

APROFUNDAMENTO DA ESTRUTURA ACOSTÁVEL QUE SUPORTA O ELEVADOR DE BARCOS DA BASE NAVAL DE MERS-EL-KEBIR

João Vasco,
(OFM, S.A.)
jv@ofm.pt

Beja Martins
(OFM, S.A.)
abm@ofm.pt

Daniel Silva,
(OFM, S.A.)
djs@ofm.pt

Paulo Ramos
(Teixeira Duarte)
pmr@teixeiraduarte.pt

RESUMO

Os estaleiros navais da base militar de Mers El Kebir dispõem de sistema de elevação de embarcações (*synchrolift*) que se encontra inoperacional. O muro-cais adjacente à plataforma elevatória encontra-se fundado à cota -10 m (ZH) e apresenta indícios de instabilidade.

A entidade que detém a concessão do estaleiro naval dessa base militar, a ECRN – *Etablissement de Construction et de Réparation Navales*, tomou a decisão de empreender a ampliação do *synchrolift*, dotando-o de capacidade de elevação para navios de 4.500 t de porte bruto e do reforço das áreas de transferência e de reparação das embarcações em terra.

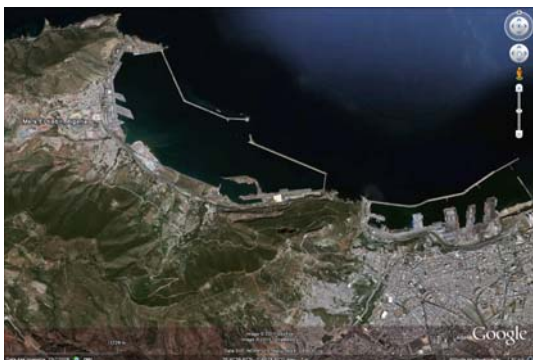
A comunicação aborda o projecto e a metodologia preconizados para a ampliação do *synchrolift*, com particular destaque para as estruturas de estabilização e reforço do muro-cais, permitindo o aprofundamento da sua fundação em 6 m, para a cota de serviço de -16 m (ZH) compatível com as características das embarcações e dos berços de estabilização das mesmas sobre a plataforma de elevação.

Embora a comunicação se foque particularmente na componente relacionada com a obra marítima, realçando a solução estrutural inovadora que foi desenvolvida para a estabilização e aprofundamento do muro-cais, o projecto global abarca o sistema elevação e de transferência, bem como os equipamentos complementares envolvidos nas operações de reparação de embarcações em terra.

1. INTRODUÇÃO

A base naval de Mers El Kebir localiza-se no golfo de Oran, imediatamente a poente do porto da cidade de Oran, a segunda cidade argelina e sede da província com o mesmo nome, situada a cerca de 150 km da fronteira da Argélia com Marrocos.

Constituindo o principal arsenal naval do país, a base de Mers El Kebir dispõe de sector de reparação naval, ocupando uma bacia interior de cerca de 16 ha, localizado na zona sul da bacia portuária mais vasta de 340 ha de área líquida, protegida por dois molhes, um enraizado a Oeste e outro a Este com comprimentos respectivos de 1700 m e 1900 m.



Vista de satélite *Google Earth* com a cidade de Oran e o seu porto, à direita, e a Base Naval de Mers El Kebir à esquerda



Vista de satélite *Google Earth* do sector de reparação naval da base de Mers El Kebir, com localização do *synchrolift*.

Esse sector dispõe de um sistema de transferência de embarcações entre o meio líquido e o terraplano portuário, onde se processam as reparações de embarcações em terra. É composto por plataforma elevatória que, em posição submersa, permite o estacionamento de navios sobre ela em berços próprios, elevando-os à superfície do terraplano através do accionamento de guinchos e permitindo a translação dos mesmos através de mecanismo composto por carros de transferência que se deslocam sobre carris. Usualmente designado por elevador de embarcações, o mecanismo é nomeado em terminologia anglo-saxónica por *synchrolift*.

Com o envolvimento da entidade promotora, os autores foram intervenientes na concepção das soluções de projecto da componente de construção civil e do sistema electromecânico de transferência de embarcações para terra, bem como no planeamento e estabelecimento dos processos construtivos mais adequados às valências do agrupamento encarregue da construção.

O projecto foi integralmente desenvolvido pelo multidisciplinar departamento de estudos da Teixeira Duarte – Engenharia e Construções, S.A. O agrupamento incumbido da execução da empreitada inclui a Teixeira Duarte e o GMP – Grupo Marítimo Português, composto pelas empresas OFM - Obras Públicas, Ferroviárias e Marítimas, S.A., Irmãos Cavaco, S.A. e SETH – Sociedade Portuguesa de Trabalhos Hidráulicos, S.A.

2. SITUAÇÃO ACTUAL

A estrutura marítima do *synchrolift* desenvolve-se paralelamente a um cais de blocos maciços de betão simples, apoiando do lado de terra na superestrutura do mesmo, e do lado de mar noutra estrutura, designada de estrutura de reacção, composta por viga de encabeçamento de estacas cilíndricas cravadas no fundo da bacia portuária.

O cais de blocos apresenta cotas de fundação e coroamento de -10 m (ZH) e + 2,3 m (ZH), respectivamente, e indicia problemas de instabilidade decorrentes de deficientes condições de fundação.

No decurso de intervenções de reparação de infra-estruturas terrestres, o agrupamento GMP foi solicitado a intervir no sector do cais imediatamente a poente da plataforma elevatória, numa extensão de 60 m, face à progressiva inclinação que o paramento acostável vinha apresentando no sentido do mar, por deterioração do prisma de fundação, que indicava a iminente rotura da estrutura.

A intervenção levada a cabo para a estabilização do cais consistiu na realização de micro-estacas através da infra-estrutura de blocos de betão, no sentido de aliviar as acções induzidas na fundação pelo peso próprio e pelo impulso activo do aterro no tardoz, conjugada com a

execução de estrutura de reforço do paramento do cais, composta por estacas dispostas discretamente ao longo da frente acostável, com placas de betão armado cobrindo os vãos entre estacas e preenchimento, com material pétreo, do espaço compreendido entre as placas e o anterior paramento do cais.



Intervenção de reforço do cais adjacente ao *synchrolift*.

Perante a necessidade de proceder ao aprofundamento da bacia, nas imediações do paramento vertical do cais sob a plataforma elevatória, de modo a dotar a estrutura das condições exigíveis à ampliação do *synchrolift*, procedeu-se à reavaliação das condições de estabilidade da estrutura, tendo presente as ocorrências verificadas no cais adjacente.

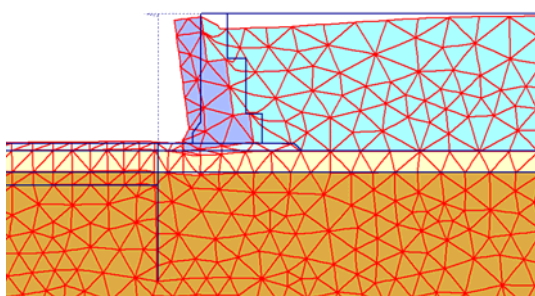
A avaliação da estabilidade foi realizada para a determinação dos factores de segurança ao deslizamento, através de modelo de elementos finitos não lineares, segundo o critério de ruptura de Mohr-Colomb, utilizando o *software* de cálculo "PLAXIS".

O estabelecimento dos parâmetros geotécnicos baseou-se na extrapolação dos resultados obtidos através de sondagens executadas na proximidade do cais. A interpretação dos dados fornecidos pelas sondagens permitiu a atribuição dos parâmetros aos complexos litomorfológicos atravessados:

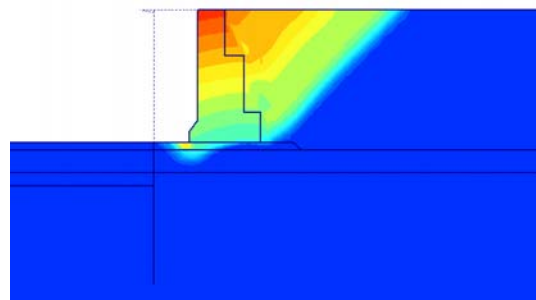
ZG2 - Aterros heterogéneos: $\phi = 30^\circ$; $c' = 5 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$

ZG1B - Margas com passagens de grés micro-granuloso: $\phi = 30^\circ$; $c' = 35 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

ZG1A - Margas com $N_{\text{spt}} > 60$ pancadas: $\phi = 25^\circ$; $c' = 50 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$



Deformação associada à situação actual, $\delta = 5 \text{ cm}$



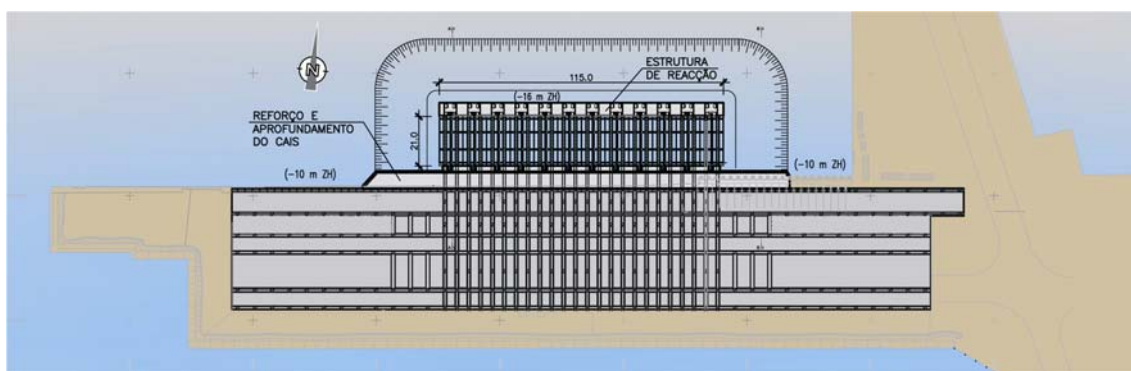
Superfícies de ruptura associadas à situação actual. Factor de segurança de 1,36.

Os resultados da verificação da estabilidade do cais revelaram-se pouco tranquilizadores, como se suspeitava, acusando deslocamentos da ordem de 5 cm ao nível da superestrutura e coeficiente de segurança ao deslizamento de 1,36.

3. SOLUÇÃO PRECONIZADA

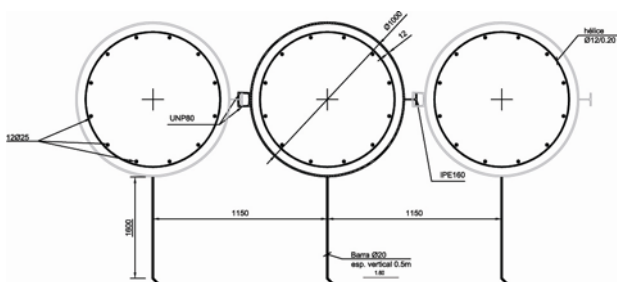
A intervenção de ampliação do *synchrolift* implica o aumento da plataforma de elevação dos actuais 90 m para 115 m de comprimento, de 16 m para 21 m de largura, bem como o aprofundamento de 6 m dos fundos na área circunscrita sob a mesma.

Para além da demolição da antiga estrutura de reacção do lado do mar e da construção de uma nova, com funções análogas mas reposicionada e dimensionada para as novas solicitações, o cais é também objecto de intervenção, dotando-o de condições de estabilidade reforçadas e possibilitando a dragagem junto à sua fundação, de molde a baixar significativamente a cota dos fundos, de -10 m (ZH) para -16 m (ZH).



Planta geral da intervenção

O reforço e aprofundamento do muro-cais contíguo à plataforma elevatória do *synchrolift* processa-se inicialmente por cravação de cortina de estacas tubulares metálicas de 1 000 mm de diâmetro, tangentes e unidas por elementos metálicos de tipo macho-fêmea soldados às geratrizes dos tubos, em zona frontal e paralelamente ao desenvolvimento do cais, cobrindo toda a extensão da bacia a dragar.



Esquema de união das estacas. Vista em planta

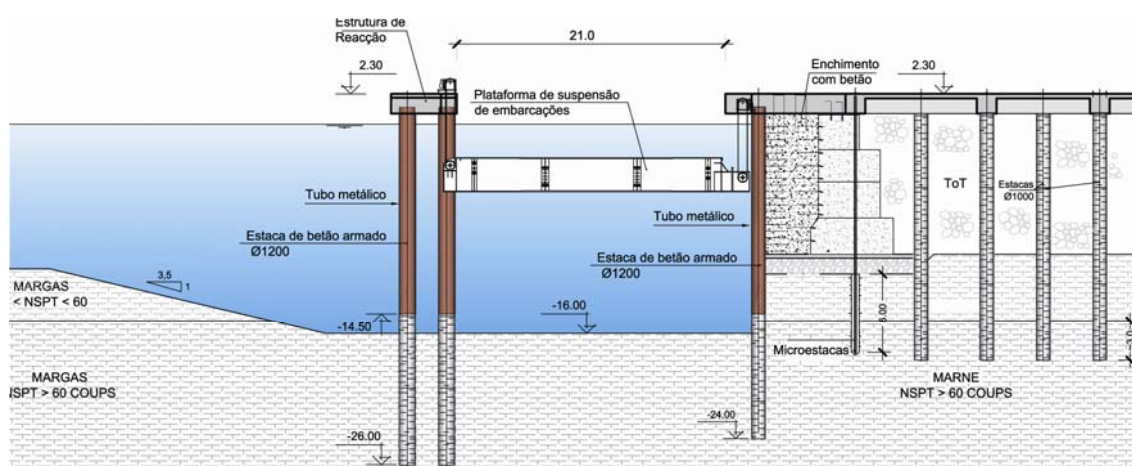
Em fase anterior à dragagem, a cortina é cravada com 5 m de penetração, até à cota -15 m (ZH), no substrato constituído por margas consolidadas, realizando-se seguidamente a perfuração e limpeza, pelo interior das estacas, até à cota -24 m (ZH), para então se proceder à colocação de armadura e sequente betonagem das mesmas.

A opção pela cortina de estacas metálicas tangentes decorre da natureza do fundo, que revela estratos muito consolidados com resultados de sondagens à percussão com valores de SPT de 60 pancadas. Essa circunstância inviabilizou a adopção de soluções correntes, como seja cortinas de estacas-pranchas, que obrigariam a operações de pré-furação do terreno, descomprimindo-o e originando a deterioração da sua capacidade resistente.

Ao contrário, a solução em estacas cilíndricas está mais facilitada porque permite a limpeza dos solos pelo interior das mesmas, na medida em que as duas fases do processo poderão progredir paralelamente sem incorrer na inconveniente deterioração das características da fundação acima mencionada.

O espaço compreendido entre a cortina de estacas e o muro-cais é preenchido por betão, garantindo-se o comportamento monolítico do conjunto através de barras metálicas de 20 mm de diâmetro aferrolhadas ao paramento do cais e fixadas por soldadura à cortina metálica. As barras com comprimento de 1,6 m são soldadas à cortina de estacas metálicas com a distribuição de espaçamentos de 1,15 m horizontal e 0,5 m vertical, e aferrolhadas aos blocos de betão da infra-estrutura do cais segundo a malha de 0,5 m horizontal e 1,0 m vertical.

No sentido de aliviar o diagrama de tensões instalado na fundação do cais e de absorver simultaneamente as cargas originadas pela passagem do carro de transferência de embarcações e por uma grua guindaste que circulará sobre carris ao longo do cais, coincidindo um dos alinhamentos dos carris sobre a superestrutura do mesmo, a infra-estrutura é complementada por micro-estacas espaçadas de 3 m em planta com entrega de 6 m abaixo do prisma de fundação, perfurando os quatro blocos de betão de cada uma das colunas que constituem a infra-estrutura. As micro-estacas são injectadas com uma tecnologia do tipo injecção repetitiva e selectiva - IRS através de tubo TM de 177 mm de diâmetro exterior e 10 mm de espessura e reforçadas por barra do tipo Dywidag de 47 mm de diâmetro.



Perfil na zona da plataforma elevatória

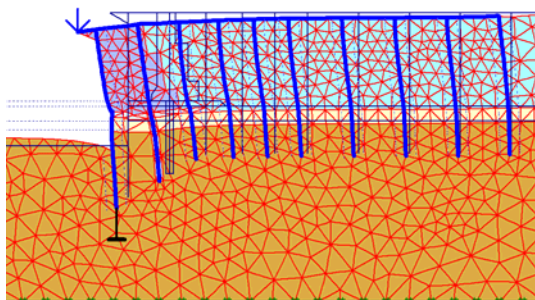
A estrutura acima descrita, composta por cortina de estacas cilíndricas, muro cais de blocos de betão, micro-estacas e betão de enchimento, não seria suficientemente estável perante o cenário final de aprofundamento da bacia até à cota -16 m (ZH).

O contributo para a estabilidade global do conjunto é conseguido com estacas de 1 000 mm de diâmetro moldadas no terraplano, no tardo do cais, constituindo uma estrutura porticada ligada no seu coroamento por intermédio de uma laje de 0,35 m de espessura assente numa grelha de vigas de 1,5 m de altura por 1,5 m de largura.

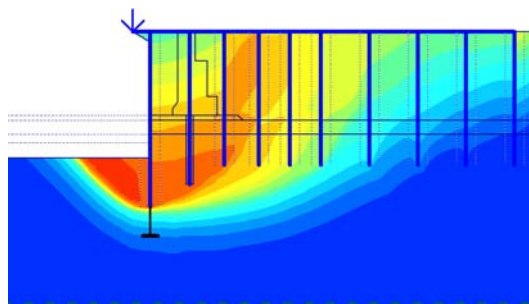
As estacas deverão penetrar um mínimo de 3 m no substrato mais resistente, composto por margas com Nspt superior a 60 pancadas, desempenhando simultaneamente funções, por um lado, de transmissão das cargas verticais descarregadas pelo sistema transferência de navios em bogies sobre carris, e por outro contribuindo para o travamento integral do conjunto na situação mais desfavorável de fundos à cota -16 m (ZH), resistindo por flexão às solicitações horizontais instalados no tardo da estrutura (impulsos horizontais, sobrecargas de exploração e/ou acção sísmica).

4. ESTABILIDADE GLOBAL

Mantendo as premissas assumidas para o cálculo da estrutura na sua situação inicial, procede-se à verificação global da estabilidade para a situação final, com a estrutura completamente reforçada e a dragagem efectuada 6 m abaixo da cota primitiva.



Deformação associada à situação final, considerando sobrecarga de 1100 kN/m ao longo do cais. Deslocamento associado à intervenção: $\delta(\text{max horizontal}) = \delta(\text{max horizontal total}) - \delta(\text{max horizontal inicial}) \cong 9 - 5 = 4 \text{ cm}$.



Superfícies de ruptura associadas à situação final, para as acções consideradas. Factor de segurança de 3.

Para as hipóteses de cálculo admitidas, sem considerar quaisquer factores de majoração ou de redução das acções, verifica-se que o deslocamento decorrente da acção da sobrecarga mais severa é da ordem de grandeza da verificada na situação inicial, ainda assim sem a solicitação de sobrecargas. Esse deslocamento é agora integralmente absorvido pela estrutura, enquanto na situação inicial a ocorrência de deslocamentos reflectia-se directamente ao embasamento de fundação do cais, originando a degradação das suas condições de mecânicas.

Verifica-se igualmente que o factor de segurança ao deslizamento mais do que duplica o anterior, e é também duplo do normalmente exigível neste tipo de estruturas, FS=1,5.

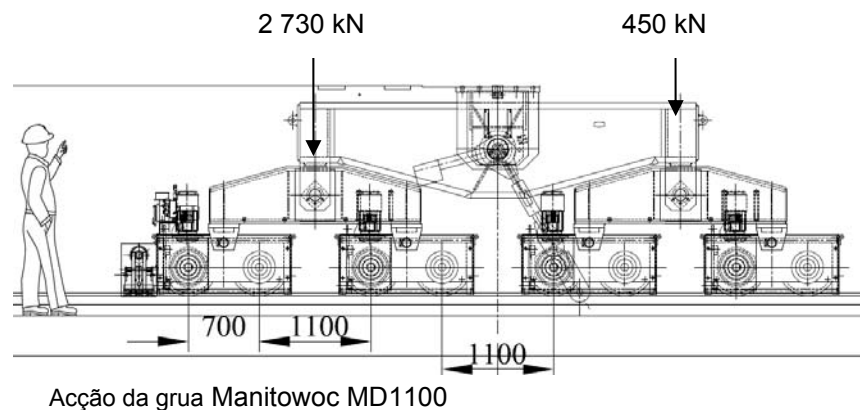
5. MODELOS DE CÁLCULO

A quantificação das acções actuantes foi estabelecida de acordo com os parâmetros genéricos relativos às massas volúmicas dos diferentes componentes, sejam aço ou betão, no que respeita a cargas permanentes instaladas na própria estrutura e actuantes nos solos de fundação.

As sobrecargas de cálculo foram determinadas através da bibliografia da especialidade e por informação colhida junto da entidade promotora da obra, reflectindo assim, com o rigor possível, as acções originadas pelos equipamentos que operarão sobre a estrutura, compreendendo:

- No cálculo da estabilidade do muro-cais, considera-se 5 kN/m²;
- Para a plataforma, admite-se o veículo tipo de 60 t com distância entre eixos de 1,50 m e de eixo a eixo entre duas rodas de 2,0 m, para 6 rodas com uma carga de 10 t, posicionado nos pontos mais desfavoráveis;

- O sistema de elevação das embarcações é associado ao cenário mais desfavorável entre uma sobrecarga linear de 1 100 kN/m e uma sobrecarga pontual de 5 926 kN para cada elemento de suspensão, que pode ter um valor máximo de 10 000 kN sobre a extremidade das estacas do muro-cais. O sistema compreende 24 elementos de suspensão, doze situados no muro-cais e outros doze situados no sistema de reacção localizado no mar;
- A transferência dos navios é simulada por sobrecarga pontual de 2 600 kN para cada *bogie*. Os *bogies* transmitem duas sobrecargas de 1 300 kN por carril, distribuídas em duas rodas com um espaçamento longitudinal de 1,50 m, correspondendo a cargas de 650 kN por roda;
- As acções variáveis de exploração da grua de 40 t (grua “Manitowoc MD1100”) são simuladas sobre os carris, com valor máximo de 2730 kN.



Os impulsos actuantes sobre a estrutura foram determinados de acordo com o formulário:

- Coeficiente de impulso activo

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

- Coeficiente de impulso passivo

$$K_p = \frac{1}{K_a}$$

- Redução de impulso activo devido à coesão

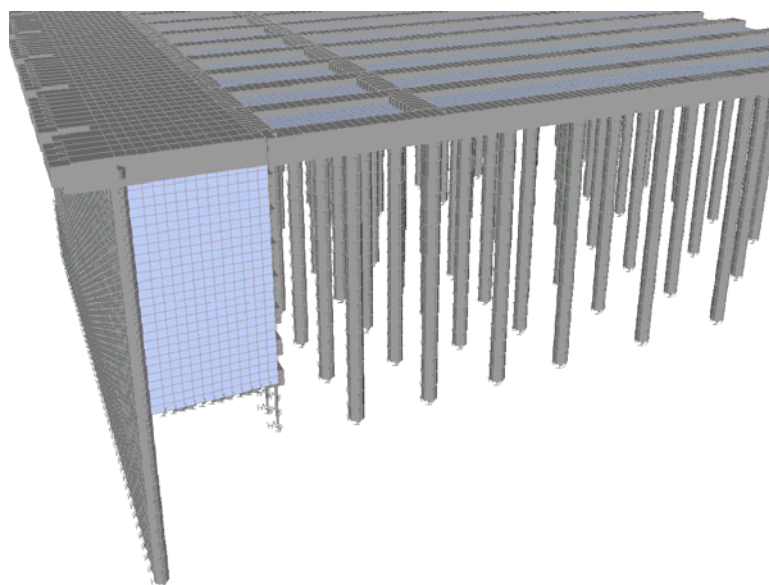
$$C_a = 2 \times c \times \sqrt{K_a}$$

- Aumento de impulso passivo devido à coesão

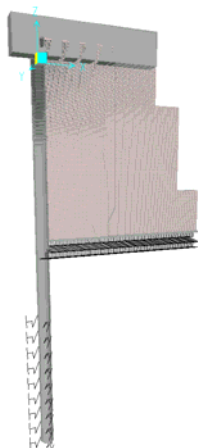
$$C_p = 2 \times c \times \sqrt{K_p}$$

A acção sísmica foi simulada como acção dinâmica accidental actuante, de acordo com as funções de cálculo espectral expostas no Regulamento anti-sísmico argelino “Règles Parasismiques Algériennes”

O dimensionamento global da estrutura, bem como a avaliação da ligação entre a cortina de estacas cilíndricas e as colunas de blocos do cais, através de elementos de barra metálicos e de betão simples em enchimento, foram desenvolvidos através do programa de cálculo automático não linear SAP2000.

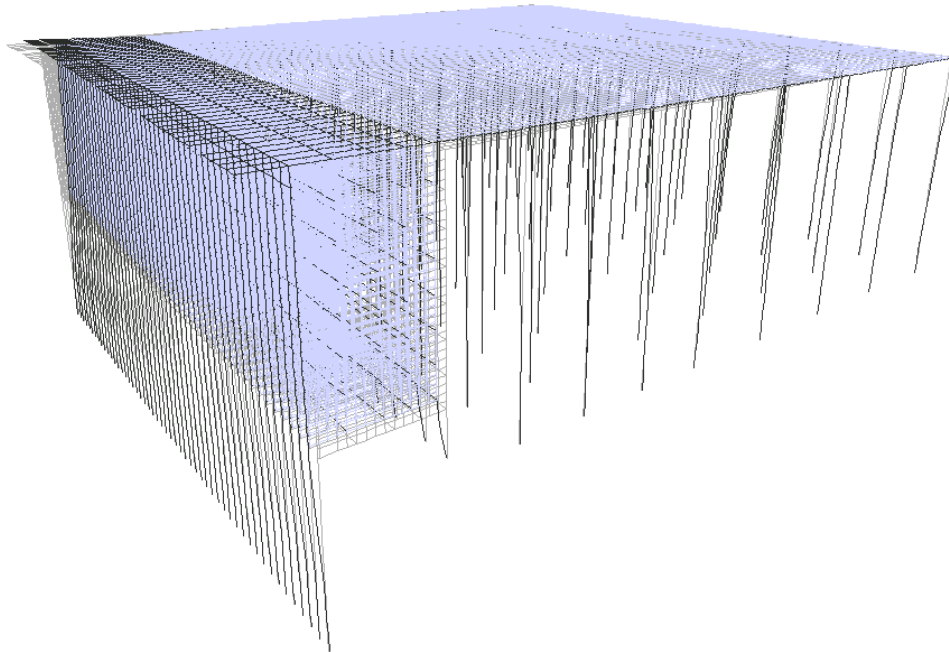


Modelo global da estrutura



Ligação entre a cortina de estacas cilíndricas e as colunas de blocos do cais

Os espectros de resposta foram determinados considerando a localização, o tipo de solo existente e o grau de importância da Obra: Zona IIA (Mers-El-Kebir - Oran), Grupo 1A (obra de importância Vital), e terreno tipo S2 – terreno firme.



Deformada da estrutura associada ao 1º modo de vibração $f \approx 2.5 \text{ s}^{-1}$

6. CONCLUSÕES

A solução adoptada para o aprofundamento do cais de Mers El Kebir revela-se adequada em presença de solos de fundação consolidados, onde outras soluções tradicionais são inexecutáveis.

Quando a cravação de elementos metálicos por percussão ou vibração são inviáveis, como é o caso de estacas-pranchas, a opção por estacas cilíndricas formando uma cortina contínua, através de dispositivos de ligação ao longo da sua geratriz, pode afigurar-se vantajosa na medida em que permite a evolução do processo de cravação simultaneamente com a limpeza dos solos pelo interior das mesmas, evitando a deterioração das características mecânicas dos solos de fundação.

Outra especificidade do projecto reveste-se da evidente dificuldade realizar ancoragens na cortina, devido à existência das colunas de blocos e por estas estarem instáveis, daí a opção por ligar a cortina a uma estrutura porticada construída no tardo do cais.

De salientar que o equilíbrio global desta solução foi obtido adoptando uma solução estrutural que tira partido da resistência à flexão das fundações indirectas da plataforma de trabalho, existentes na proximidade do cais. Com efeito, o funcionamento conjunto de todos os elementos estabilizantes (estacas do cais, blocos de betão simples, enchimento em betão simples, microestacas e estacas de fundação) interligados, no seu coroamento, por um diafragma estrutural (laje assente numa grelha de vigas de betão armado), permitiu alcançar uma solução compatível com uma dragagem significativa (de 6m), com a obtenção de factores de segurança bastante elevados.