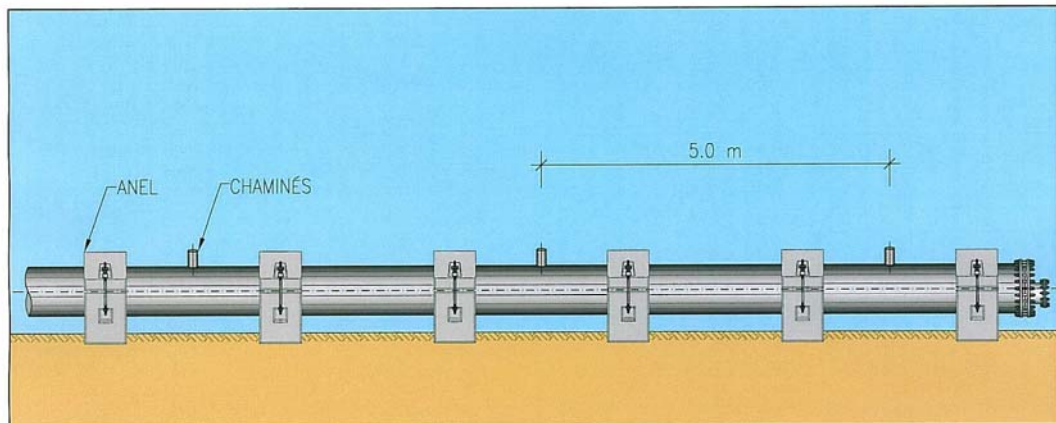


Figura 8 - Troço apoiado. Perfil no difusor

5.8 Protecção catódica

Um aspecto importante durante a vida útil da estrutura está relacionado com a corrosão das componentes metálicas utilizadas nas ligações dos anéis e nas flanges. Sendo os emissários estruturas de difícil acesso para reparação, previu-se um sistema de protecção catódica dessas peças, baseada em ânodos de sacrifício fixados nas peças de ligação. Este sistema é dimensionado para uma duração equivalente à vida útil esperada da estrutura.

5.9 Esforços e resistência durante a construção

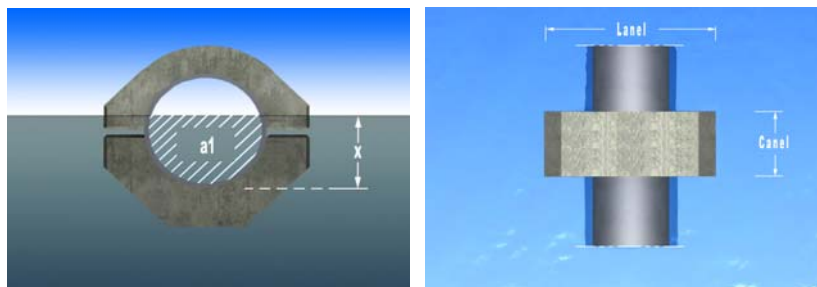
A construção de um emissário submarino constitui em muitos casos a fase mais crítica no que respeita à resistência da tubagem e das suas ligações, principalmente durante o transporte e afundamento.

O transporte é feito em geral com o tubo vazio e os anéis colocados de forma a garantir um determinado grau de flutuabilidade. No Quadro 4 apresenta-se um exemplo do cálculo desse grau de flutuabilidade em função do peso, geometria e afastamento dos anéis.

FLUTUABILIDADE DA TUBAGEM
ANEIS TIPO I

CONDUTA PEAD		ANEL	
Diametro Exterior	Dext = 0,710 m	Peso volumico betão	Gamab = 24,85 kN/m ³
Espessura	Esp = 0,034 m	Largura anel	Lanel = 1,250 m
Diametro Interior	Dint = 0,642 m	Espessura anel	Canel = 0,600 m
Peso / m	Ptub = 0,727 kN/m	Área da secção central anel	Aanel = 0,425 m ²
Área da secção	Atub = 0,324 m ²	Volume anel	Vanel = 0,423 m ³
		Peso anel (emerso)	Panel = 10,521 kN
CONDIÇÕES DE SUBMERSÃO			
Densidade água	Dens = 1,025	Intervalo aneis	Sp= 5 m
% lastro água	Lastro = 0,0 %	Número aneis / m	NAPM = 0,200 / m
		Peso total / m	PT = 2,832 kN/m

x (% diametro interior)	a1	Impulsão por metro de conduta			Delta
		conduta	aneis	total	
0,00	0,0000	0,0000	0,2163	0,2163	-2,615
0,05	0,0074	0,0743	0,2419	0,3162	-2,515
0,10	0,0206	0,2070	0,2675	0,4745	-2,357
0,15	0,0372	0,3741	0,2931	0,6672	-2,164
0,20	0,0564	0,5662	0,3187	0,8849	-1,947
0,25	0,0774	0,7775	0,3443	1,1218	-1,710
0,30	0,0999	1,0035	0,3699	1,3734	-1,458
0,35	0,1235	1,2405	0,3955	1,6360	-1,196
0,40	0,1479	1,4855	0,4211	1,9067	-0,925
0,45	0,1728	1,7357	0,4467	2,1825	-0,649
0,50	0,1980	1,9885	0,4723	2,4608	-0,371
0,55	0,2231	2,2413	0,4979	2,7392	-0,092
0,60	0,2480	2,4915	0,5235	3,0150	0,183
0,65	0,2724	2,7365	0,5492	3,2857	0,454
0,70	0,2960	2,9735	0,5748	3,5483	0,717
0,75	0,3185	3,1995	0,6004	3,7999	0,968
0,80	0,3395	3,4108	0,6260	4,0367	1,205
0,85	0,3587	3,6029	0,6516	4,2545	1,423
0,90	0,3753	3,7700	0,6772	4,4472	1,616
0,95	0,3885	3,9027	0,7028	4,6055	1,774
1,00	0,3959	3,9770	0,7284	4,7054	1,874



Quadro 4 – Cálculo da flutuabilidade do emissário

No que respeita ao afundamento calcularam-se as forças de tracção a aplicar na extremidade da tubagem durante a imersão, de forma a evitar a ocorrência de raios de curvatura muito pequenos, o que poderia pôr em perigo a integridade da tubagem pelo efeito de “buckling”. No Quadro 5 indica-se para condições usuais a força de tracção mínima a utilizar durante o afundamento.



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007



ESTUDO DO AFUNDAMENTO Anéis Tipo I

Características da estrutura	
Módulo de poisson	0,5
Diâmetro exterior do tubo	0,71 m
Espessura do tubo	0,0339 m
Diâmetro interior do tubo	0,6422 m
SDR	20,9
Peso do tubo emerso	0,713 kN/m
Distancia entre eixos dos anéis	5 m
Distancia livre entre anéis	4,4 m
Volume do anel	0,42 m ³
Peso total do anel (emerso)	10,59 kN
Peso total do anel (imerso)	6,328 kN
Peso do emissário por metro (emerso)	2,830 kN/m

Condições de carga	
Porcentagem de carga	31,8 %
Porcentagem de ar (equilíbrio antes da submersão)	38,5 %
Peso resultante da secção cheia de água	1,26 kN/m
Impulsão resultante da secção cheia de ar	-2,00 kN/m

Curvatura	
Curvatura admissível duante a imersão (R/D)	17,8
Factor de correcção da resistência devido aos anéis	1,00
Curvatura mínima depois da correcção	17,8
Raio de curvatura admissível durante a imersão	12,6 m
Raio de curvatura superior (secção com ar)	18,9 m
Raio de curvatura inferior (secção com água)	30,1 m

Forças/Tensões		
Força de tracção mínima (coef. sec. 1.5)	Ft	38 kN
Tensão admissível	sigma_adm	10 Mpa

Profundidade m	pa Mpa	h m	Tracção kN	Alfa °	σ0 Mpa	σ1 Mpa	σ tot Mpa	Coef_sec
20	7,7	12,3	53,2	44,8	0,74	0,75	1,49	6,7
15	5,8	9,2	49,4	40,1	0,69	0,56	1,25	8,0
10	3,9	6,1	45,5	33,9	0,63	0,38	1,01	9,9
5	1,9	3,1	41,6	24,9	0,58	0,19	0,77	13,0
0	0,0	0,0	37,8	0,0	0,52	0,00	0,52	19,1

pa	Pressão do ar no interior do tubo
h	Altura de água no tubo
Tracção	Estorço longitudinal no ponto de inversão da curva
Alfa	Ângulo do tubo com a horizontal no ponto de inversão da curva
σ0	Tensão devido à tracção do tubo
σ1	Tensão devido à pressão interior
σ tot	Tensão total
Coef_sec	sigma_adm/sigma_t

Note:

$$F = \frac{1,09 \times \sqrt{(SDR - 1)}}{\left(\frac{L}{D}\right)}$$

F = Factor de correcção da resistência considerando os anéis
SDR = D/s
s = Espessura do tubo
L = Distância livre entre anéis
D = Diâmetro

Quadro 5 - Cálculo das condições de imersão

5.10 Medidas de minimização de impactes ambientais na fase de construção

Uma vez que o Emissário de descarga da ETAR de Lagoa/Meco se localiza numa zona de elevado valor ecológico e simultaneamente com requisitos acrescidos por ser um zona balnear, o projecto previu um conjunto de medidas de minimização e compensação a implementar.

Neste âmbito refere-se a definição de vias de circulação que minimizem o impacte sobre o sistema dunar, a limitação das áreas de intervenção, a obrigatoriedade de atravessar o sistema dunar por sistema de perfuração horizontal dirigida ou equivalente, evitando-se deste modo a abertura de vala num sistema de elevado valor ecológico.

Além das medidas de minimização foram identificadas e incluídas no projecto a obrigatoriedade de recuperação da zona afectada pela obra, a delimitação do sistema dunar e construção de passadiços sobre as dunas, com o objectivo de evitar futuramente a circulação de pessoas, de motas e veículos todo terreno que actualmente tem fácil acesso ao sistema dunar existente.



**5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007**

BIBLIOGRAFIA

Ian R. Wood, Robert G. Bell e David L. Wilkinson – Ocean disposal of waste water. Advanced Series on Ocean Engineering – Vol. 8. World Scientific. 1993

Pedro L. Figueira - Emissários Submarinos - Metodologias de projecto de emissários submarinos flexíveis. Lição apresentada no concurso para Professor Coordenador do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Fevereiro de 2001

Department of Water Affairs and Forestry - Operational policy for the disposal of land-derived water containing waste to the marine environment of South Africa: Guidance on Implementation. Water Quality Management Series. Sub-series No. MS 13.3. 1995.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Comportamento Estrutural de Emissários Submarinos. Emissários Submarinos em Portugal. Relatório 24/03 - NPE.

Karlsen, T.A. (Interconsult ASA) - Technical Catalogue for Submarine Installations of Polyethylene Pipes. Ed. by Pipelife Norge AS. Dez. 2002

Andtacka, A. Et Bjorklund I. - Large Diameter PE Pipes for Marine Installations. MWWD 2004 - 3rd International Conference on Marine Waste Water Disposal and Marine Environment