

FUNDAÇÃO DE UMA GRUA COM CAPACIDADE DE CARGA DE 2500T NO CAIS 2 DO ESTALEIRO DA PAENAL EM PORTO AMBOIM, ANGOLA

Hugo Leite ⁽¹⁾, Ricardo Guimarães ⁽²⁾, Nuno Guimarães ⁽²⁾

⁽¹⁾ WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A.,
Rotunda Nuno Rodrigues dos Santos, nº 1 B, 10º Andar, 2685-223 Portela. LRS,
hugo.leite@wwsa.pt

⁽²⁾ CONDURIL, Engenharia S.A.
Av. Eng.º Duarte Pacheco, 1835, 4445-416 Ermesinde
rguimaraes@conduril.pt

Resumo: A Obra “PAENAL Yard – Phase 1B and 2” surge no âmbito do projeto de construção de um estaleiro naval para apoio à atividade petrolífera no município de Porto Amboim, província do Kwanza-Sul em Angola. A empresa responsável pelo desenvolvimento do projeto, a PAENAL, resulta de uma joint-venture que agrega o capital de três entidades: Sonangol, Single Buoy Moorings (SBM) e Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME). No Cais 2 do estaleiro da PAENAL foi instalada uma grua fixa com capacidade de carga máxima de 2500 toneladas. Trata-se, da maior construção do género no continente africano. As elevadas cargas transmitidas pelos apoios da grua e a sua proximidade à frente acostável, implicaram o estudo de soluções de fundação e de adaptação local da estrutura do cais. Na presente comunicação abordam-se os aspetos importantes relativos ao dimensionamento e à construção da estrutura do cais e de fundação da grua,

1 – Introdução

Os estaleiros navais de Porto Amboim foram criados pelo consórcio PAENAL: Porto Amboim Estaleiros Navais, Lda., para dar resposta à procura crescente de equipamentos e serviços de manutenção e reparação naval para a indústria petrolífera em Angola, nomeadamente para a construção de bóias *offshore* e para a adaptação de antigos navios superpetroleiros a unidades FPSO (Floating Production, Storage and Offloading);

A **WW Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A.** é responsável pelos projetos das obras marítimas do estaleiro PAENAL nomeadamente do quebramar, dos Cais 1 e 2 e do Terminal de Combustíveis. Estes projetos foram desenvolvidos por adjudicação da **CONDURIL, Engenharia S.A.**, empresa responsável pela construção destas obras.

Possibilitando o transporte das estruturas metálicas “módulos” utilizadas na transformação de navios em unidades FPSO desde o seu local de fabrico, na plataforma do estaleiro, até à colocação no navio, a PAENAL decidiu instalar uma grua com capacidade de carga máxima de 2500t próxima da frente acostável do Cais 2. Esta grua, designada no âmbito do projeto por “Heavy Lift Crane”, doravante designada por HLC, encontra-se atualmente em fase de testes. Foi fabricada totalmente em estrutura metálica e pesa 4500 t. Tem dois apoios móveis que rodam em torno de um apoio central fixo, descrevendo uma trajetória circular com 50,00 m de diâmetro. Será a maior grua instalada no continente africano.

O Cais 2, com 280 m de extensão, garante fundos de serviço de -10,00 m LAT, com coroamento à cota +4.00 m LAT. A estrutura de contenção da plataforma portuária ao longo do Cais 2 é composta por uma cortina de estacas prancha metálicas travada por um sistema de ancoragem composto por tirantes metálicos com 29.50 m de comprimento e por uma cortina de reação igualmente em estacas prancha metálicas.

As elevadas cargas transmitidas pelos apoios da grua e a sua proximidade à frente acostável, implicaram o estudo de soluções de fundação e de adaptação local da estrutura do cais

2 – Descrição da estrutura

A grua foi instalada numa estrutura de fundação construída em betão armado. Trata-se de um sistema de fundação indireta com estacas de betão armado moldadas in-situ, através de tubo moldador recuperável, encabeçadas por maciços de dimensões variadas. As estacas apresentam diâmetro de 1,20 m e comprimento variável, em função da sua proximidade à frente acostável.

Distinguem-se três subestruturas:

- Plataforma de alívio;
- Maciço de fundação do caminho de rolamento da grua;
- Maciço de fundação do apoio central da grua.

A plataforma de alívio é composta por 42 estacas com 19,5 m de comprimento suportando uma laje com 57 m de comprimento, 11,40 m de largura e 1,5 m de espessura. A plataforma de alívio localiza-se próxima da cortina de contenção do cais e tem como função a transmissão das cargas introduzidas pela grua ao solo de fundação a uma profundidade adequada, tendo em conta as características geotécnicas do local bem como a configuração da estrutura do cais. Desta forma, são minimizados os impulsos gerados na cortina devido às cargas introduzidas pela grua.

Tem ainda como função o suporte horizontal da cortina de contenção do cais, uma vez que o sistema de ancoragem corrente ao longo do Cais 2, composto por uma cortina de ancoragem e tirantes com 29,50m de comprimento, teve, na zona de implantação da HLFC, de ser interrompido. Assim, o suporte horizontal da cortina é conferido por tirantes metálicos com 3,60m de comprimento e 80mm ancorados na laje da plataforma de alívio e aparafusados na cortina de contenção.

O maciço de fundação do caminho de rolamento da grua tem a forma de um anel com 43m de diâmetro interno, 57m de diâmetro externo e 2,00m de espessura. É apoiado em 62 estacas com 17,00m de comprimento, e em parte da sua extensão, diretamente sobre a plataforma de alívio.

O maciço central encabeça 9 estacas com 15,5 m de comprimento. Trata-se de um bloco de betão armado bloco com dimensões em planta de 16,0 m por 14,0 m e 3,5 m de altura. A função do maciço central é a de transmitir as cargas verticais, aplicadas tanto no sentido descendente como no sentido ascendente, dependendo da posição da grua e da carga movimentada, às estacas. Devido à magnitude das cargas verticais de “uplift” houve necessidade de aumentar o peso do bloco, aliviando as forças de tração transmitidas às estacas. Por este motivo, foi construída uma consola com 1,20m de espessura e 2,50m de vão ao longo do perímetro do bloco, sobre a qual foram colocados 106 blocos de betão Antifer com 3 ton cada, excedentes da construção do quebramar.

A estrutura da fundação da grua conta ainda com 4 vigas radiais que ligam o maciço de fundação do caminho de rolamento ao maciço central. Três das vigas apresentem secção transversal 2,0 m por 1,0 m e uma delas apresenta secção de 2,0 m por 1,20 m.

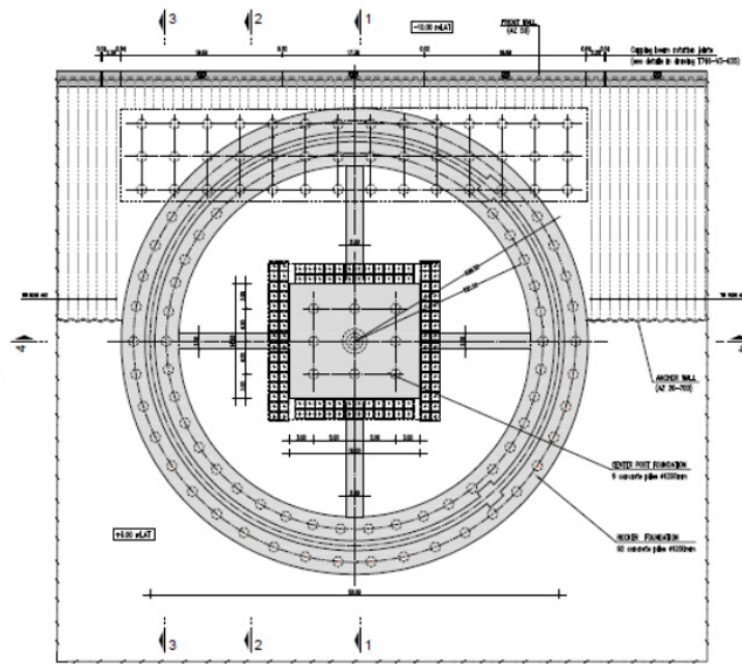


Figura 1 – Planta geral da estrutura de fundação da HLFC.

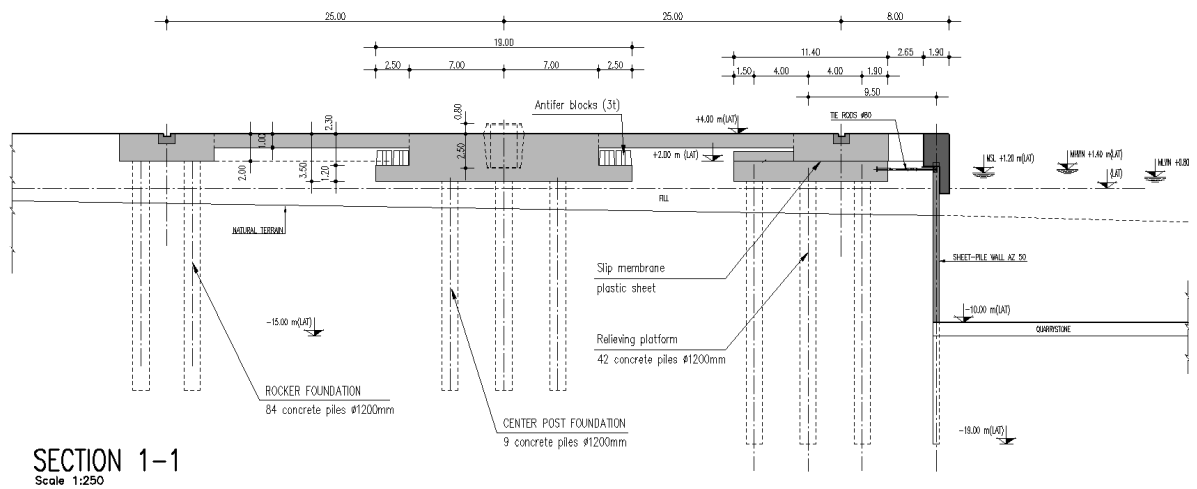


Figura 2 – Corte pelo eixo da estrutura de fundação da HLC.

3 – Aspectos do projeto

A estrutura de fundação foi dimensionada tendo em conta a regulamentação em vigor, nomeadamente os eurocódigos estruturais, bem como outras disposições definidas nas especificações da PAENAL, nomeadamente no que diz respeito às ações e situações de carga a considerar bem como aspetos relacionados com a durabilidade da estrutura.

As ações consideradas no dimensionamento da estrutura foram as seguintes:

- Peso próprio dos materiais;
- Variações dos níveis de maré;
- Ação das ondas;
- Sobrecargas de utilização da plataforma do cais;
- Cargas introduzidas por um conjunto vasto de equipamentos operando na plataforma do cais;
- Amarração de embarcações;
- Acostagem de embarcações;
- Variações de temperatura;
- Cargas introduzidas pela HLFC em várias situações de serviço (carga e posição) e em situação de tempestade. As cargas introduzidas pela grua, bem como a definição dos coeficientes dinâmicos a considerar em cada situação, foram fornecidas pelo fabricante.

As cargas referentes a cada uma das ações foram combinadas de forma a simular situações de carga com significativa probabilidade de ocorrência durante o período de vida útil da estrutura.

Havendo que simular um significativo número de cargas, de diferente natureza, e um significativo número de aspetos, nomeadamente a interação solo-estrutura, o cálculo estrutural foi apoiado em diversos modelos de cálculo, construídos com recurso ao método dos elementos finitos, através de “software” comercial.

A estrutura foi modelada com recurso aos seguintes modelos de cálculo:

- Modelos 2D simulando a interação solo estrutura com o programa PLAXIS V8.6 finite element code software, Plaxis B.V. – Delft, Holland.
- Modelo 3D simulando a interação solo estrutura com o programa PLAXIS 3D Foundation V2.1, from Plaxis B.V. – Delft, Holland.
- Modelo 3D de análise de estruturas de betão e aço com o programa SAP2000 Structural Analysis Program, from CSI, Computers and Structures, Inc.

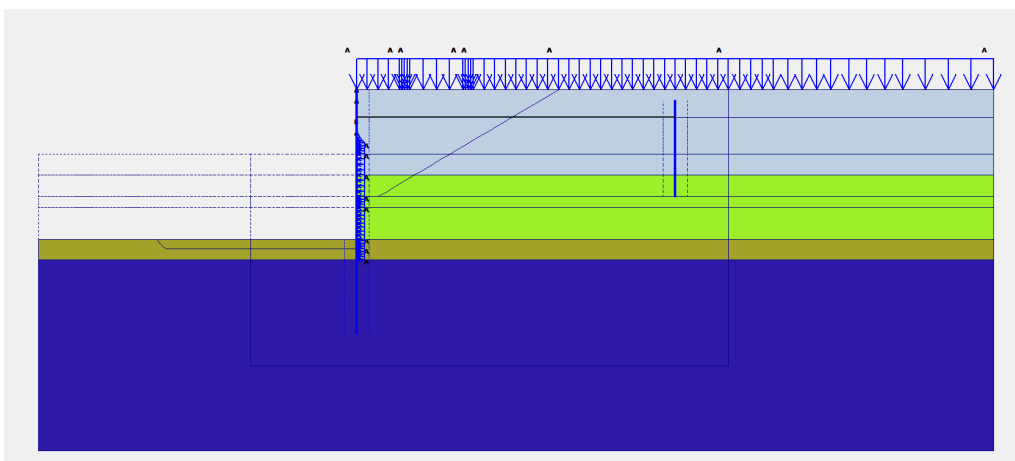


Figura 3 – Modelo em Plaxis 2D.

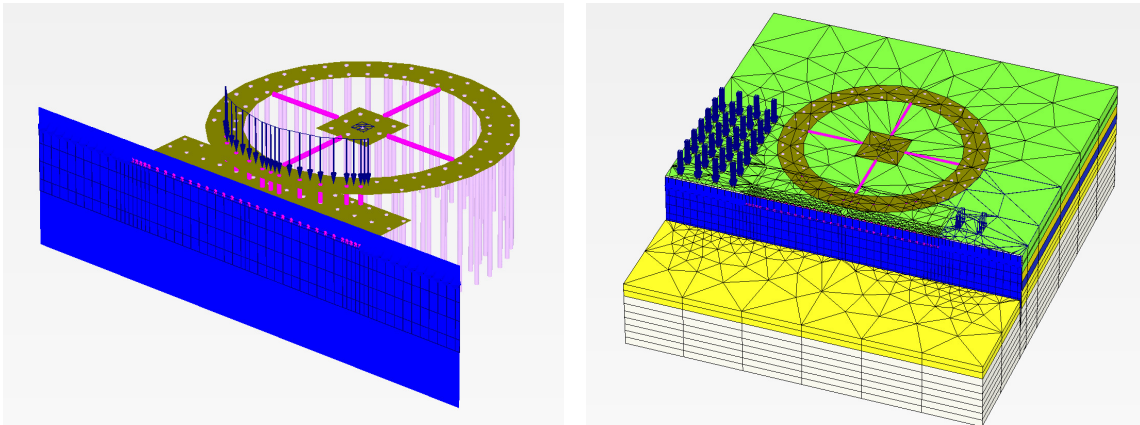


Figura 4 – Modelo em Plaxis 3D.

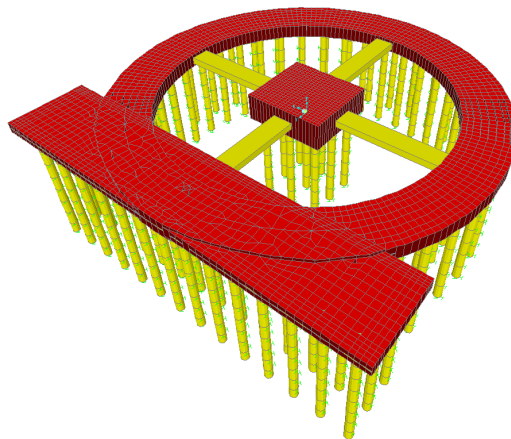


Figura 5 – Modelo 3D em SAP.

O faseamento construtivo adotado influenciou significativamente o dimensionamento da estrutura, tendo por isso todas as fases de construção sido simuladas recorrendo aos diversos modelos de cálculo utilizados, e analisadas em pormenor.

4 – Aspetos da empreitada

No total foram executadas 113 estacas de betão armado. Após a execução das estacas é necessário efetuar o saneamento do encabeçamento das estacas. Este trabalho foi executado com recurso a um equipamento denominado de Darda. Para poder aplicar esta técnica, foi necessário encamisar os varões de espera das estacas previamente com recurso a tubo plástico, isolando as extremidades do mesmo de modo a evitar a entrada de betão. Para utilizar a Darda é necessário ainda efetuar a perfuração das estacas ao nível de corte pretendido.



Figura 6 – Saneamento da cabeça das estacas.

Partes substanciais da estrutura foram executadas a profundidades inferiores ao nível médio da água do mar. Para criar condições propícias à realização do trabalho foram utilizadas 4 bombas de água Varisco de 6" trabalhando alternadamente durante 24 horas por dia. Como a mostrado na figura seguinte, a laje de distribuição, situada à direita, apesar de situada 1,0 m abaixo do nível do mar é mantida livre de água de modo a permitir a montagem de aço e posterior betonagem.



Figura 7 – Construção da laje da plataforma de alívio e da parte do lado de terra do maciço de fundação do caminho de rolamento da grua.

Devido às dimensões da estrutura em causa, as várias peças a betonar foram divididas em secções cujo volume foi definido em função da capacidade de produção de betão das centrais existentes no local face ao tempo máximo de betonagem admissível, tendo em conta o ambiente local, com temperaturas particularmente altas. Estas condições implicaram a aplicação de sondas de medição de temperatura que ficam embebidas nas secções de modo. Pretendeu-se, assim, monitorizar a temperatura atingida no processo de hidratação do cimento.

Foi referido anteriormente, na descrição do projeto, que há uma interação entre os sistemas estruturais da fundação da grua e da contenção do cais. Esta interação influenciou também o processo construtivo. Quando é feita a cravação de estacas prancha na cortina principal é necessário aplicar tirantes os tirantes com a maior brevidade possível de modo a sustentar possíveis desalinhamentos. Neste caso, na zona em frente à estrutura de fundação da grua o processo normal não pôde ser aplicado. Assim sendo, foi criado um aterro provisório de modo a proceder à cravação de estacas da cortina principal, garantindo a sua sustentação de ambos os lados.

A criação do aterro provisório teve impacto na sequência de trabalhos de execução do maciço de fundação do caminho de rolamento. Esta foi dividida em 14 secções, sendo que 3 destas estão situadas sobre a plataforma de alívio. De acordo com o projeto, o maciço de fundação do caminho de rolamento só poderia ser fechada uma vez executada a laje da plataforma de alívio, colocados os tirantes de ancoragem da cortina principal de estacas e removido o aterro provisório. A remoção deste aterro significou a retirada da sustentação da cortina de estacas do lado do mar provocando então as deformações esperadas na cortina e plataforma de alívio. A conclusão da fundação circular com a betonagem das 3 secções acima referidas ocorreu após a estabilização das deformações do sistema de ancoragem do cais que foram monitorizadas durante 3 dias.

A execução da fundação da grua implica a existência de um interface com o corpo da grua a ser instalado posteriormente. Como tal, foi necessário incorporar vários elementos metálicos no interior da estrutura de betão de modo a concretizar o interface referido. Por razões de logística e prazos de execução, foram definidos em projeto negativos a incluir nas secções de betão de modo a permitir a instalação dos elementos metálicos e betonagem da respetiva envolvente numa fase posterior. Aplicou-se aqui um betão com características especiais, no qual foi aplicado um aditivo que conferiu propriedades de retração autocompensada.

Seguiu-se a execução do maciço de fundação do apoio central da grua. Ao contrário do que teria sido normalmente aplicado, com separação de secções por juntas construtivas verticais, neste caso foram aplicadas juntas construtivas horizontais. Esta opção está mais uma vez relacionada com a necessidade de evitar grandes volumes de betão por betonagem, diminuindo assim a temperatura de hidratação. É no entanto um pormenor que tem implicações particulares no processo construtivo. Na betonagem de secções adjacentes é necessário fazer a preparação da junta com jato de água de modo a criar uma superfície rugosa para garantia de ligação. A betonagem de secções adjacentes deve ser feita o mais rapidamente possível, de preferência no espaço de 24 horas, de modo a diminuir as diferenças de temperatura entre o betão novo e velho.

Depois de executada a fundação central foram colocados 106 blocos Antifer de 3 ton sobre a consola de bordadura. Esta opção foi considerada por ser uma alternativa económica ao aumento do peso da fundação utilizando os blocos excedentes que não foram aplicados no quebramar.

Finalmente foram executadas as 4 vigas radiais que ligam a fundação circular à fundação da central.

Para além de todas as considerações deixadas até aqui, convém realçar as quantidades envolvidas na construção.

Componente-da-estrutura	Volume-de-betão-C35/45.S4.D25.XS3-(m³)	Massa-de-aço-em-varão-nervurado-A500-NR-SD-(ton)
Estacas-moldas-in-situ	2275	270
Fundação-circular <small>(incluindo 140 m³ de betão com retração autocompensada)</small>	2200	300
Laje-de-Distribuição	975	265
Fundação-Central	1077	116
Vigas-radiais	118	15
Total	6645	966 <small>(das quais 320 ton são de aço Ø32 mm.)</small>

Como a tabela acima mostra, as quantidades envolvidas na empreitada foram significativas. Há mais um dado na tabela que deve ser salientado. O facto de um terço do varão aço aplicado ter diâmetro 32 mm coloca um desafio acrescido, tanto na fase de corte e moldagem quer na fase de aplicação em obra.

Os nove meses de trabalhos empreendidos demonstram grande trabalho de envolvimento, dedicação e empenho na concretização deste projeto complexo e desafiante. A coordenação com a equipa de projeto foi também um fator chave pois, estando este a ser desenvolvido em paralelo com a construção, originou situações em que os limites da técnica foram explorados ao máximo por forma a manter o produto final sempre dentro das especificações do Cliente e dentro do prazo estabelecido.

Nas figuras seguintes são apresentadas diversas fases dos trabalhos.



Figura 8 – Após construção das estacas da plataforma de alívio. Construção da parte do lado de terra do maciço de fundação do caminho de rolamento da grua.



Figura 9 – Vista da laje da plataforma de alívio e dos tirantes de ancoragem da cortina do cais.



Figura 10 – Montagem da armadura do maciço de fundação do caminho de rolamento da grua.



Figura 11 – Fecho do maciço de fundação do caminho de rolamento da grua, no troço sobre a plataforma de alívio.



Figura 12 – Montagem das armaduras do maciço de fundação do apoio central da grua.



Figura 13 – Construção do maciço de fundação do apoio central da grua.



Figura 14 – Estrutura de fundação da HLC após terminados os trabalhos.



Figura 15 – Vista da HLC em fase de testes.