



PROJETO DO PROLONGAMENTO DO QUEBRA-MAR EXTERIOR DO PORTO DE LEIXÕES E COMPARAÇÃO COM OS QUEBRA-MARES DOS PORTOS DE PUNTA LAGOSTEIRA, GIJON E FERROL

Lucília Luís; Sofia Freire e João Barros (Consulmar – Projectistas e Consultores, Lda.); Hugo Lopes (APDL – Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A.) ;
lucilia.luis@consulmar.pt, sofia.freire@consulmar.pt, joao.barros@consulmar.pt, hugo.lopes@apdl.pt

Resumo

A Consulmar - Projectistas e Consultores, Lda., entre 2016 e 2019, realizou os Estudos e Projetos do Prolongamento do Quebra-mar Exterior e das Acessibilidades Marítimas do Porto de Leixões, para a APDL – Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A., cuja empreitada de construção se encontra atualmente em curso.

Estes trabalhos envolveram uma vasta equipa técnica, várias entidades, entre elas a FEUP, e um alargado conjunto de estudos, tendo o Prolongamento do Quebra-mar Exterior sido ensaiado em modelo físico reduzido no Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Tratando-se de um dos maiores quebra-mares do país, implantado a profundidades significativas e encontrando-se sujeito a um clima de agitação extremamente severo, considerou-se interessante visitar esta estrutura de abrigo e compará-la com as principais obras de abrigo da costa norte de Espanha – Punta Langosteira, Gijon e Ferrol, cuja severidade das condições de agitação são ainda superiores.

1. Condições naturais no porto de Leixões

Para a conceção e predimensionamento das obras de abrigo é fundamental o conhecimento das condições naturais locais. Desde logo a **topo-hidrografia** da zona de implantação da obra e circundante, pois é determinante para a tipologia do quebra-mar a selecionar, bem como a sua dimensão. Neste caso, na extensão correspondente ao prolongamento do quebra-mar, com cerca de 300m, os mesmos variam entre a -17 e a -20m(ZHL), sendo uma profundidade em que se poderia optar, quer por um quebra-mar vertical ou por um de taludes, tendo-se optado por este último.

Fundamental, também é o conhecimento da **natureza dos fundos** (rochosos, arenosos, lodosos, etc.).O levantamento de prospeção geofísica revelou que, na zona de implantação do prolongamento do quebra-mar exterior, as superfícies das estruturas geológicas mais resistentes, com grande probabilidade de se revelarem como o topo do substrato rochoso, se encontram a profundidades entre 4 a 12 m abaixo da superfície do fundo oceânico. Esta informação é de primordial importância pois da mesma depende as condições de fundação do quebra-mar, especialmente a configuração do pé de proteção de talude.

Encontrando-se o continente português numa zona mesotidal, a variação do **nível de maré** é também importante, não apenas para o dimensionamento do quebra-mar, como também para o planeamento dos processos construtivos. Para o caso do porto de Leixões, dispensando-nos de estar a referir os diferentes níveis, refere-se apenas que as PMAV atingem 3,8mZH=3.15mZHL e as BMAV atingem 0,54mZH=0,21mZHL. Embora não aqui abordado em detalhe, a previsão da subida do nível do mar foi igualmente tido em conta.

De primordial importância é a caracterização da **agitação marítima** no local com vista à determinação das condições médias, mas também das mais frequentes e intensas, quer para efeitos construtivos, quer para efeitos da determinação da altura de onda de projeto (distinta quanto o tipo de estrutura a dimensionar). Dispensando-se a descrição da sua determinação, refere-se apenas que, após determinação do regime médio local, se verificou que:

a) Rumos

A agitação que atinge a proximidade de implantação tem maioritariamente direção média



segundo ONO, com cerca de 55% das observações. Segue-se NO com cerca de 21% e O com cerca de 19%.

b) Alturas

Tendo em conta a totalidade dos rumos (360°), as alturas inferiores a 1 m têm uma ocorrência média de cerca de 30%. As maiores frequências correspondem a ondas com alturas entre 1 e 2 m, com aproximadamente 42%. As ondas com alturas superiores a 3 e 5 m representam aproximadamente 10% e inferior a 1% das ocorrências, respetivamente.

c) Períodos

Verifica-se a predominância dos escalões entre os 7 e os 11 s ao nível dos períodos médios, com a maioria (60%) das ocorrências – 31% referentes ao escalão 9 a 11 s – enquanto ao nível dos períodos de pico tal ocorre entre os 9 e os 15 s, com cerca de 53% das ocorrências (20% para o escalão 13 a 15 s). Verifica-se ainda que os períodos médios inferiores a 7 s representam cerca de 20% das observações e que os superiores a 13 s representam cerca de 4% do total. Relativamente aos períodos de pico, os períodos inferiores a 9 s representam cerca de 1% das observações e que os superiores a 17 s representam cerca de 28% do total.

No que se refere aos valores extremos, embora tenham sido consideradas duas metodologias, mas não sendo possível estar a descreve-las no âmbito desta comunicação, refere-se apenas que estima-se que, na proximidade do pé do talude da cabeça do quebra-mar, para um período de retorno $T = 100$ anos, nível de maré médio e para o rumo oeste (que não sendo o mais frequente é de onde chegam alturas de onda maiores) a altura de onda significativa seja da ordem dos $H_s = 8,6$ m.

2. Pré-dimensionamento dos mantos resistentes

No que se refere à **onda de dimensionamento**, na bibliografia encontram-se diferentes recomendações: desde considerar $H_{1/10}$ em vez de $H_{1/3}$ no pé da estrutura, até a considerar a altura de onda estimada a vários comprimentos de onda de distância do pé da estrutura, entre outras. A ocorrência ou não de rebentação e do seu tipo (progressiva, mergulhante e de fundo), diretamente sobre o manto resistente implica também outro tipo de considerações.

Dada a importância da obra, considerou-se que o dimensionamento desta deveria ser realizado para um nível mais conservativo, pelo que o manto de proteção foi dimensionado para $H_{1/10}$, dado pela seguinte expressão: $H_{\frac{1}{10}} = 1.27 \times H_s$

Para o presente caso tem-se $H_{1/10} = 10,9$ m, tendo-se considerado a onda de dimensionamento de 11 m.

No que se refere à determinação do **peso dos elementos do manto resistente**, entre as diferentes fórmulas de cálculo existentes para pré-dimensionamento do peso dos elementos do manto de proteção, a mais utilizada nas últimas décadas tem sido a fórmula de Hudson (1959), sobejamente conhecida, pelo que aqui se dispensa a sua descrição.

O dimensionamento deste manto de proteção tem a si associadas várias especificidades que o tornam numa solução muito particular, com destaque para a relativa suavidade do declive do talude adotado para o manto exterior, bem como para a utilização de blocos em betão de alta densidade.

Os resultados obtidos foram os seguintes:

Tabela Pré-dimensionamento do manto resistente.

Incl. talude	TRONCO			CABEÇA		
	Peso (kN)	Volume (m ³)	Densidade (kN/m ³)	Peso (kN)	Volume (m ³)	Densidade (kN/m ³)
1 / 2,0	550	20,88	26,50	645	20,10	32,00

3. Ensaios em modelo físico tridimensional

Após conclusão do EP, a solução selecionada foi sujeita a ensaios bidimensionais (2D) e tridimensionais (3D), com as condições hidráulicas acordadas com o LNEC, tendo o PE sido realizado com base nos resultados dos ensaios.

Por, no âmbito desta comunicação, não ser possível descrever os ensaios e respetivos resultados, refere-se apenas as condições de ensaio, passando depois de imediato para a descrição do PE, cujas características decorrem dos resultados dos ensaios. Assim, os ensaios foram realizados com as seguintes condições: i) Dois rumos de agitação: SO e O; ii) Dois níveis de maré constante: +0,0 m (ZHL) e +4,0 m (ZHL); iii) Dois períodos de pico (T_p) de 12 e 20 s; iv) alturas de onda crescentes entre 6 m e 12 m, em escalões de 1 m (rumo O) e de 0,5 m (rumo SO), ou ao limite da rebentação; v) O modelo construído à escala geométrica 1:63, segundo a lei de semelhança de Froude.

Por iniciativa do projetista, e com o objetivo de avaliar a margem de segurança da estrutura, as alturas de onda especificadas excederam deliberadamente as alturas de onda de projeto, cuja estimativa, conduziu aos seguintes valores: $H_s = 8,0$ m para o rumo SO e $H_s = 11,0$ m para o rumo O.

Resumidamente, embora alguns pontos do quebra-mar mostrassem alguma fragilidade, nomeadamente o setor interior da cabeça que teve que ser reforçado, o LNEC considerou que a solução estrutural do prolongamento do quebra-mar é globalmente estável.

4. Projeto de Execução (PE) realizado na sequência dos ensaios em modelo físico reduzido

Não obstante o anteriormente exposto, o Projetista considerou que no PE deveria introduzir melhorias à estrutura final ensaiada para reforço da estabilidade geral da mesma.

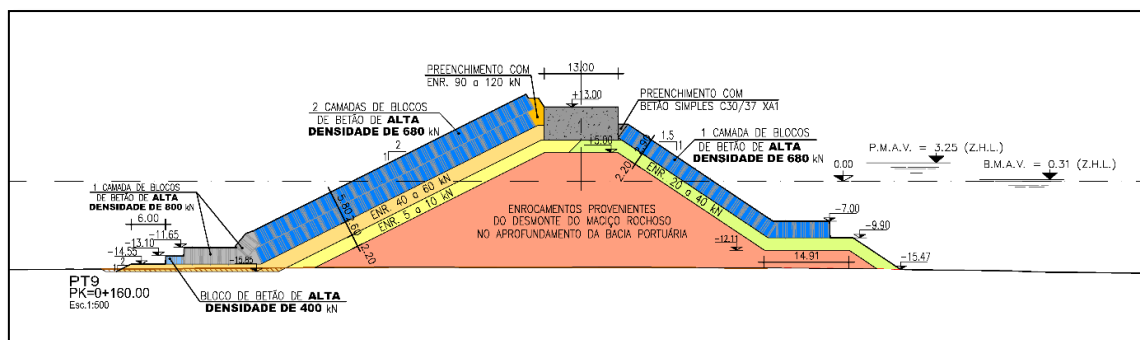


Figura 1 – Corte transversal do prolongamento do quebra-mar de leixões

Assim, na figura anterior ilustram-se as alterações efetuadas no **talude do tronco**, em que os blocos de 550 kN ensaiados no modelo, foram substituídos por blocos de 680 kN no protótipo. No extradorso são colocados em duas camadas com densidades de 17 un/100 m², enquanto no intradorso são colocados em camada única com 8 un/100 m², exceção feita à zona adjacente à transição da cabeça onde os blocos serão justapostos.

Na cabeça, quer o setor exterior quer o interior, o manto passou a ser constituído por blocos de 800 kN, com densidades de colocação de 17 e 18 un/100 m², respetivamente.

Relativamente ao **pé de talude do extradorso e da cabeça**, prevê-se a colocação de blocos de 800 kN na totalidade do extradorso e na rotação da cabeça, acrescidos de um bloco com metade da altura dos restantes, mas composto por betão com as mesmas características.

5. Comparação do novo perfil do quebra-mar Leixões com o de Punta Langosteira, Gijon e Ferrol

Na costa norte espanhola, na proximidade da costa portuguesa, mas sob condições mais adversas características do Golfo da Biscaia, foram construídos, há relativamente poucos anos, os portos de Punta Langosteira, Gijon e Ferrol.

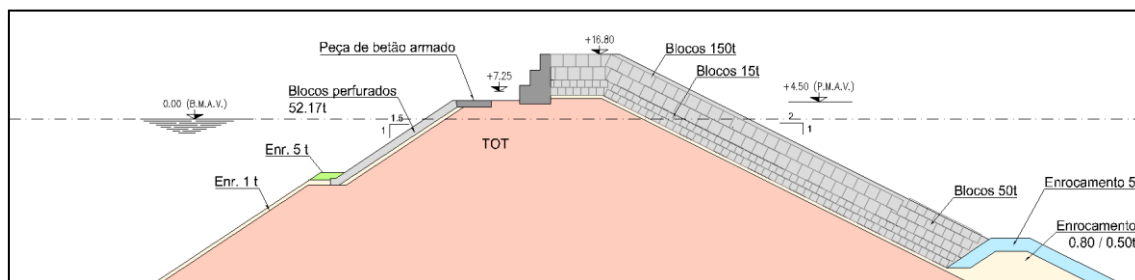


Figura 2 – Corte transversal do prolongamento do quebra-mar de Punta Langosteira

Na figura anterior, esquematiza-se um perfil tipo do tronco do quebra-mar de Punta Langosteira, construído pelo Consórcio formado pela Dragados, Sato, FPS e COPAS, entre 2005 e 2012, obra realizada para a autoridade portuária da Corunha.

Enquanto o prolongamento de 300m, aumenta o quebra-mar principal do porto de Leixões para cerca de 2100m, o quebra-mar de Punta Langosteira apresenta cerca de 3350m de extensão, implantando-se entre profundidades médias da ordem dos 25m no troco e 29m na cabeça, encontrando-se sujeito a amplitudes de maré de cerca de 5m e alturas de onda significativa de cerca de 15.1m.

À semelhança do de Leixões, é um quebra-mar de taludes, protegido por um manto resistente de blocos regulares de betão adensado, mas cujo peso atinge no tronco 1500kN e na cabeça 1750 kN e 1900kN, ou seja, mais do dobro do previsto para os mantos resistentes do prolongamento do quebra-mar de Leixões. Devido ao elevado peso dos blocos dos mantos resistentes, o submanto não é constituído por enrocamento, mas também por blocos cúbicos de betão de cubos de 150kN. Os restantes submantos e núcleo são formados por enrocamentos e tot, respetivamente.

Similarmente, dado que as condições de agitação e implantação são idênticas, o quebra-mar de Gijon, apresenta em parte da sua extensão, mantos resistentes com blocos de 1450kN no tronco, e submantos de 100kN, sendo que o de Ferrol apresenta mantos resistentes com blocos de 1200kN e submantos com 120kN.

Referências Bibliográficas

- CONSULMAR – Projectistas e Consultores, Lda. (2019) – “Empreitada do Prolongamento do Quebra-mar Exterior e das Acessibilidades Marítimas do Porto de Leixões – Projeto de Execução do Prolongamento do Quebra-mar Exterior”.
- Gutierrez-Serret, R., Grassa, J.M. e Grau, J.I. (2010) – “Breakwater Development in Spain. The Last Ten Years” – “Coasts, marine structures and breakwaters: Adapting to change: Proceedings of the 9th international conference organised by the Institution of Civil Engineers and held in Edinburgh on 16 to 18 September 2009”, ISBN: 978-0-7277-4159-2
- Lemos, R.; Neves, M.G.; Fortes, C.J.E.M. (2017) – “Estudos em Modelo Físico e Numérico do Prolongamento do Quebra-mar Exterior e das Acessibilidades Marítimas do Porto de Leixões. Estudo I - Ensaio tridimensionais de agitação e de estabilidade e galgamentos”. Relatório 1 - Construção dos modelos físicos 3D. Relatório 298/2017 - DHA/NPE, LNEC, abril.