



PROJECTOS DE DOIS NOVOS TERMINAIS OCEÂNICOS NA COSTA ATLÂNTICA DE MARROCOS

**Mário Teles¹, Sofia Costa Freire¹, Breno Ribeiro¹, Andreia Barata¹, Teresa Silveira¹,
Machado dos Santos¹, Miguel Saldanha²**

¹HIDROPROJECTO, Engenharia e Gestão, S.A., Rua Tomás da Fonseca, Torres de Lisboa Torre G - Piso 4º,
1600-209 Lisboa, PORTUGAL, Phone: +351 21 751 3000, Fax: +351 21 751 3001, mteles@hidroprojecto.pt

²GEOSUB, Prospecção Geomática e Ambiente, Lda. Estrada Rebelva, Lt 2, 1º - D Rebelva 2775-726 Carcavelos,
PORTUGAL, Phone: +351 21 453 0099, msaldanha@geosub.pt

RESUMO

Na presente comunicação apresentam-se os estudos e projectos desenvolvidos para o ONE – Office National d'Electricité de Marrocos para a criação de Terminais Oceânicos para a descarga de navios carvoeiros de grande porte, localizados em “Bir-El-Har” e “Cap Ghir”, respectivamente nas latitudes de 32°07’ e 30°38’. O carvão destina-se a abastecer directamente dois conjuntos de Centrais Termoeléctricas com as potências de 5300 e 1320 MW e que requerem a descarga anual de respectivamente 14 e 4 milhões de toneladas de carvão.

Os trabalhos desenvolvidos foram divididos em cinco fases e corresponderam às seguintes tarefas:

- 1) Medições “in situ”, processamento e análise dos dados;
- 2) Estudo das ondas e do regime sedimentar: análise da agitação ao largo e propagação para a costa através de um modelo de refração-difracção da zona costeira;
- 3) Estudo Preliminar, que incluiu a caracterização da hidrodinâmica, avaliação do impacte térmico na água e ensaios das soluções em modelo matemático de propagação das ondas no interior de bacias abrigadas;
- 4) Estudo Prévio das soluções retidas no Estudo Preliminar;
- 5) Anteprojecto e Projecto para Concurso da solução escolhida.

1 INTRODUÇÃO

O Departamento de Engenharia das Zonas Costeiras da Hidroprojecto desenvolveu para o ONE – Office National de l'Electricité, de Marrocos, dois Projectos de Terminais Oceânicos para a descarga de navios carvoeiros de grande porte, localizados em “Bir El Har” e “Cap Ghir”, respectivamente nas latitudes de 32°07’ e 30°38’. O carvão destina-se a abastecer directamente os dois conjuntos de Centrais Termoeléctricas com as potências de 5300 e 1320MW e que requerem a descarga anual de respectivamente 14 e 4 milhões de toneladas de carvão.

O local de Bir El Har onde se prevê a implantação de quatro Centrais Termoeléctricas situa-se na costa Atlântica (oeste) do território do reino de Marrocos, 20 km ao Sul da cidade de Safi.



Figura 1 – Marrocos. Localização do sítio de Bir El Har. Vista geral da solução para o porto.

O local de Cap Ghir onde se prevê a implantação de outra Central Termoeléctrica localiza-se aproximadamente dois quilómetros ao Norte do promontório com o mesmo nome, 40 km ao Norte da cidade de Agadir e aproximadamente 200 km ao sul de Bir El Har. Ou seja, no “coração” da costa Atlântica (oeste) do território do reino de Marrocos.



Figura 2 – Marrocos. Localização do sítio de Cap Ghir. Vista geral da solução para o porto.

Nesta comunicação serão descritos os Estudos Preliminar e Prévio desenvolvidos para o local de Bir El Har, por este corresponder à solução com maiores dimensões e apresentar várias variantes e fases de desenvolvimento. A nível de Anteprojecto será apresentado o de Cap Ghir, devido à semelhança com o anterior e por já estar concretizado.

Os Estudos de Bir El Har incluíram a análise de duas variantes, cada uma com duas fases de desenvolvimento como descrito de seguida:

- o Variante 1 – obras de captação e rejeição de água do circuito de arrefecimento;
- o Variante 2 – obras de captação e rejeição de água do circuito de arrefecimento e obras de recepção e de descarga de carvão.

Numa 1^ª fase as variantes deverão possibilitar a captação e rejeição de um caudal de 40000 m³/h e o abastecimento em carvão de 7 000 000 t/ano. Numa 2^ª fase cada variante deverá permitir a captação e descarga de um caudal de arrefecimento de 800 000 m³/h e o abastecimento em carvão de 14 000 000 t/ano.

Os Estudos e Projecto de Cap Ghir incluíram o estudo das obras de captação e rejeição de água do circuito de arrefecimento para um caudal de 200 000 m³/h e obras de recepção e de descarga de carvão para um abastecimento de 4 000 000 t/ano.



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

Bir El Har e Cap Ghir não são locais abrigados da agitação incidente, por se localizarem num troço de costa quase rectilíneo. Na Figura 1 e 2, relativas a Bir El Har e Cap Ghir respectivamente, pode-se mesmo notar uma zona de rebentação extensa e um andamento das batimétricas cada vez mais cerrado a caminho da costa no sector sul do local. Ou seja, em ambos os sectores a sul dos locais encontram-se maiores profundidades a menores distâncias da costa.

Os trabalhos preliminares desenvolvidos para ambos os locais incluíram:

- Execução de levantamentos hidrográficos, medição de correntes durante 1 mês através de equipamento ADCP, inspecção vídeo do fundo por mergulhadores e recolha de amostras de fundo, medição da temperatura da água e da salinidade através de CTD, a cargo da empresa portuguesa GEOSUB.
- Execução de levantamentos por sonar lateral e levantamentos por sísmica de refração, mediante subcontratação à empresa francesa FUGRO FRANCE.
- Aquisição de dados estatísticos sobre a ondulação em águas profundas, junto da OCEANOR – modelo WAM – e do Professor Oliveira Pires – modelo MARG3G – propagação para a costa do regime da ondulação ao largo através de um programa de refração-difracção – aproximação “mild slope” e caracterização dos processos litorais de transporte de areias.
- Caracterização da hidrodinâmica da região e avaliação do impacte térmico, efectuadas pelo LNEC através da aplicação de modelos tridimensionais de elementos finitos.

A par destes dados foram colocados à disposição pelo Cliente, vários documentos e dados menos recentes, entre os quais:

- Levantamento topográfico na escala 1/100;
- Levantamento hidrográfico;
- Medidas de parâmetros oceanográficos que compreendem a medição de correntes, da temperatura, da condutividade e da velocidade e direcção da corrente;
- Trabalhos de reconhecimento dos fundos, estudo geotécnico e medições da espessura da camada de sedimentos;

A partir dos estudos preliminares de análise, procedeu-se ao estudo e caracterização do clima de agitação no local e do regime sedimentar.

A caracterização do estado do mar ao largo, compreendeu a caracterização do regime anual médio, no Inverno e no Verão e a caracterização do regime de extremos. A análise do regime da agitação ao largo incluiu a escolha do número de condições representativas a propagar até à linha de costa com a ajuda do modelo REF/DIF e a determinação do regime anual de agitação para determinação do regime hidro-sedimentar e do regime de extremos na zona de implantação das estruturas marítimas, na proximidade da costa.

Na fase seguinte de desenvolvimento, Estudo Preliminar “ETP - Etudes Techniques Préliminaires”, foram avaliadas a rejeição do efluente térmico e a propagação da agitação na presença das estruturas marítimas.

Nas fases de Estudo Prévio e de Anteprojecto, correspondentes ao “APS – Avant Projet Sommaire” e ao “APD – Avant Projet Detaille” foi feita a definição e comparação de soluções, para as obras de protecção da captação e da rejeição da água do circuito de refrigeração e para a estrutura portuária para acostagem dos navios de descarga do carvão. De seguida, foi aprofundada a melhor solução, escolhida entre as soluções anteriormente propostas.

No âmbito das fases de concepção foram considerados os seguintes métodos e metodologias:

- Análise do “run-up” pelo SPM (1984);
- Análise do galgamento pela Formula de Bradbury e Allsop (1988);



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

- Pré-dimensionamento dos elementos artificiais do manto de protecção pelos métodos de Hudson (1974), SPM (1984) e Van der Meer (1988);
- Dimensionamento das estruturas de acostagem, análise da segurança ao deslizamento, ao derrubamento e tensões na fundação; análise pela formula de Goda (Goda 1974; Tanimoto et al. 1976; Takahashi, Tanimoto, et Shimosako 1994a); Método de Bishop Simplificado;
- Dimensionamento dos equipamentos de cais: de acordo com as “Recommendations of the committee for waterfront structures. EAU 1980”, da Society for Harbor Engineering and German Society for Soil Mechanics and Foundations Engineering e com o Anexo da PIANC (Maio 2004) “Guidelines for the Design of Fenders Systems: 2002”

2 CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS DE BIR EL HAR E DE CAP GHIR

2.1 Hidrografia e linha de costa

O local de Bir El Har não apresenta qualquer baía ou recanto significativo da costa, embora ao sul do local, se note a existência de uma inflexão da linha de costa dando lugar a uma baía. Esta inflexão é acompanhada por uma inflexão das batimétricas.

A ausência de um abrigo natural permite a previsão de condições de agitação que não serão semelhantes às existentes na maioria dos portos da costa atlântica de Marrocos situada ao norte da latitude das ilhas Canárias.

O declive do fundo na frente do local de Bir El Har é tão suave, que a batimétrica dos 20 metros se situa a 1000 metros da linha de costa.

No sítio de Cap Ghir e imediatamente a sul do cabo, a costa sofre uma inflexão para leste, criando uma baía que seria assaz propícia à implantação de um porto. Porém, condicionantes no ordenamento previsto para este troço da costa, obrigam a colocar a Central Térmica a norte do cabo, com todos os inconvenientes da exposição à agitação. Aí, a batimétrica dos 10 metros situa-se a uma distância média de 600 metros da costa e, a dos 20 metros, a cerca de 1100 metros, aumentando substancialmente o gradiente a partir daí.

2.2 Agitação

Todo o trecho de costa de Bir El Har se encontra exposto à agitação incidente. O regime dominante da agitação na costa atlântica de Marrocos em grande profundidade é do quadrante NW. A propagação nas pequenas profundidades perto da costa é acompanhada por uma mudança de direcção, aproximando-se da normal às batimétricas. Assim, a quase totalidade das ondas na batimétrica dos 20 metros, 99,8%, é proveniente das direcções do quadrante noroeste.

Em síntese na batimétrica dos 20 metros:

- Percentagem de excedência da altura de onda de 1 metro: 71,4%
- Percentagem de excedência do período de pico de 10 segundos: 51,5%

Para as ondas do quadrante Noroeste:

- Percentagem de excedência da altura significativa de 3 metros: 6,8%
- Percentagem de excedência da altura significativa de 4 metros: 2,0%
- Percentagem de excedência do período de pico de 10 segundos: 50,2%
- Percentagem de excedência do período de pico de 12 segundos: 30,1%
- Altura significativa majorante: 10,6 metros (T=100 anos)

Para as ondas do quadrante Sudoeste:

- Percentagem de ondas do quadrante sudoeste: 0,1%



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

- Percentagem de excedência da altura significativa de 0,8 metros: 0,1% (quase todas as ondas)
- Percentagem de excedência do período de pico de 10 segundos: 0,3%
- Percentagem de excedência do período de pico de 12 segundos: 30,1%
- Altura significativa majorante: 4,1 metros (T=100 anos)

Pertencendo Cap Ghir ao mesmo trecho de costa que Bir El Har, este lugar encontra-se igualmente exposto à agitação incidente. A propagação nas pequenas profundidades perto da costa é acompanhada por uma mudança de direcção, aproximando-se da normal às batimétricas. Assim, a quase totalidade das ondas na batimétrica dos 20 metros, 97,8%, é também proveniente das direcções do quadrante noroeste.

Em síntese na batimétrica dos 20 metros:

- Percentagem de excedência da altura de onda de 1 metro: 90,1%
- Percentagem de excedência do período de pico de 10 segundos: 51,0%

Para as ondas do quadrante Noroeste:

- Percentagem de excedência da altura significativa de 3 metros: 12,8%
- Percentagem de excedência da altura significativa de 4 metros: 3,4%
- Percentagem de excedência do período de pico de 10 segundos: 49,8%
- Percentagem de excedência do período de pico de 12 segundos: 29,2%
- Altura significativa majorante: 12,2 metros (T=100anos)

Para as ondas do quadrante Sudoeste:

- Percentagem de ondas do quadrante sudoeste: 2,2%
- Percentagem de excedência da altura significativa de 0,8 metros: 2,2% (quase todas as ondas)
- Percentagem de excedência do período de pico de 10 segundos: 1,2%
- Altura significativa majorante: 8,2 metros (T=100 anos)

Em ambos os locais, os fenómenos de refacção e difracção que provocam a alteração da direcção da onda na sua aproximação à costa conduzem igualmente à formação de zonas de concentração e zonas de dispersão da energia das ondas ao longo deste trecho da costa, com potencial influência no trânsito sedimentar.

2.3 Regime de correntes

As medidas efectuadas em Bir El Har na campanha de 15 de Abril a 30 de Maio de 2006, apresentaram valores da corrente com predominância no sector sudoeste, com uma frequência de 70% à superfície e 60% no fundo. A restante percentagem divide-se por rumos contrários o que corresponde a aproximadamente 15% no sentido nor-nordeste e 5% no sentido de nordeste à superfície e a 10% para cada um dos sentidos anteriormente referidos perto do fundo. Estes resultados fazem-nos querer que persiste uma influência da maré uma vez que os alísios são fracos, o que induz uma corrente em sentido contrário ao do movimento anticiclónico (correntes das Canárias reforçadas pelos alísios). As velocidades das correntes medidas durante o mesmo período variaram entre 0,0-59,0 cm/s (1,2 nós), com um valor médio de 23,4 cm/s (0,47 nós) em superfície, e oscilando entre 0,3 e 50,2 cm/s (1 nó), com uma média de 13,5 cm/s (0,27 nós) perto do fundo.

Em síntese pode-se concluir que existe uma predominância da corrente paralela à linha de costa, nas direcções do quadrante sudoeste, que chega a atingir a velocidade de 2 nós no sentido sul, se nos afastamos algumas milhas da costa, no mês de Novembro.



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

Para o sítio de Cap Ghir, as séries temporais de velocidades adquiridas durante a campanha de 2 de Junho a 8 de Julho de 2006, mostraram uma acção predominante da maré semi-diurna, com um modelo de correntes típicas, fluindo alternadamente em sentidos opostos, ora para sudoeste, ora para nordeste. Porém, a este modelo de correntes de maré, sobrepõe-se uma influência importante do vento sobre a circulação na coluna de água observada. Com o efeito, a corrente de deriva para sudoeste devida ao vento vence a corrente de maré enchente, quando da ocorrência de vento forte de norte.

À superfície, a extensão da variação da corrente é superior à observada em profundidade, enquanto se observam igualmente valores máximos da intensidade. À medida que se desce em profundidade, o valor médio da velocidade e da variabilidade associada diminuem. Assim, foram observados valores médios oscilando entre os 15 cm/s à superfície (2,5 nós) e os 7 cm/s em profundidade (13,5 nós) e valores máximos de 49 cm/s à superfície e 27,5 cm/s em profundidade. As variâncias respectivas foram de 76,5 horas cm^2/s^2 (sup=2,5 nós) e 15,29 cm^2/s^2 (prof=13,5 nós).

2.4 Regime do vento

Os ventos que influenciam a região são os do quadrante NE, com uma predominância dos rumos de nordeste e este-nordeste, ainda ocorre uma percentagem anual significativa de aproximadamente 10% dos rumos de este, norte e oeste. Como característica da costa ocidental de Marrocos, o vento apresenta em regra uma oscilação diária, onde as refregas se observam perto do fim da tarde e as calmas perto do fim da manhã, com intensidades da ordem dos 15 a 20 km/h. Esta situação não difere muito para ambos os sítios estudados.

2.5 Natureza do fundo marinho e do substrato

Do ponto de vista geológico o local de Bir El Har consiste num conjunto de camadas de grés dunares sobrepostas a camadas alternadas de argilas e calcários. A cobertura pelo sonar lateral evidência uma vasta zona de afloramentos rochosos ao centro da zona de estudo e uma zona de sub-afloramentos próxima da costa. O fundo rochoso é pouco organizado em bancos e não apresenta relevos particulares. A restante zona encontra-se coberta por terreno arenoso.

Uma carta de isopacas do recobrimento sedimentar foi traçada e apresenta várias fossas, onde a espessura dos sedimentos atinge 8 metros.

Em Cap Ghir, o fundo é constituído por rocha natural com uma morfologia muito irregular, com apenas pequenas bolsas de areia intersticial, preenchendo locais confinados por bancadas calcárias e gresosas. O levantamento da área a sonar lateral, confirmou os riscos de se proceder ao levantamento sísmico, pelo que a caracterização dos substratos se limitou à extrapolação do observado em terra.



3 DEFINIÇÃO DAS SOLUÇÕES DO ESTUDO PRÉVIO DE BIR EL HAR

3.1 Introdução

A concepção das soluções apoiou-se num vasto conjunto de dados, nomeadamente: as características dos diferentes tipos de navios carvoeiros; a caracterização do local sobre os pontos de vista hidrográfico, geofísico e da natureza dos fundos; a caracterização do regime da agitação, do vento, das correntes marítimas; e, ainda, a caracterização da variação da temperatura e da salinidade da água do mar.

3.2 Localização

No que corresponde à localização, a solução estava limitada à área dos levantamentos fornecidos pelo ONE, inicialmente impostos por constrangimentos de ordem diversa. Assim com base no levantamento hidrográfico, com uma extensão frontal de 2600 metros, implantaram-se as obras a conceber neste espaço confinado. Para cada uma das variantes foram apresentadas duas implantações. Uma das implantações correspondeu ao melhor aproveitamento da área do levantamento para o enquadramento geral de todas as obras. A segunda implantação proposta correspondeu a uma afinação no sentido de economizar as estruturas, ou seja, localizando as obras no limite sul do levantamento, zona correspondente a uma maior aproximação das batimétricas à linha de costa, permitindo atingir-se as mesmas profundidades com distâncias consideravelmente inferiores. Esta hipótese de implantação foi depois abandonada pelo Cliente por extravasar a zona concessionada.

3.3 Variante 1 – Obras de captação e rejeição da água de arrefecimento

As obras são compostas pelos seguintes elementos:

- Captações de água (em número de quatro) instaladas sobre plataformas que se prologam até à batimétrica dos 2 metros e colocadas no interior de uma mesma bacia.
- Bacia delimitada por um molhe exterior com o eixo sobre a batimétrica dos 10 metros a uma distância da linha de costa de aproximadamente 350 metros e por um esporão enraizado na costa com o objectivo de limitar a bacia a sul. O molhe de protecção exterior apresenta a cota de coroamento de 10,8 metros ZH.
- Esporão complementar enraizado no molhe exterior com o objectivo de redireccionar os sedimentos do trânsito litoral para o largo.
- Rejeições implantadas no sector sul da zona de implantação, sobre quatro rampas em betão perpendiculares à costa, que se prolongam até ao ZH. Cada rampa terá um comprimento de 50 metros e 20 metros de largura.

A posição relativa da captação e rejeições definiu-se com base na análise da hidrodinâmica costeira, que revela uma fraca predominância da corrente na direcção do sul.

Na Figura 3, apresenta-se a solução anteriormente descrita, onde se delimitam, a magenta, as obras correspondentes à 1^{afase} e, a azul, as da 2^o fase.

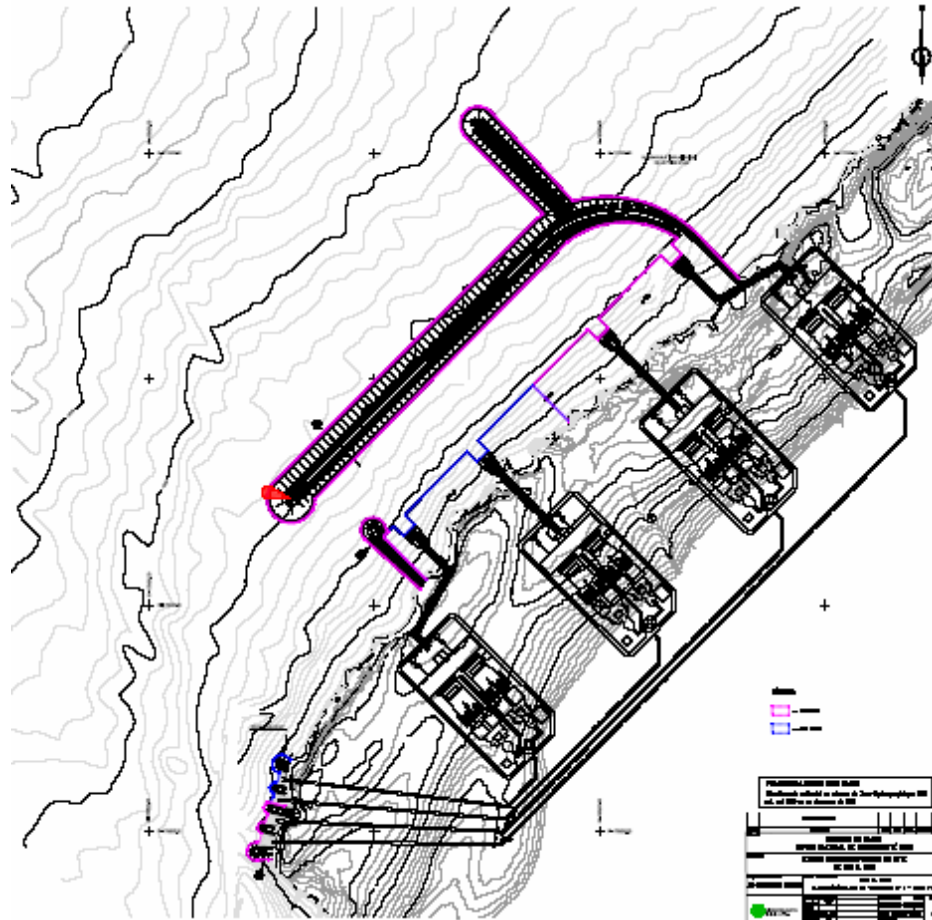


Figura 3 – Solução da Variante 1.

3.4 Variante 2 - obras de captação e rejeição de água de arrefecimento e obras de recepção e de descarga do combustível (carvão)

Os elementos que compõem esta solução são de seguida apresentados para as duas fases de desenvolvimento:

a) Terminais Carvoeiros

- Cais em caixotões e aterro, de 726 metros de comprimento e 57 metros de largura, implantado a 1100 metros da costa, sobre a batimétrica dos 23 metros, orientada na direcção 045°-225° (N). Este cais terá dois postos de acostagem.
- Quebra-mar de protecção em talude com inclinação 2:1, constituído por um manto de blocos cúbicos do tipo Antifer, coroados por uma superestrutura com um paramento deflector. No extremo do quebra-mar encontra-se a cabeça com um diâmetro de 160 metros.
- Molhe de ligação a terra em taludes com 1200 metros de comprimento e uma largura de 30 metros no coroamento, constituído por um manto exterior em blocos. Este molhe deverá permitir a instalação de três tapetes rolantes transportadores de carvão.
- Segundo terminal carvoeiro com 390/420 metros de comprimento e 90 metros de largura, para acolher dois postos de acostagem, um a este e outro a oeste, igualmente em caixotões e aterro implantado paralelamente ao terminal principal à distância de 200 metros, sobre a batimétrica dos 17 metros. Este terminal

albergará também dois postos de serviço com 60 metros de comprimento para a acostagem de rebocadores.

b) Captação e rejeição da água de arrefecimento

- Captações de água (em número de quatro) instaladas sobre plataformas que se prologam até à batimétrica dos 2 metros e colocadas no interior de uma mesma bacia.
- Bacia delimitada por um molhe exterior com 1000 metros de comprimento, com o eixo sobre a batimétrica dos 10 metros a uma distância da linha de costa de aproximadamente 350 metros. O molhe de protecção apresenta a cota de coroamento de 8,0 metros ZH.
- Rejeições implantadas no sector sul da zona de implantação, ou eventualmente a norte, sobre quatro rampas em betão perpendiculares à costa, que se prolongam até à cota do ZH. Cada rampa terá um comprimento de 50 metros e 20 metros de largura.

O conjunto de estruturas marítimas foi concebido para garantir a descarga de carvão a partir de navios carvoeiros até 150 000 DWT recorrendo a seis pórticos (dois por poste) instalados no cais e a dois tapetes rolantes transportadores de carvão, para assegurar o transporte do carvão desde o molhe de ligação a terra até os parques de armazenagem em terra.

Na Figura 4, apresenta-se a solução anteriormente descrita, onde se delimita, a magenta, as obras correspondentes à 1^a fase e, a azul, as da 2^o fase.

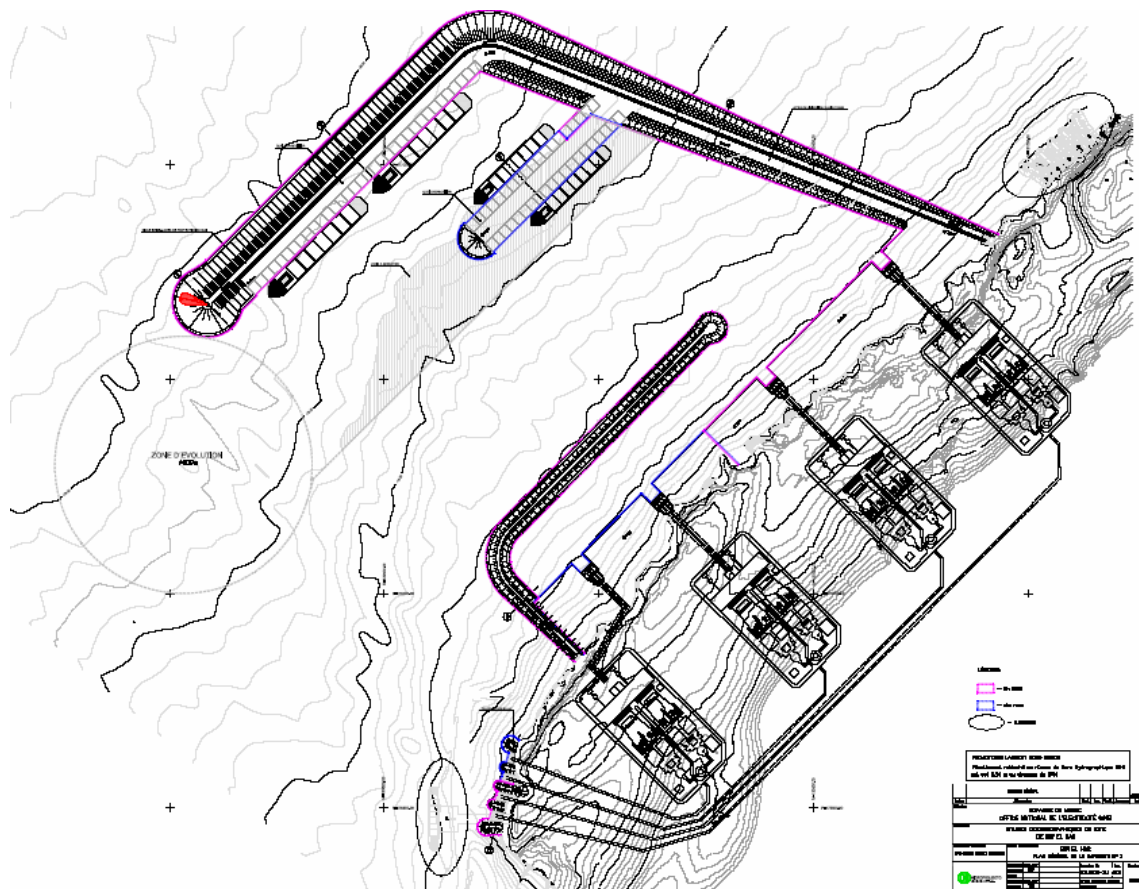


Figura 4 – Solução da Variante 2.



4 JUSTIFICAÇÃO DAS SOLUÇÕES DO ESTUDO PRÉVIO DE BIR EL HAR

4.1 Variante 1 – Obras de captação e rejeição da água de arrefecimento

O dimensionamento das obras desta variante foi definido em função dos caudais fixados pelo Caderno de Encargos, ou seja, 400 000 e 800 000 m³/h, respectivamente para a primeira e segunda fases.

As condições exigidas para as captações e rejeições da água de arrefecimento são:

- Assegurar o funcionamento de quatro captações até ao caudal total da ordem dos 225 m³/s em regime permanente, em condições de tranquilidade do plano de água;
- Evitar que ocorra circuito térmico entre a captação e rejeição;
- Garantir que as rejeições não provocam um aumento de temperatura no meio receptor superior ao valor estipulado pelas normas europeias.

Na ausência de estruturas portuárias vizinhas, a solução para a protecção das locais das captações deve prevenir a protecção do ataque da agitação, evitar o assoreamento e garantir a permanência e uniformidade do escoamento.

Para prevenir o assoreamento tomou-se para inspiração a concepção de outras estruturas portuárias existentes em trechos arenosos da costa Marroquina, tendo igualmente em consideração que o fenómeno de assoreamento em Bir El Har não é muito significativo.

Na entrada para as bombas, é necessário garantir uma profundidade mínima de quatro (4) metros, através de dragagem ou demolição, de forma a permitir a captação de um caudal máximo por cada captação de aproximadamente 55 m³/s. A abertura da bacia de captação deve ser suficientemente estreita e estar bastante afastada das bombas, de forma a garantir a tranquilidade necessária do plano de água na sua vizinhança.

As condições anteriormente referidas levaram à implantação da embocadura da bacia em profundidades médias de 8 metros ZH com uma largura média de 130 metros.

Para fazer face às ondas de altura significativa de 10,6 metros (T=100 anos), o quebramar de protecção deverá ser composto por um manto exterior de elementos artificiais do tipo Antifer entre 100 kN a 600 kN e apresentar um talude de inclinação 2:1 ou 3:2, por aplicação dos métodos de Hudson e de Van der Meer.

As estruturas de rejeição correspondem a rampas em número de quatro inseridas na linha de costa protegidas por molhes que se estendem para além da linha de preia-mar, tirando-se assim proveito da dispersão turbulenta na zona de rebentação das ondas, para garantir a máxima dispersão da água quente. As estruturas de rejeição foram implantadas no sector sul da zona de intervenção, localização determinada pelo regime de correntes marítimas, o qual apresenta uma predominância para sul, conforme estudo em modelo matemático conduzido pelo LNEC.

4.2 Variante 2 - obras de captação e rejeição de água de arrefecimento e obras de recepção e de descarga do combustível (carvão)

Ao contrário da exportação de granéis sólidos, a importação (operação de descarga) do mesmo tipo de mercadoria, neste caso o carvão, apenas se pode fazer através de um cais suficientemente abrigado da agitação incidente. Um terminal carvoeiro para a descarga de carvão deve garantir um valor geral da altura da onda ao cais de 0,8 metros, com um limite máximo de 1,0 metros. A concepção das estruturas vai ao encontro da operação de descarga de carvão, prevendo para a mesma um cais distanciado de terra, bem protegido da agitação incidente e permitindo o transporte do carvão através de passadeiras rolantes, ao abrigo do vento, até à zona de armazenagem.

Com base num estudo pormenorizado dos tipos de navios carvoeiros, definiram-se os seguintes navios de projecto:



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

Quadro 1 – Navios de Projecto

Características	Navio I	Navio II
Porte (Toneladas DWT)	150 000	100 000
Comprimento fora-a-fora (m)	315	255
Largura máxima – boca (m)	46	38
Calado do navio carregado de carvão (m)	16,5	15,2

No estabelecimento dos navios de projecto, será sempre necessário considerar a flutuação do mercado de frete de transporte, ou seja, a disponibilidade de navios para transportar carvão e a sua localização geográfica em relação ao país exportador.

Tendo em conta as grandes necessidades de carvão da central de Bir El Har, será necessário dispor de dois postos de acostagem para a solução correspondente à 1^a fase e de três postos para a 2^a fase, correspondente à solução global. O cais principal deverá apresentar no mínimo 600 metros de comprimento e uma profundidade que garanta a acostagem de um navio com um calado de 18 metros. Numa segunda fase, propõe-se um cais paralelo do lado interior, permitindo a acostagem de navios com o porte de aproximadamente 80 000 DWT.

Admitindo as necessidades anuais de 14 milhões de toneladas de carvão, será necessária uma importação média de 270 000 toneladas por semana, o que equivale a dois navios de grande porte (140 000 DWT), ou de três de médio porte (90 000 DWT), ou mesmo quatro pequenos (70 000 DWT).

Se considerarmos um valor médio de cinco dias para um navio de 150 000 DWT e de três dias para um de 90 000 DWT, poder-se-á dizer que os três postes de acostagem terão uma importante taxa de ocupação.

Para ajudar nas manobras dos navios de porte superior a 120 000 DWT, será necessário dispor de, no mínimo, quatro rebocadores bem fortes (entre 2 500 e 3 000 HP), que deverão residir no novo terminal carvoeiro de Bir El Har. Assim, será necessário prever um posto de acostagem para os rebocadores em tempo de repouso.

Com base nas características dos navios de projecto, a profundidade no cais deverá permitir a acostagem em permanência de navios com calado até 18 metros e de comprimento até 315 metros. A protecção ao cais deverá assegurar que a altura da onda não seja superior a 1,0 metro durante a operação de descarga do carvão, fazendo face a ondas de 10,6 metros. Para evitar o ataque dos equipamentos pela agitação incidente, o quebramar apresenta uma superestrutura com muro cortina de face exterior deflectora.

Ao valor de 18 metros de calado adicionaram-se 1,5 metros de reserva para o pé de piloto, valor conservativo, tendo em conta que o valor da amplitude da onda será sempre inferior a 1,0 metro e que o nível do mar estará sempre acima do Zero Hidrográfico.

A orientação do cais e do quebramar de protecção deverá prevenir a agitação do quadrante noroeste, tendo em consideração que esta é a única direcção praticamente existente (99,8%). Uma orientação paralela à costa no local de estudo, satisfaz este critério. Esta orientação responde igualmente às necessidades da manobra dos navios, principalmente na chegada. A exposição do cais à agitação do quadrante sudoeste pode ser desprezada, tendo em conta a frequência de ocorrência de agitação deste quadrante.

Assim, a diminuição da operacionalidade está associada à ocorrência de ondas do quadrante noroeste de altura significativa superior a 3 metros, ou seja, as que são susceptíveis de incidir no cais com altura superior a 0,8 metros. A frequência de ocorrência destas ondas é de 6,8%, restando ainda 47 semanas de operação por ano.

Para fazer face à onda centenária de 10,6 metros, o manto do talude do quebramar de protecção deverá ser composto por elementos artificiais de betão do tipo Antifer de pesos 600kN e 700kN segundo uma inclinação de 2:1 ou 2:3.

Para permitir as operações de descarga e carga no cais interior (a ser construído na 2^a fase), deverá apresentar uma largura que permita a operação de pórticos nos dois bordos da



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

plataforma de cais. O que conduz a uma largura do cais interior de aproximadamente 90 metros. A descarga do carvão será feita pelo bordo leste, o mais abrigado, prevendo-se a carga ("exportação") que terá lugar no bordo oeste.

A natureza do fundo e da geotecnia do subsolo recomenda a execução de obras de gravidade para a construção dos cais, nomeadamente a utilização de caixotões.

O molhe de ligação a terra corresponderá a um molhe de taludes com protecção exterior com recurso a elementos pré-fabricados do tipo Antifer de 600 kN no extremo mais exposto (maiores profundidades) e de blocos de enrocamento de 60 kN no extremo mais abrigado (menores profundidades) e apresentará uma largura suficiente para suportar dois tapetes rolantes transportadores de carvão ao abrigo da agitação. Este molhe permitirá igualmente garantir abrigo às captações de água.

A orientação do referido molhe de ligação a terra estende-se normalmente a terra de forma a deixar lugar para a implantação de quatro centrais independentes, localizadas o mais próximo da captação de água correspondente. Esta disposição permite que o transporte de carvão no sentido do parque de armazenagem se possa fazer sem atravessar as centrais.

Em terra será necessário criar uma plataforma de reserva para a armazenagem de aproximadamente 5% de carvão do consumo anual da central. Esta plataforma deverá apresentar uma área de aproximadamente 10 ha, admitindo-se uma altura média das pilhas de armazenagem de 8 metros e espaço para a circulação do carvão e respectivo equipamento de transferência.

Para as captações e rejeições da variante 2 deverão ser cumpridas as mesmas condições exigidas para a variante 1. Assim os critérios de escolha e de definição destas obras serão os mesmos da variante 1.

5 PLANEAMENTO E ESTIMATIVA DE CUSTOS

No Quadro 2 apresenta-se uma síntese da duração de cada solução e seu custo respectivo. Correspondendo os valores da 2^a fase às obras necessárias após a 1^a fase construída.

Quadro 2 – Previsão do planeamento e estimativa de custos.

Tipo de Solução e Fase	Planeamento	Estimativa de custos	
Variante 1 – 1 ^a fase	18 meses	5,40x10 ⁸ Dirhams	€ 4,91x10 ⁷
Variante 1 – 2 ^a fase	8 meses	2,00x10 ⁸ Dirhams	€ 1,82x10 ⁷
Variante 2 – 1 ^a fase	36 meses	2,60x10 ⁹ Dirhams	€ 2,36x10 ⁸
Variante 2 – 2 ^a fase	20 meses	1,00x10 ⁹ Dirhams	€ 9,09x10 ⁷

6 SOLUÇÃO DE CAP GHIR A NÍVEL DE ANTEPROJECTO

6.1 Descrição geral

No presente capítulo é apresentada a solução escolhida para o local de Cap Ghir a nível de Anteprojecto, sendo a síntese do dimensionamento acompanhada dos perfis e desenhos de pormenor.

Passa-se de seguida a descrever a solução escolhida e dimensionada:

- Cais em caixotões e aterro, com 350 metros de comprimento e 57 metros de largura, implantado a 1000 metros da linha de costa, sobre a batimétrica dos 18 metros, orientado segundo a direcção 023°-203° (N).
- Um quebramar de taludes com a inclinação de 2:1 de protecção ao cais, com manto exterior constituído por elementos artificiais do tipo antifer, submanto em enrocamento e com superestrutura e muro cortina deflector. O quebramar termina com uma cabeça igualmente em talude de inclinação 2:1.

- Molhe de taludes perpendicular à costa para acesso do cais a terra com 1000 metros de comprimento, constituído por um manto de elementos artificiais do tipo antifer e submanto em enrocamento.
- Cais de serviço para acostagem dos rebocadores, com 60 metros de comprimento, implantado paralelamente ao cais principal e a 200 metros deste.
- Captação de água implantada 850 metros a sul do enraizamento do molhe de ligação a terra e protegida por um molhe que enraíza 50 metros mais ao sul, apresentando a forma de uma foice, localizando-se a cabeça a 400 metros da costa. Na bacia confinada, será aberto um canal para a admissão da água.
- A rejeição será feita através de duas rampas costeiras em betão com 20 metros de largura, que se prolongam até ao ZH, o que conduz a uma distância de 220 metros da costa, implantadas, uma imediatamente a norte do molhe de ligação do cais a terra e a outra aproximadamente 350 metros a norte da primeira. Estas localizações foram ensaiadas e definidas com base nos resultados finais das simulações das respectivas plumas térmicas, de forma a garantir a ausência de curto-circuito e impacte térmico. Este último foi impossível de garantir, o que não se considerou limitativo para a criação da central, tendo em conta a necessidade do empreendimento e o facto de mesmo em situação de referência a legislação considerada (legislação europeia) não ser cumprida.

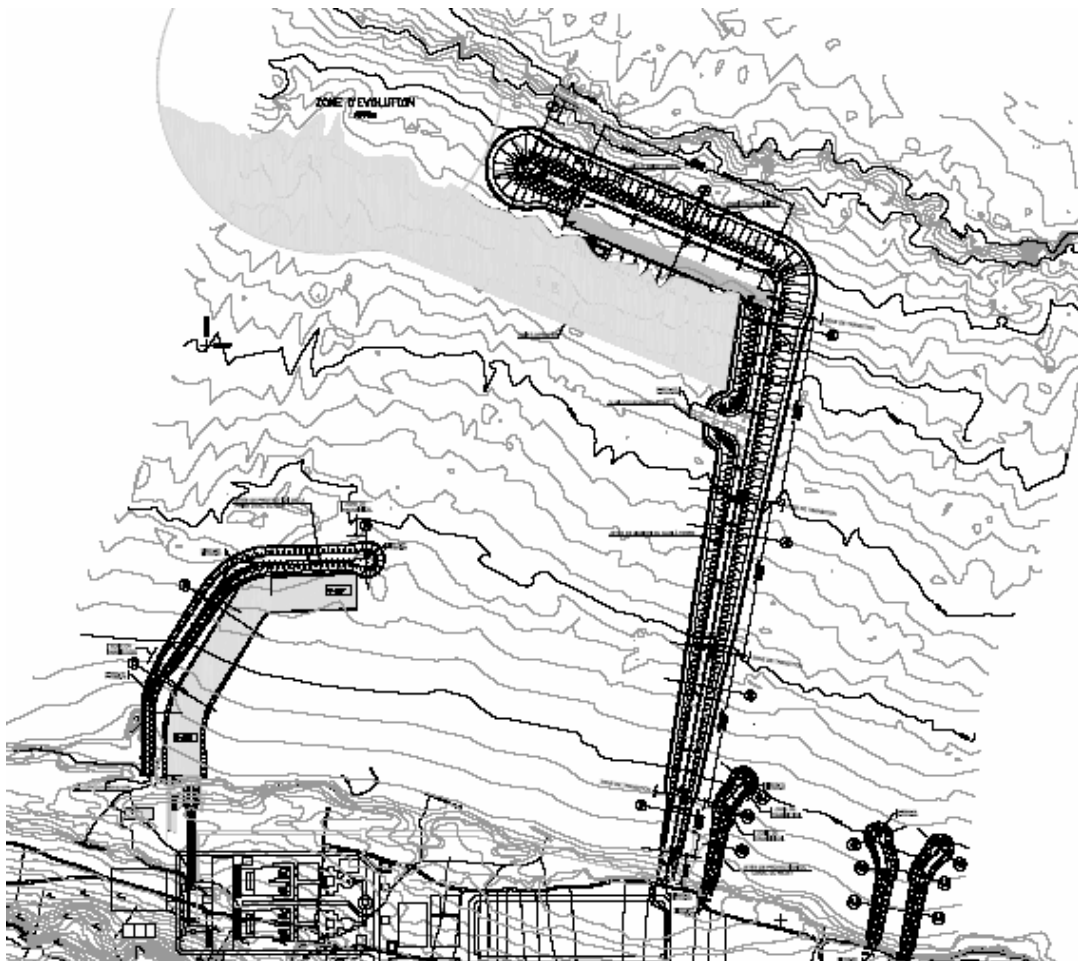


Figura 5 – Solução de Cap Ghir desenvolvida a nível de Anteprojecto



6.2 Cais de descarga do carvão e talude de protecção exterior

As especificações consideradas foram as seguintes, tendo-se adoptado um perfil composto por zona acostável em caixotões e protecção exterior em talude. Para o dimensionamento foram adoptados os princípios do Manual de Engenharia Costeira Americano (CEM, 2001) :

Cais em caixotões :

- Cais à cota, $C_c = +7,0$ metros (MPMAV + 3,1 metros)
- Altura total do cais, $A_t = 23,5$ metros (C_c – profundidade mínima)
- Largura da plataforma de cais : 57 metros
- Comprimento, $L = 330$ metros (comprimento do navio + 2 x 37,5 m) ou 16 caixotões de 22 metros cada um, preenchidos com resíduos de pedra com peso volúmico igual ou superior a 18 kN/m^3 .

Estas dimensões asseguram a instalação do equipamento necessário à descarga (gruas, tapetes rolantes e equipamento complementar) capaz de trabalhar com navios de largura de 40 metros.

Quebramar de protecção exterior:

- Coroamento teórico, $C_d = 17,0$ m ($H_s = 12,2$ m e $T = 14$ s) (MPMAV + « Run-up max. »)
- Nível do muro cortina, $N_{cm} = 17,15$ m
- Nível de transição (infraestrutura-superestrutura), $C_m = 5,0$ m (MPMAV + 2,1 m)
- Peso dos blocos artificiais do manto, $P_b = 600$ kN (60 tf)
- Peso dos blocos de enrocamento do submanto: $P_s = 30$ à 60 kN (3 à 6 tf)
- Tronco do quebramar, inclinação do talude, $C_i = 2:1$
- Cabeça, inclinação do talude, $C_i = 2:1$; Peso, $P_c = 800$ kN (80 tf), $T = 50$ anos;
- Cabeça, inclinação do talude, $C_i = 2:1$; Peso, $P_c = 950$ kN (95 tf), $T = 100$ anos.

Para o dimensionamento do cais em caixotões foi feita a verificação da estabilidade do muro cais ao deslizamento e ao derrubamento e determinada a excentricidade resultante. Foram igualmente verificadas as tensões ao nível da fundação.

A verificação da segurança ao galgamento foi feita com apoio no SPM (1984) e a partir da análise da Formula de Bradbury e Allsop (1988);

O peso dos blocos foi apurado com base nas formulações de Hudson (1974), SPM (1984) e Van der Meer (1988) para as ondas de projecto de período de retorno 50 e 100 anos.

Foi igualmente efectuada a verificação da estabilidade do talude exterior à acção do sismo adoptando-se o método de Bishop modificado.

Para o cais de rebocadores, cais vertical apenas composto por caixotões, o dimensionamento foi efectuado com base na análise pela fórmula de Goda (1974) e Tanimoto et al. (1976).

O perfil dimensionado encontra-se representado na Figura 6.

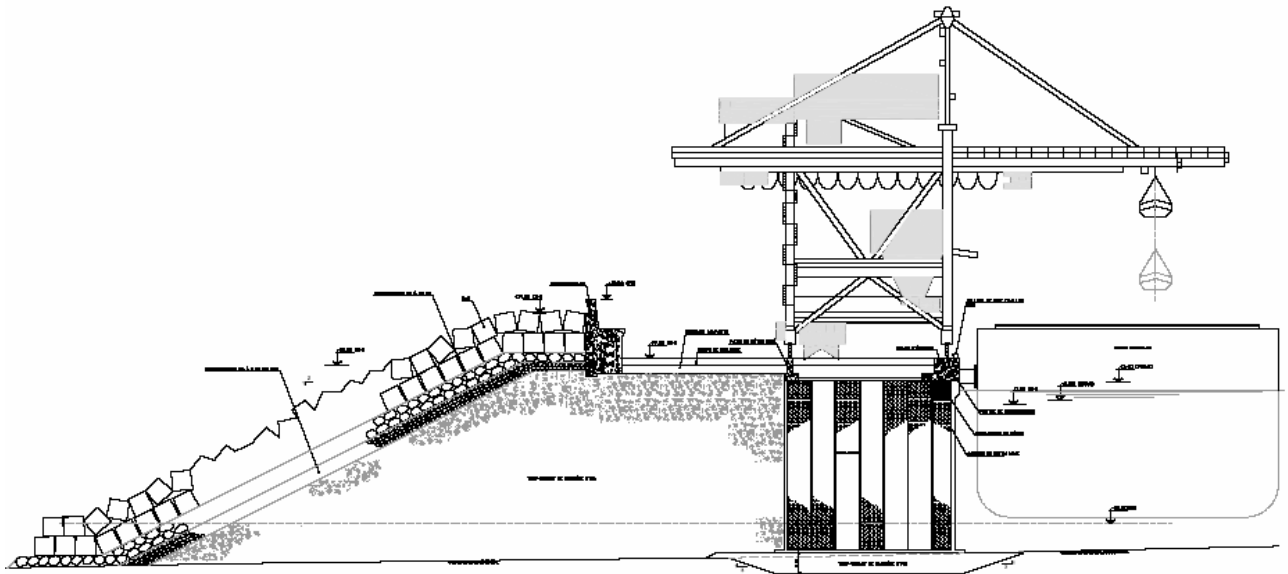


Figura 6 – Perfil do cais e talude de protecção exterior

6.3 Molhe de ligação a terra

O molhe de ligação a terra em taludes com submanto de enrocamento e manto em blocos artificiais e de enrocamento apresenta as seguintes características e foi dimensionado com base nos manuais de referência CEM (2001) e SPM (1984):

- Comprimento : 1000 metros
- Coroamento da plataforma: 7,0 metros
- Largura da plataforma : 17 metros
- Coroamento do talude de protecção : de 15,15 a 11,50 metros
- Nível do muro cortina : de 17,15 a 13,5 metros

Na Figura 7 encontra-se representado o perfil do molhe em taludes que faz a ligação do cais a terra.

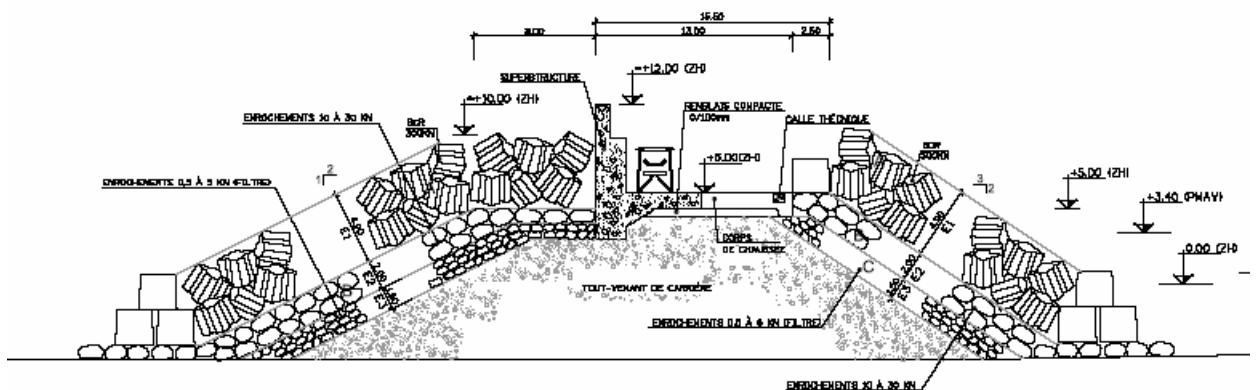


Figura 7 – Perfil do molhe de ligação a terra em estrutura de taludes

6.4 Estruturas de captação e rejeição de água para o sistema de refrigeração

Os molhes de protecção das estruturas de captação e rejeição de perfil de taludes, com submanto de enrocamento e manto em blocos artificiais e de enrocamento apresentam as seguintes características e foram dimensionados com base nos manuais de referência CEM (2001) e SPM (1984):

Captação

- Número de bombas : 4 unidades
- Caudal de cada bomba : 12 metros cúbicos por segundo
- Profundidade do canal : -2,5 metros (ZH)
- Profundidade na zona de captação : -4,0 metros (ZH)
- Comprimento do canal : 500 metros
- Largura do canal : 60 metros
- Distância da captação à linha de costa : 320 metros
- Número de condutas : 4 que se convertem em 2
- Diâmetro das condutas : entre 2,5 e 3,0 m que se convertem em 5,0 m
- Coroamento do molhe de protecção : 8,8 a 8,5 metros (ZH)

Rejeição

- Nível a que é efectuada a descarga: 0,0 metros (ZH)
- Distância à linha de costa : 100 metros
- Comprimento dos molhes de protecção : 200 metros
- Nível do coroamento dos molhes de protecção : 8,8 a 8,5 metros (ZH)

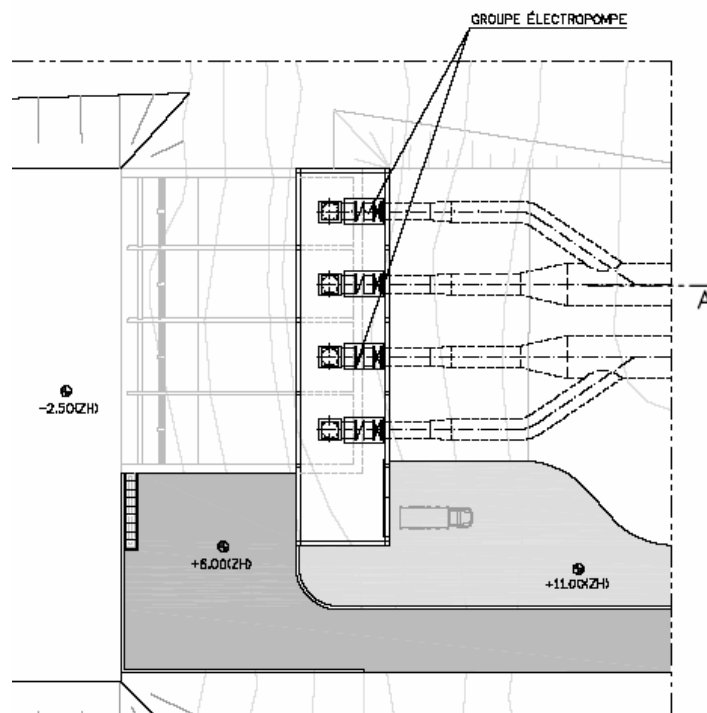


Figura 8 – Planta da captação de água para o sistema de refrigeração

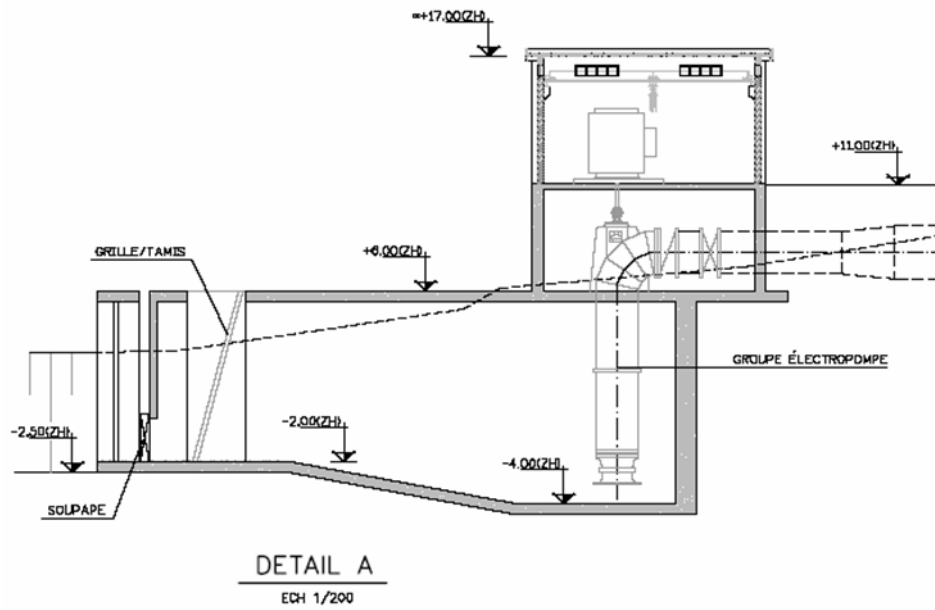


Figura 9 – Corte na zona da captação de água para o sistema de refrigeração

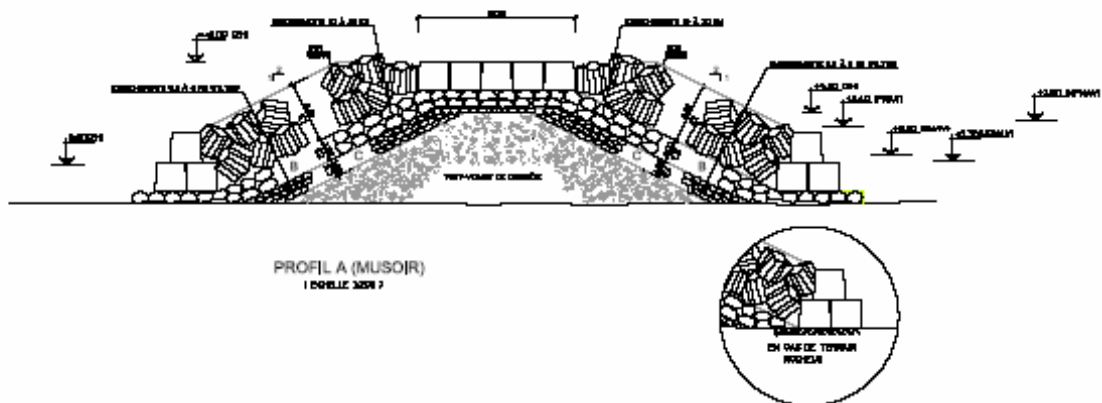


Figura 10 – Molhe de protecção da estrutura de captação

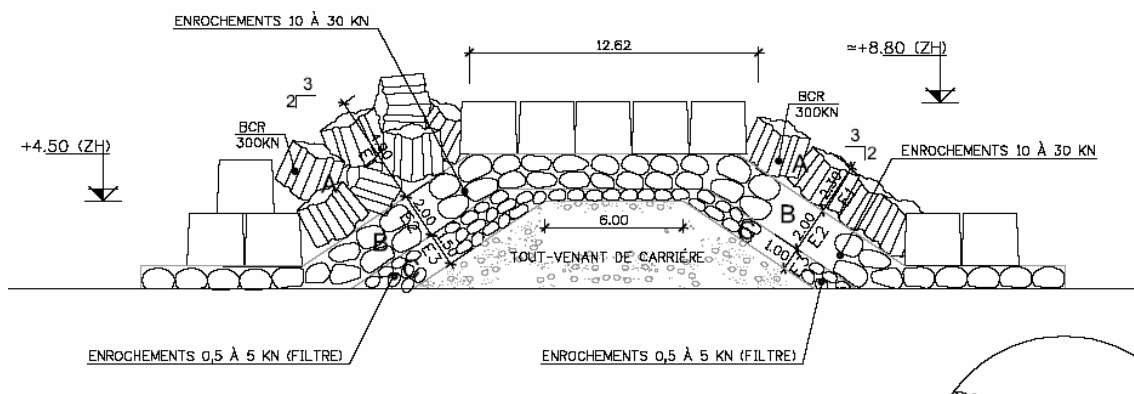


Figura 11 – Corte de um dos molhes de protecção dos canais de rejeição



6.5 Equipamento de cais

Para equipamento de cais foram definidos os seguintes elementos:

- Treze (13) cabeços de 100 toneladas;
- Dois (2) gatos de escape para largadas de emergência e quatro (4) cabrestantes;
- Quatro (4) escadas em GRP (glass reinforced plastic)
- Vinte e três (23) defensas do tipo V sistema da Trellex Fender MV 1450x1000

O dimensionamento do equipamento de cais, nomeadamente o peso dos cabeços e o tipo de defensas foi efectuado com base nas “Recommendations of the committee for waterfront structures. EAU 1980”, da Society for Harbor Engineering and German Society for Soil Mechanics and Foundations Engineering e no Anexo da revista da PIANC de Maio de 2004, “Guidelines for the Design of Fenders Systems: 2002”, respectivamente.

6.6 Planeamento e estimativa de custos

Prevê-se que a obra tenha uma duração de 36 meses, tendo em conta as seguintes considerações:

- Adopta-se para os primeiros cinco meses, que serão fundamentais, os ensaios em modelo físico. Nestes meses serão igualmente efectuados os trabalhos de instalação do estaleiro, transporte de material, instalação da central de betão e preparação da pedraira;
- A construção do molhe de ligação a terra será feita a partir de terra;
- Para construção do cais e do talude de protecção serão necessários meios marítimos para a colocação dos vários elementos enrocamento e blocos artificiais no tronco e cabeça do talude de protecção;
- As dragagens e demolições do fundo serão efectuadas, caso os equipamentos para estes trabalhos o exijam, ao abrigo da agitação incidente, ou seja após a construção do quebramar de protecção;
- Supõe-se que os trabalhos sejam iniciados o mais tardar no mês de Outubro. Prevendo-se uma paragem dos trabalhos marítimos durante o segundo período de inverno, meses de Janeiro a Março (meses 16 a 18);
- Durante o terceiro período de inverno – meses 28 a 30 – já será possível trabalhar no mar ao abrigo do quebramar de protecção exterior.

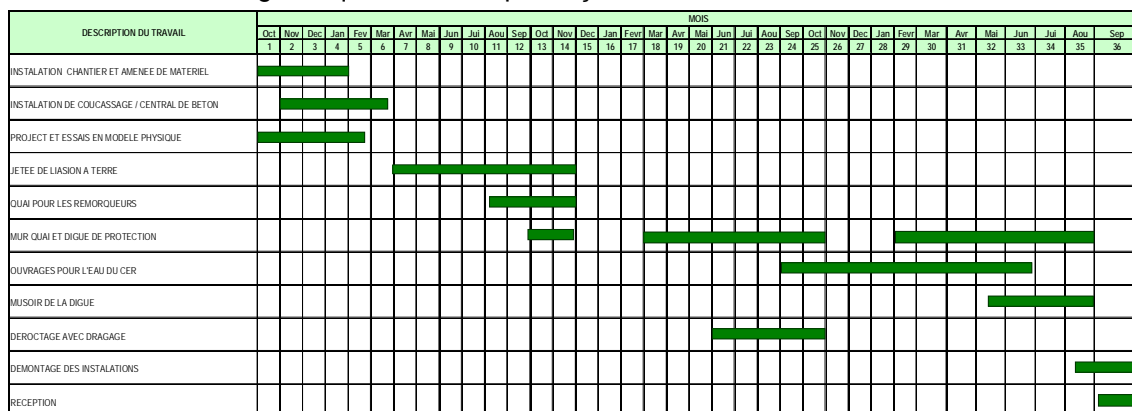


Figura 12 – Programa geral de previsão de execução dos trabalhos



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

O custo total das obras foi quantificado em $1,8 \times 10^9$ Dirhams:

Quadro 3 – Estimativa do custo total das obras do Anteprojecto de Cap Ghir

Descrição	Valores em Dirhams	Valores em EUROS
1 – Instalação do estaleiro	$1,70 \times 10^8$	$1,55 \times 10^7$
2 – Trabalhos preparatórios	$5,40 \times 10^5$	$4,91 \times 10^4$
3 – Dragagens e Demolições	$1,60 \times 10^8$	$1,45 \times 10^7$
4 – Muro cais e quebramar de protecção	$6,70 \times 10^8$	$6,09 \times 10^7$
5 – Molhe de ligação a terra	$3,60 \times 10^8$	$3,27 \times 10^7$
6 – Cais de rebocadores	$2,10 \times 10^7$	$1,91 \times 10^6$
7 – Obras de captação e rejeição	$3,00 \times 10^8$	$2,73 \times 10^7$
8 – Manutenção num horizonte de 25 anos	$1,20 \times 10^8$	$1,09 \times 10^7$
Valor Total	$1,80 \times 10^9$	$1,64 \times 10^8$

REFERÊNCIAS

Bradbury, A. P., e Allsop, N. W. (1988). "Hydraulic Effects of Breakwater Crown Walls",. Proceedings of the Breakwaters '88 Conference, Institution of Civil Engineers, Thomas Telford Publishing, London, UK, pp 385-396.

Coastal Engineering Manual, CEM, Engineering and Design (2001). Department of the Army, USA Army Corps of Engineers, Part VI-Chapter 5 – Fundamentals of Design.

Goda, Y. (1974). "New Wave Pressure Formulae for Composite Breakwaters", Proceedings of the 14th International Coastal Engineering Conference, Vol 3, pp 1702-1720.

Hudson, R. Y. (editor). (1974). "Concrete Armor Units for Protection Against Wave Attack",. Miscellaneous Paper H-74-2, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

PIANC (2004) "Guidelines for the Design of Fenders Systems: 2002", anexo à revista de Maio.

Shore Protection Manual. (1984). 4th ed., U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.

Society for Harbor Engineering and German Society for Soil Mechanics and Foundations Engineering (1980) "Recommendations of the committee for waterfront structures. EAU 1980"

Tanimoto, K., Moto, K., Ishizuka, S., e Goda Y. (1976). "An Investigation on Design Wave Force Formulae of Composite-Type Breakwaters", Proceedings of the 23rd Japanese Conference on Coastal Engineering, pp 11-16 (in Japanese).

Van der Meer, J. W. (1988). "Rock Slopes and Gravel Beaches under Wave Attack". Dissertação de Doutoramento submetida à Universidade de Tecnologia de Delft (Comunicação No. 396). Holanda.