



## PROJETO E CONSTRUÇÃO DA EXTENSÃO DO CAIS DO TERMINAL DE CONTENTORES DE PORTO CAUCEDO

Hugo Leite <sup>(1)</sup>; Pedro Simões <sup>(2)</sup>; Luis Tomás <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> MSW, Estudos e Projetos de Obras Marítimas, Lda; WW Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, SA <sup>(2)</sup> Mota-Engil Engenharia, SA

[hleite@msw-consultores.pt](mailto:hleite@msw-consultores.pt) ; [fpedrosimoes@gmail.com](mailto:fpedrosimoes@gmail.com) ; [lbt@mota-engil.pt](mailto:lbt@mota-engil.pt)

### 1. Introdução

O Porto Caucedo encontra-se localizado em *Punta Caucedo*, na costa sul da República Dominicana, em local próximo da capital, a cidade de Santo Domingo. Propriedade da empresa *Caucedo Investments Inc.*, o porto alberga um terminal de contentores de última geração operado pela *DP World Caucedo* (ZPMC). A atividade do porto consiste essencialmente na operação de carga contentorizada, procedendo ainda, em menor escala, à operação de granéis sólidos.

A Fase 1 de desenvolvimento do porto entrou em funcionamento no verão de 2004 e consistiu na construção de um quebra-mar e dois cais; um cais com 300 m de comprimento aderente ao quebra-mar, e o cais do terminal de contentores com 600 m de comprimento e profundidades variando entre 13,20 m e 15,20 m. A área do parque de contentores é de aproximadamente 30 hectares. Em 2018 a ZPMC iniciou a implementação da Fase 2, aumentando a capacidade do terminal de contentores por meio do prolongamento do cais, criando um novo posto de acostagem, o posto C3. O cais seria assim prolongado em 412 m para norte. O novo posto C3, com fundos de serviço de -19,00 m (DRD), veio a permitir a acostagem de navios do tipo Triple E e, no futuro, permitirá a acostagem de navios da classe Megamax 24. A extensão do terminal de contentores implicou a realização de diferentes empreitadas. A empreitada de conceção e de construção do prolongamento do cais e dos caminhos de rolamento dos pórticos de cais "*Ship-to-Shore Cranes*" (STS), foi adjudicado à Mota-Engil Dominicana (ME). A ME contratou a WW, Consultores de Obras Marítimas, SA para a realização do Projeto de Execução do cais e das vigas dos caminhos de rolamento dos STS.

### 2. Descrição da solução estrutural

A estrutura do cais consiste numa cortina de estacas do tipo *combiwall* composta por elementos primários; estacas de betão armado realizadas com encamisamento metálico com 1829 mm de diâmetro e seladas no terreno rochoso, e pelos elementos secundários; pares de estacas-prancha metálicas do tipo AZ 20-700. A cortina de contenção do cais é solidarizada por uma viga de coroamento em betão armado e é travada horizontalmente por tirantes metálicos fixos a estacas de ancoragem realizadas em betão armado e seladas no terreno rochoso. A cortina principal tem coroamento à cota +4,00m (DRD) e o fundo do cais encontra-se a cotas próximas da cota -19,00 m (DRD). A cortina de contenção contém um troço com 412 m de comprimento correspondente à frente de acostagem, e um troço adicional de fecho com 25 m comprimento. O espaço entre o talude de dragagem do terreno natural e a cortina de contenção foi preenchido com material granular resultante dos trabalhos de dragagem efetuados numa empreitada anterior.

### 3. Aspetos relevantes na fase do projeto

De entre os aspetos mais relevantes tratados na fase de projeto destacam-se os seguintes:

- a) Características do local do ponto de vista geológico e geotécnico;
- b) Requisitos de dimensionamento estabelecidos pelo Dono de Obra (DO) e comportamento da estrutura em situações de projeto sísmicas.

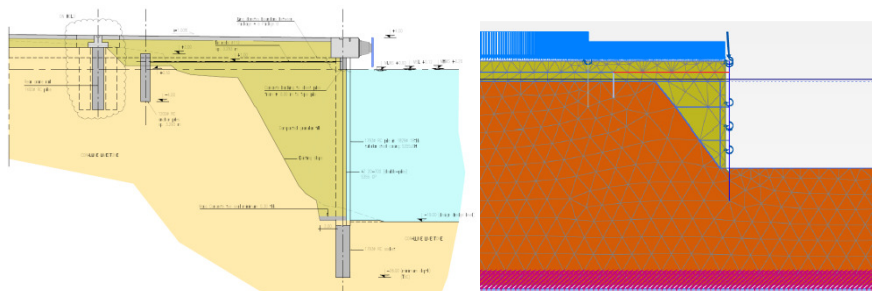


Figura 1 - Perfil transversal tipo (esquerda) e modelo de cálculo (direita).

- a) Características do local do ponto de vista geológico e geotécnico

O local da obra localiza-se na plataforma superior da designada formação geológica *La Isabela*. Trata-se de uma plataforma que foi formada no Pleistoceno, composta por calcário coralífero. Trata-se de um tipo de formação rochosa muito particular, que pelo seu processo de formação, muito condicionado pelo desenvolvimento e envelhecimento de bancadas de coral, apresenta uma elevada heterogeneidade e um elevado nível de vazios e pequenas cavernas, o que condiciona o seu comportamento do ponto de vista geotécnico.

Foram efetuadas duas campanhas de sondagens com o objetivo de determinar as características do calcário coralífero, permitindo estabelecer os parâmetros de resistência e de deformabilidade a adotar na modelação da estrutura do cais, bem como para permitir estimar a capacidade de carga das estacas. Distinguiram-se três tipos principais de materiais constituintes do substrato de calcário coralífero, pela resistência à compressão uniaxial da rocha intacta, bem como pelo seu estado de fracturação e pela quantidade de pequenas cavernas. Os tipos de material poderiam surgir de forma aleatória ao longo da área de intervenção, o que obrigou ao cuidado de efetuar a modelação da estrutura considerando diferentes cenários geotécnicos. De forma a poder validar os cálculos da capacidade de carga das estacas, foram efetuados ensaios de carga estáticos verticais, com recurso a células de *Osterberg*, e um ensaio de carga lateral.

- b) Requisitos de dimensionamento e comportamento da estrutura em situações de projeto sísmicas

A estrutura do cais foi dimensionada considerando as ações usualmente consideradas no dimensionamento estrutural de cais de terminais de contentores, desde a amarração e a acostagem dos navios, às sobrecargas resultantes do peso de pilhas de contentores, e às cargas aplicadas por equipamento de carga, nomeadamente os STS. Encontrando-se uma parte do cais numa zona pouco abrigada da agitação marítima em situações de tempestade, foi ainda considerado o efeito da reflexão das ondas na estrutura do cais.

O DO definiu valores limite de deformações da estrutura do cais e da plataforma de serviço a verificar em situações de serviço e em situações de projeto sísmicas. De forma a avaliar o comportamento da estrutura do cais e a efetuar as verificações de segurança relevantes, a estrutura do cais foi modelada com recurso a modelos de elementos finitos realizados com recurso ao programa de cálculo *Plaxis B.V.*. Os modelos de elementos finitos permitiram simular a interação solo-estrutura nas diversas situações de carregamento, bem como nas várias fases do processo construtivo da estrutura.

Encontrando-se a zona de intervenção num local caracterizado por uma atividade sísmica importante, houve que avaliar em detalhe o comportamento da estrutura em situações de projeto sísmicas. Seguindo os requisitos do DO foi implementada a metodologia *Performance Based Design*. A avaliação do comportamento da estrutura do cais foi efetuada com recurso a análises dinâmicas realizadas no domínio do tempo. Utilizando acelerogramas calibrados para

os valores de aceleração e das gamas de frequências características do local e recorrendo a modelos de elementos finitos especificamente desenvolvidos e a calibrados para o efeito, foi possível analisar a resposta da estrutura em termos de deformações e de esforços nos elementos estruturais ao longo dos sismos bem como em fase posterior, a situação residual. A resposta da estrutura foi então avaliada tendo em conta o critério de danos estabelecido para os diferentes níveis de ação sísmica.

#### 4. Considerações de carácter construtivo

##### a) Condicionantes operacionais

Encontrando-se o porto em pleno funcionamento e não podendo a sua operacionalidade ser de alguma forma condicionada, foi necessário recorrer a soluções construtivas que permitissem a sua execução a partir de terra, sem recurso a meios marítimos. Assim, foi necessário providenciar meios de elevação de elevada capacidade, que pudessem trabalhar com cargas da ordem das 30 ton a 30 m de distância e a 30m de altura. Para guiamento da cortina foi desenvolvida uma estrutura de guiamento flutuante articulada e fixa às estacas de ancoragem, localizadas em terra.

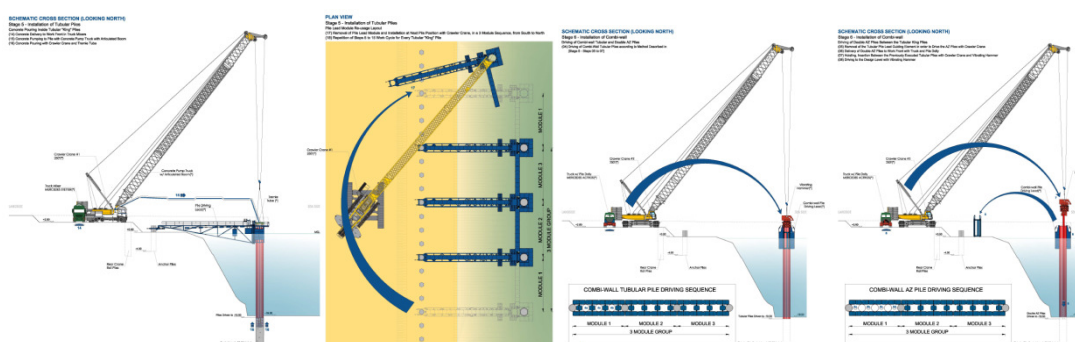


Figura 2 - Processo de execução das estacas da cortina de contenção.

Concluída a execução da cortina, procedeu-se à instalação dos tirantes de ancoragem, ao aterro e à sua compactação, bem como à execução de viga de coroamento. Sendo todo o trabalho desenvolvido por via terrestre e sem interferência na atividade portuária comercial.

##### b) Condicionantes de carácter geológico

O horizonte geológico da zona de implantação da obra é caracterizado pelas formações de calcareos coralinos, rochas de resistência branda a media, bastante heterogéneas, contendo zonas de elevada fracturação e apresentando uma elevada quantidade de vazios e pequenas cavernas.

De modo a garantir a segurança estrutural das estacas da cortina de contenção foi necessário adotar um procedimento que garantisse que sob a ponta das estacas não existiam cavernas que pudessem comprometer o seu funcionamento. Foi então efetuada uma furação perdida com 3,00 m de comprimento no eixo de cada estaca, previamente à sua betonagem, para aferir a existência de cavernas abaixo da ponta da estaca, e em caso de necessidade, permitir a selagem das cavernas por meio da injeção de calda de cimento.

Não foram identificadas situações que obrigassem ao recurso ao procedimento de tratamento de vazios e cavernas inicialmente previsto mas foi necessário, durante a fase de furação e colocação dos tubos de revestimento das estacas, prolongar pontualmente alguns tubos até cotas inferiores às previstas pelo facto de o terreno se ter mostrado sem capacidade para suportar o peso do equipamento de furação/circulação inversa utilizado na execução das estacas.

##### c) Condicionantes de carácter prático – Execução da cortina.

A elevada densidade da armadura das estacas obrigou a que as mesmas fossem montadas e instaladas numa única peça com aproximadamente 30m de comprimento. O betão foi aplicado pela técnica de betonagem submersa com recurso a tubo *tremie* recorrendo a auto-

bomba com braço de longo alcance +-40m. Fechada a cortina com a cravação das estacas-prancha, colocaram-se os tirantes e procedeu-se ao aterro e à sua compactação.



Figura 3 - Execução das estacas da cortina de contenção

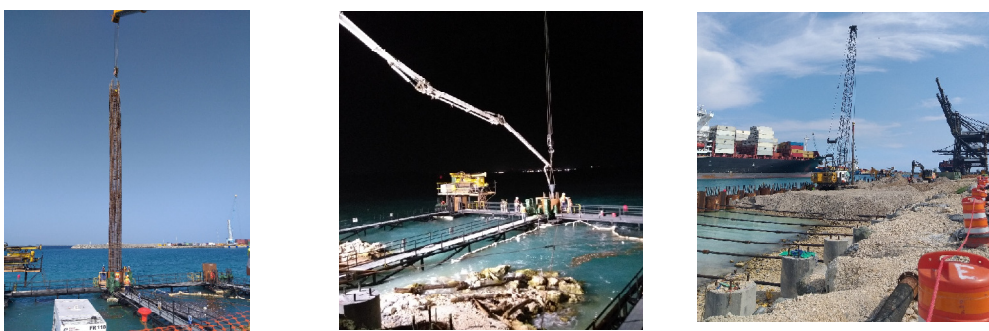


Figura 4 – Betonagem das estacas da cortina de contenção (esquerda e centro) Instalação de tirantes e aterro (direita).

Seguiu-se a execução da viga de coroamento da cortina de contenção, dimensionada para acomodar o caminho de rolamento do lado do mar dos STS, e à execução da viga do caminho de rolamento do lado de terra. Para a construção da viga de coroamento foi necessário recorrer a um cimbre especificamente dimensionado para o efeito.

#### d) Condicionantes – Prazo de execução

O prazo de 10 meses para a execução dos trabalhos obrigou à constituição de 2 equipas de trabalho e a um regime de 2 turnos. Obrigou igualmente à duplicação de todos os meios de produção, os quais, em redundância, possibilitariam compensar eventuais avarias e outros contratempos.

Foi assim possível atingir os objetivos e cumprir as datas chave, particularmente a data de entrega dos STS, os quais desembarcaram no troço do cais finalizado para o efeito.

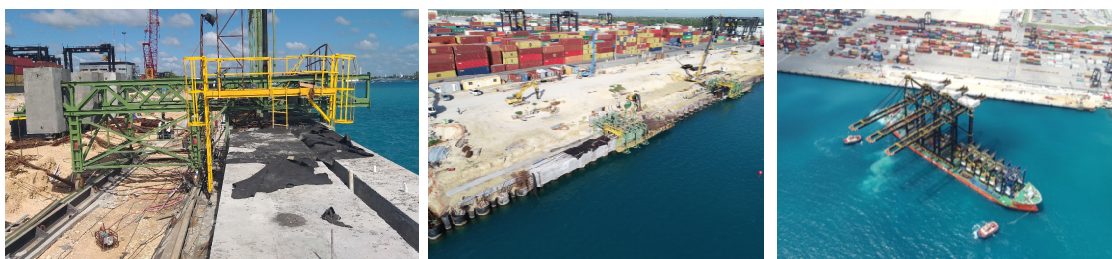


Figura 5 – Execução da viga de coroamento da cortina de contenção (esquerda e centro). Chegada dos pórticos de cais (direita).