

ASPECTOS GEOTÉCNICOS NA REABILITAÇÃO DO PORTO DE MAPUTO

João Santos

MOTA-ENGIL, Engenharia e Construção, S.A.



Organização



ENQUADRAMENTO GERAL DO PROJETO

Dono de Obra



Empreiteiro



Projetista do Empreiteiro



Variante Cais 678



WW CONSULTORES DE HIDRÁULICA
E OBRAS MARÍTIMAS, S.A

Variante Cais 9



Planta do Porto de Maputo

ENQUADRAMENTO GERAL DO PROJETO

Dono de Obra



Empreiteiro



Projetista do Empreiteiro



Variante Cais 678



WW CONSULTORES DE HIDRÁULICA
E OBRAS MARÍTIMAS, S.A

Variante Cais 9

Contrato

- Valor total dos Contratos (FIDIC Yellow Book Design and Build): 72,0 M USD
- Empreitadas realizadas entre 2018 e 2022

Objecto do Contratos

- Aprofundamento das cotas de serviço para -16,0 m ZH nos Cais 6, 7 e 8 e -15,0 m ZH no Cais 8b e 9.
- Reabilitação de 1000 metros de cais em virtude do aumento das cotas de serviço e das sobrecargas atuais da operação.

➤ Enquadramento Histórico

1910-1970

- Cais 6 do ano 1910, Cais 7 do ano 1930 e Cais 8 do ano 1950, solução de cais sobre estacas
- Cais 8b de 1965, solução de muro-cais em blocos de betão pré-fabricados
- Cais 9 de 1970 em estacas prancha metálicas atirantadas



➤ Enquadramento Histórico

1910-1970

- Cais 6 do ano 1910, Cais 7 do ano 1930 e Cais 8 do ano 1950, solução de cais sobre estacas
- Cais 8b de 1965, solução de muro-cais em blocos de betão pré-fabricados
- Cais 9 de 1970 em estacas prancha metálicas atirantadas



➤ Enquadramento Histórico

1910-1970

- Cais 6 do ano 1910, Cais 7 do ano 1930 e Cais 8 do ano 1950, solução de cais sobre estacas
- Cais 8b de 1965, solução de muro-cais em blocos de betão pré-fabricados
- Cais 9 de 1970 em estacas prancha metálicas atirantadas



➤ Enquadramento Histórico

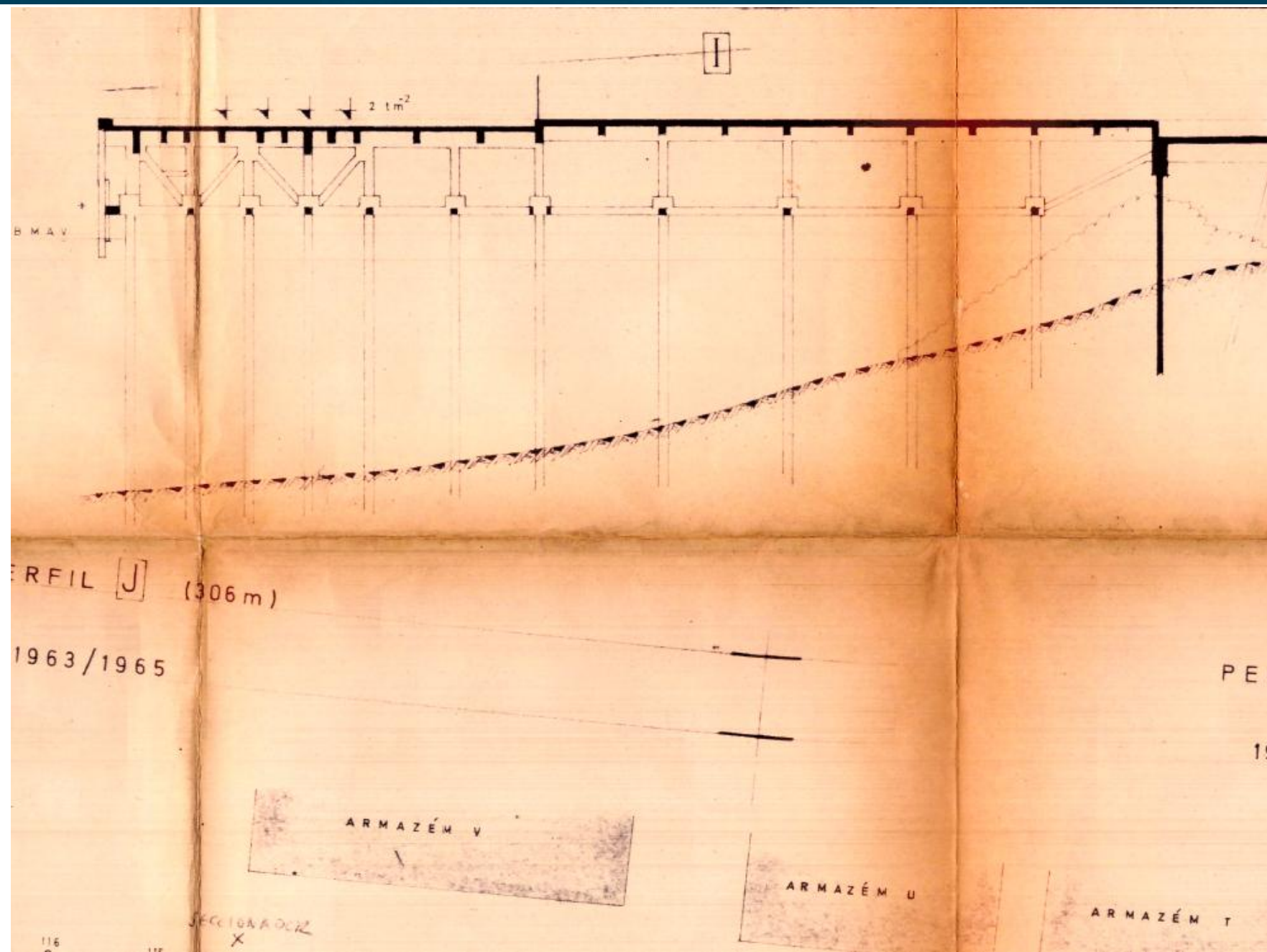
1910-1970

- Cais 6 do ano 1910, Cais 7 do ano 1930 e Cais 8 do ano 1950, solução de cais sobre estacas
- Cais 8b de 1965, solução de muro-cais em blocos de betão pré-fabricados
- Cais 9 de 1970 em estacas prancha metálicas atirantadas



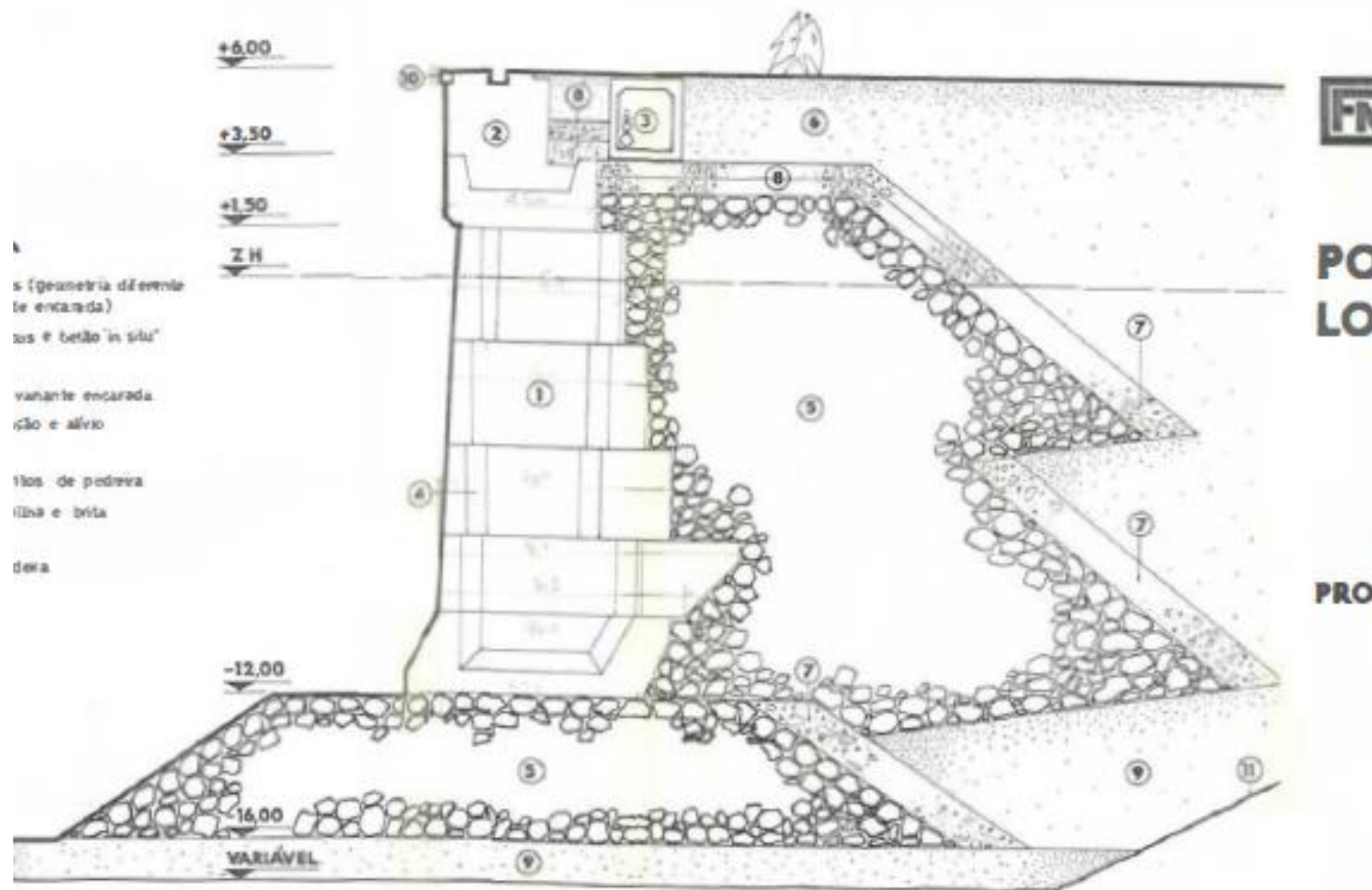
➤ Tipologias de cais existentes

- Cais 6, 7 e 8 sobre estacas de betão
- Cais 8b em blocos de betão pré-fabricado em perfil "à chaise"
- Cais 9 em estacas prancha metálicas atirantadas



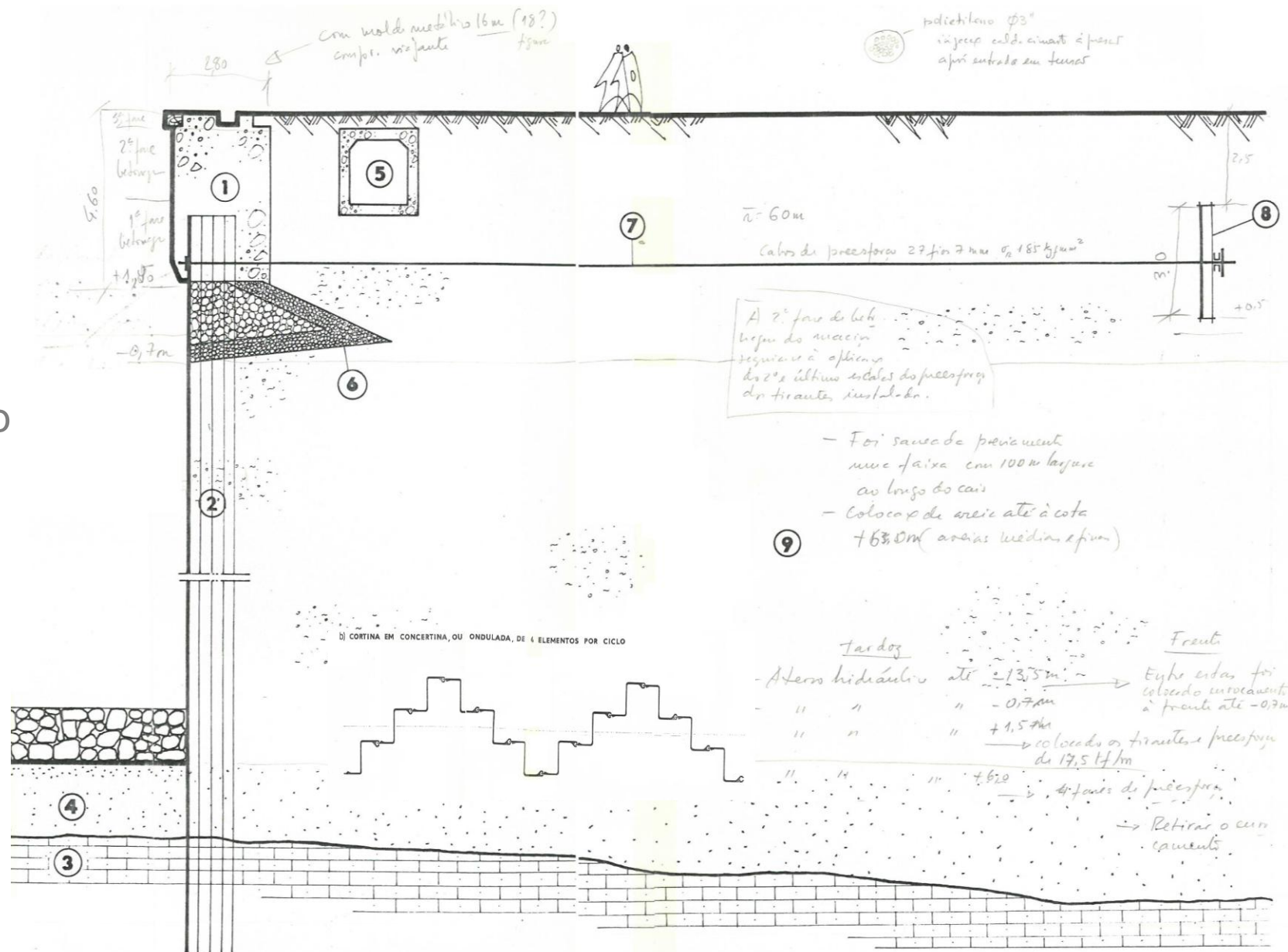
► Tipologias de cais existentes

- Cais 6, 7 e 8 sobre estacas de betão
- Cais 8b em blocos de betão pré-fabricado em perfil "à chaise"
- Cais 9 em estacas prancha metálicas atirantadas



► Tipologias de cais existentes

- Cais 6, 7 e 8 sobre estacas de betão
- Cais 8b em blocos de betão pré-fabricado em perfil "à chaise"
- Cais 9 em estacas prancha metálicas atirantadas



➤ Estado das estruturas existentes

- Cais 6, 7 e 8 bastante degradados com fissuras e armaduras expostas. Cais 6 inoperacional. Cais 8 com laje colapsada.
- Cais 8b e Cais 9 em bom estado geral e em operação. Estacas prancha em boas condições e apenas com manchas isoladas de corrosão à superfície.



➤ Estado das estruturas existentes

- Cais 6, 7 e 8 bastante degradados com fissuras e armaduras expostas. Cais 6 inoperacional. Cais 8 com laje colapsada.
- Cais 8b e Cais 9 em bom estado geral e em operação. Estacas prancha em boas condições e apenas com manchas isoladas de corrosão à superfície.



➤ Estado das estruturas existentes

- Cais 6, 7 e 8 bastante degradados com fissuras e armaduras expostas. Cais 6 inoperacional. Cais 8 com laje colapsada.
- Cais 8b e Cais 9 em bom estado geral e em operação. Estacas prancha em boas condições e apenas com manchas isoladas de corrosão à superfície.



➤ Estado das estruturas existentes

- Cais 6, 7 e 8 bastante degradados com fissuras e armaduras expostas. Cais 6 inoperacional. Cais 8 com laje colapsada.
- Cais 8b e Cais 9 em bom estado geral e em operação. Estacas prancha em boas condições e apenas com manchas isoladas de corrosão à superfície.



➤ Estado das estruturas existentes

- Cais 6, 7 e 8 bastante degradados com fissuras e armaduras expostas. Cais 6 inoperacional. Cais 8 com laje colapsada.
- Cais 8b e Cais 9 em bom estado geral e em operação. Estacas prancha em boas condições e apenas com manchas isoladas de corrosão à superfície.



➤ Estado das estruturas existentes

- Cais 6, 7 e 8 bastante degradados com fissuras e armaduras expostas. Cais 6 inoperacional. Cais 8 com laje colapsada.
- Cais 8b e Cais 9 em bom estado geral e em operação. Estacas prancha em boas condições e apenas com manchas isoladas de corrosão à superfície.



➤ Geologia local

- A investigação geotécnica identificou um material aluvial argiloso e arenoso recente, a cobrir a Formação da Ponta Vermelha, composta por areia siltosa e que se torna arenito vermelho amarelado com a profundidade.
- A Formação da Ponta Vermelha em profundidade era um material muito uniforme e uma consistência muito densa, onde atingia valores de SPT – $N > 60$



0,00 m - 22,05 m



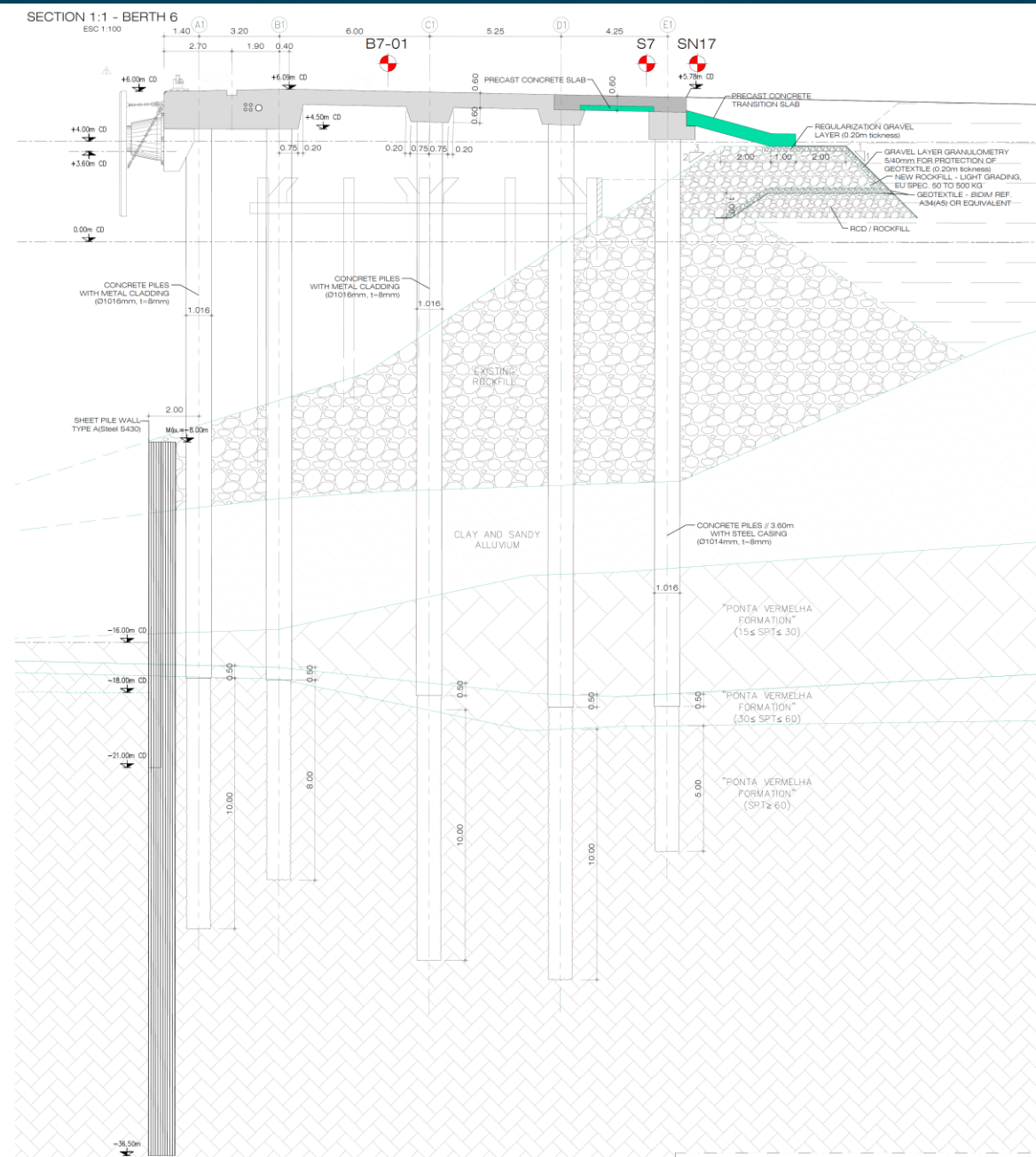
22,05 m - 25,50 m



25,50 m - 28,84 m

Cais 6, 7 e 8

- Cais em estacas de betão armado de Ø1000 mm encimadas por laje vigada de betão armado com largura variável (máx. 60 metros)
- Tabuleiro foi construído com recurso a um cimbreiro deslizante apoiado sobre as estacas executadas
- Combiwall submersa para garantir a estabilidade do talude existente que seria dragado para conseguir o aumento de profundidade à -16,0m ZH.

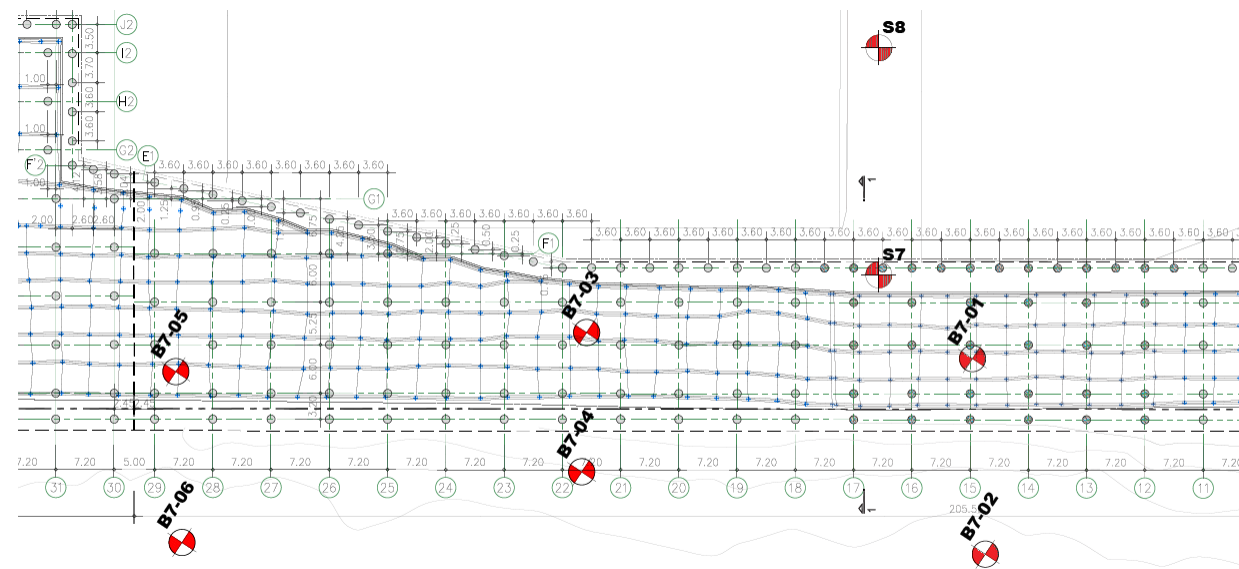
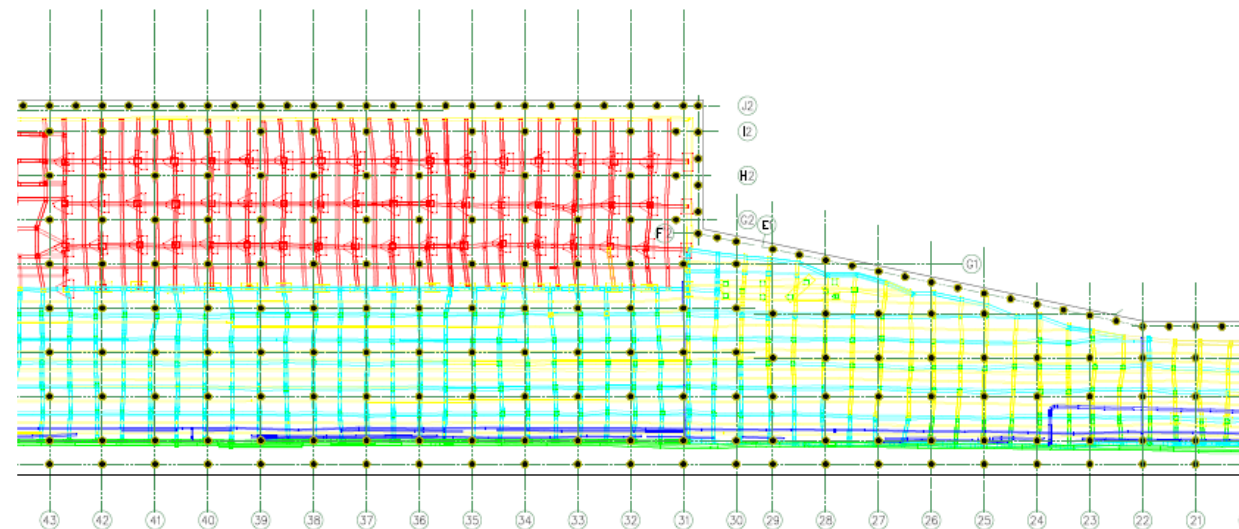
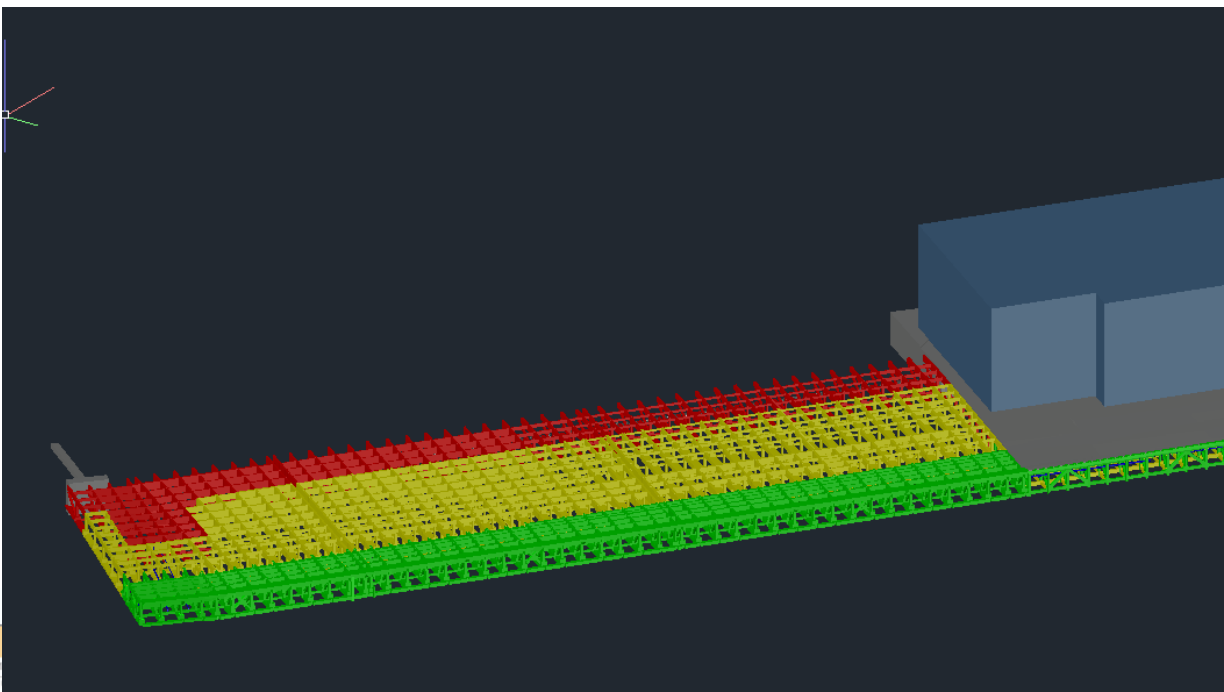


Corte Secção Cais 6

➤ Metodologia de construção

Elaboração do Projeto do Cais 6, 7 e 8

- Execução de sistema de varrimento laser para modelação tridimensional das fundações e outros elementos existentes no Cais 6, 7 e 8 através de uma plataforma móvel a bordo de uma embarcação com sensor LIDAR.



➤ Metodologia de construção

Elaboração do Projeto do Cais 6, 7 e 8

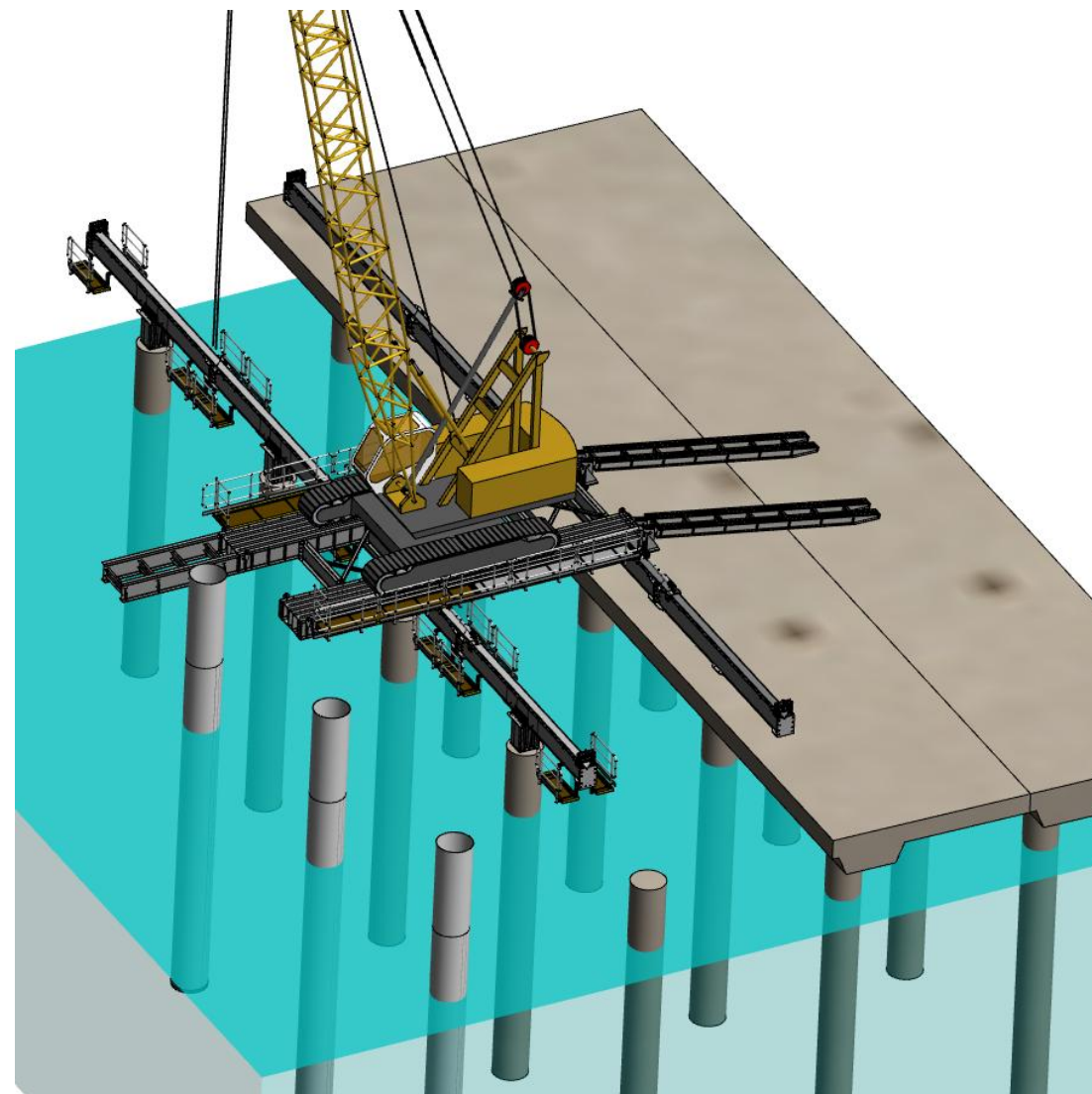
- Execução de sistema de varrimento laser para modelação tridimensional das fundações e outros elementos existentes no Cais 6, 7 e 8 através de uma plataforma móvel a bordo de uma embarcação com sensor LIDAR.
- Ensaios carga estático Método de Osterberg (O'Cell) com supercélula de 7.000 kN para verificar a capacidade de compressão axial da Estaca e obter a capacidade última de resistência do fuste (shaft skin friction) de cada camada de solo e capacidade de ponta da estaca.



➤ Metodologia de construção

Execução de estacas em betão armado do Cais 6, 7 e 8

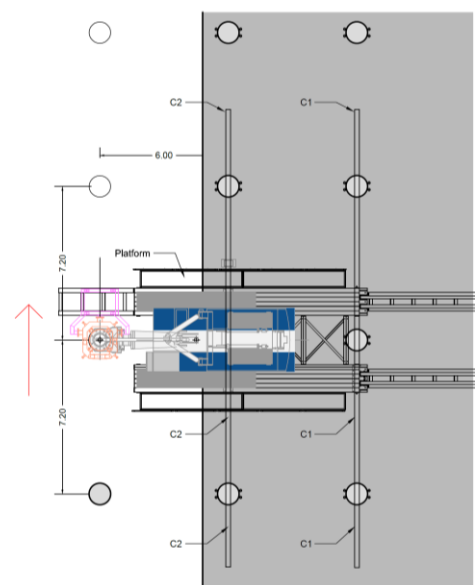
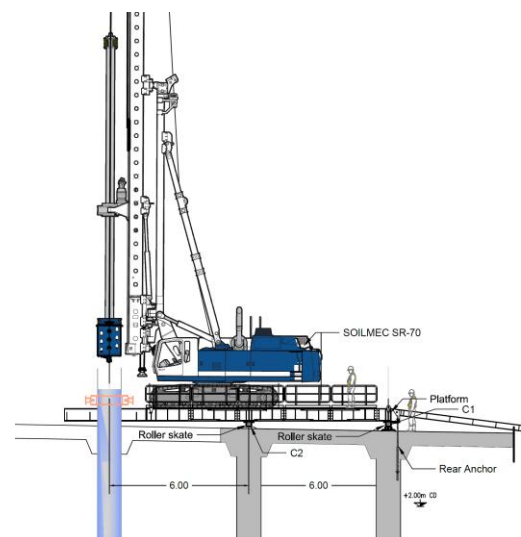
- Foram executadas 880 un de estacas em betão armado Ø1000 mm, com recurso a camisas metálicas, somando 31 km de estacas
- A complexidade da Empreitada deveu-se à condição actual do tabuleiro existente e à dificuldade de encontrar soluções que reduzissem o tráfego marítimo e rodoviário
- Para o faseamento construtivo adoptou-se a metodologia cantitravel evitando a mobilização de equipamentos flutuantes que não estavam disponíveis na região, e que por não pisar na água, também resulta num menor impacto no meio ambiente e no tráfego portuário



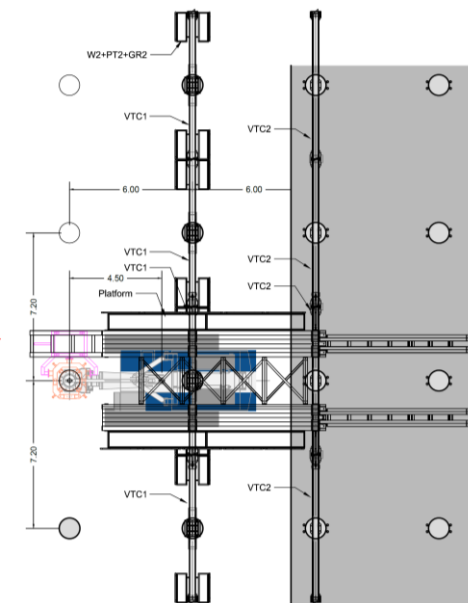
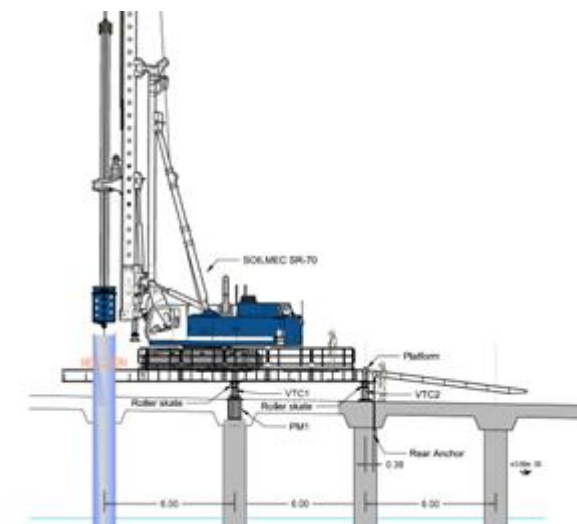
➤ Metodologia de construção

Execução de estacas em betão armado do Cais 6, 7 e 8

- Esta plataforma deslizante intercalava entre uma solução que apoiava sobre o novo tabuleiro, que era executado em fatias longitudinais com recurso a um cembre inferior deslizante e as estacas recentemente executadas:
- Cenário 1 apoiada, com ambos os apoios, sobre o tabuleiro já betonado;
- Cenário 2 apoiada sobre o tabuleiro já betonado na zona traseira e sobre uns plintos metálicos, fixos às estacas já executadas, na zona dianteira;



Cenário 1 1ª linha de estacas



Cenário 2 2ª linha de estacas

➤ FOTOGRAFIAS DA EXECUÇÃO



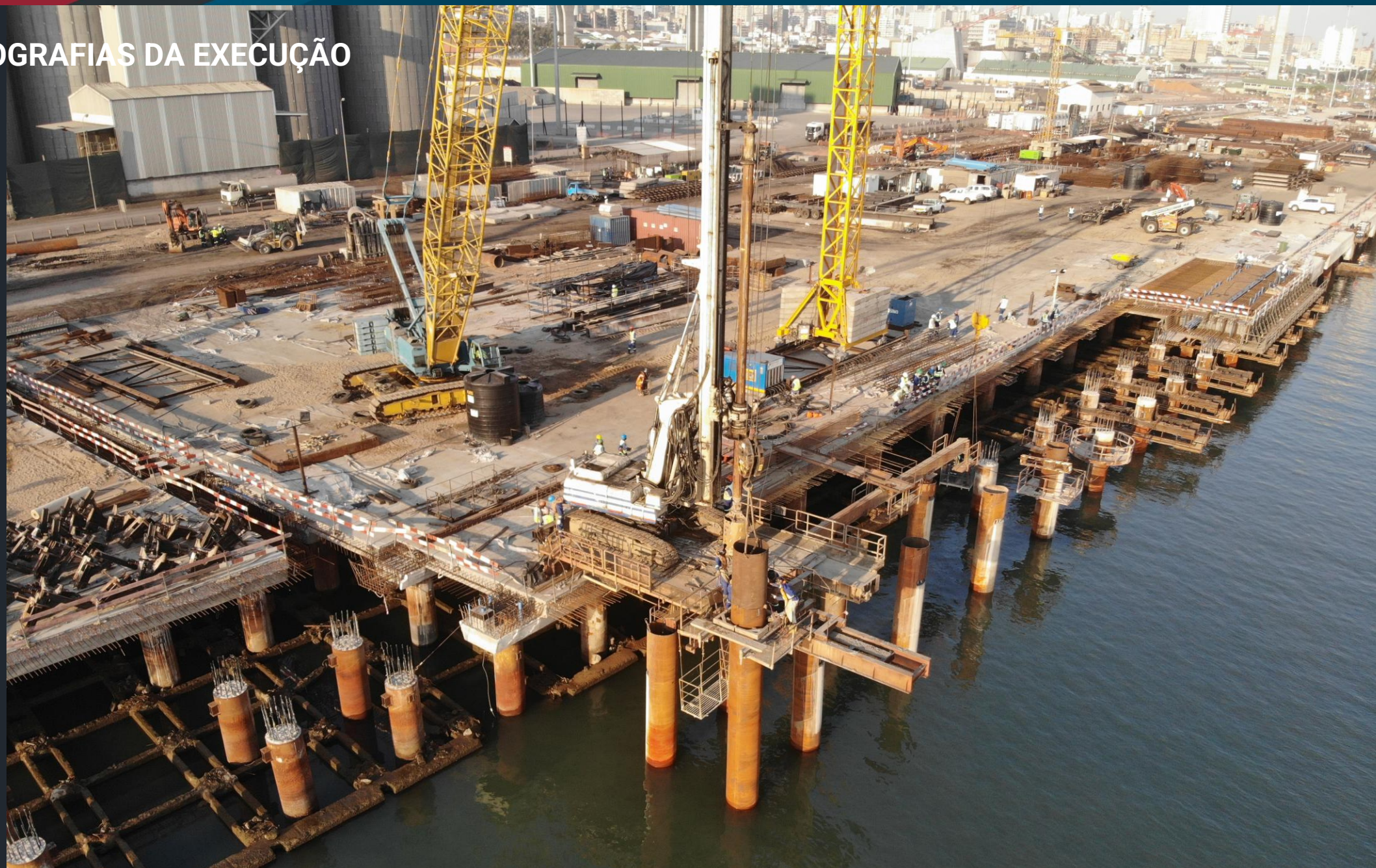
➤ **FOTOGRAFIA**



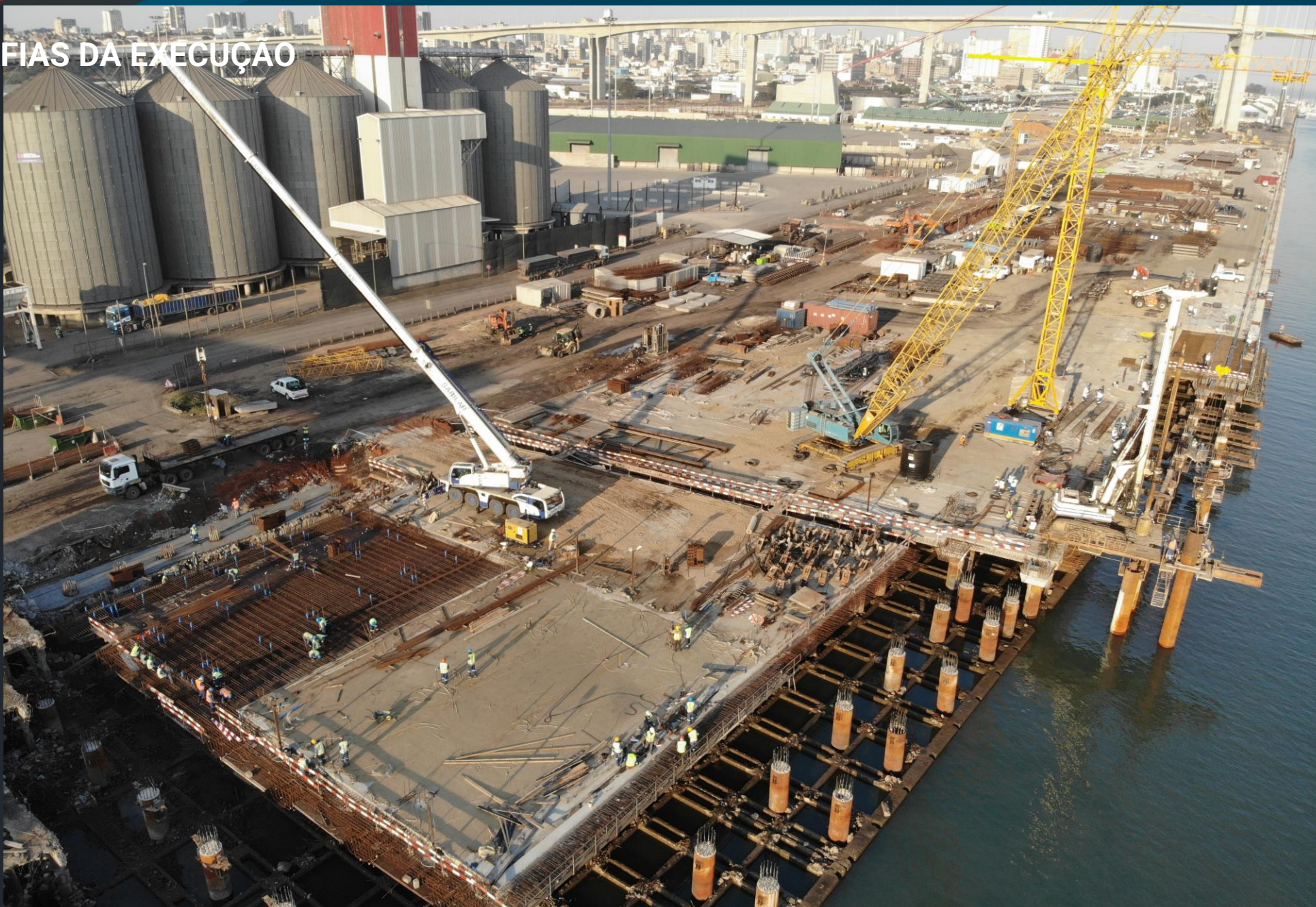
➤ FOTOGRAFIAS DA EXECUÇÃO



➤ **FOTOGRAFIAS DA EXECUÇÃO**



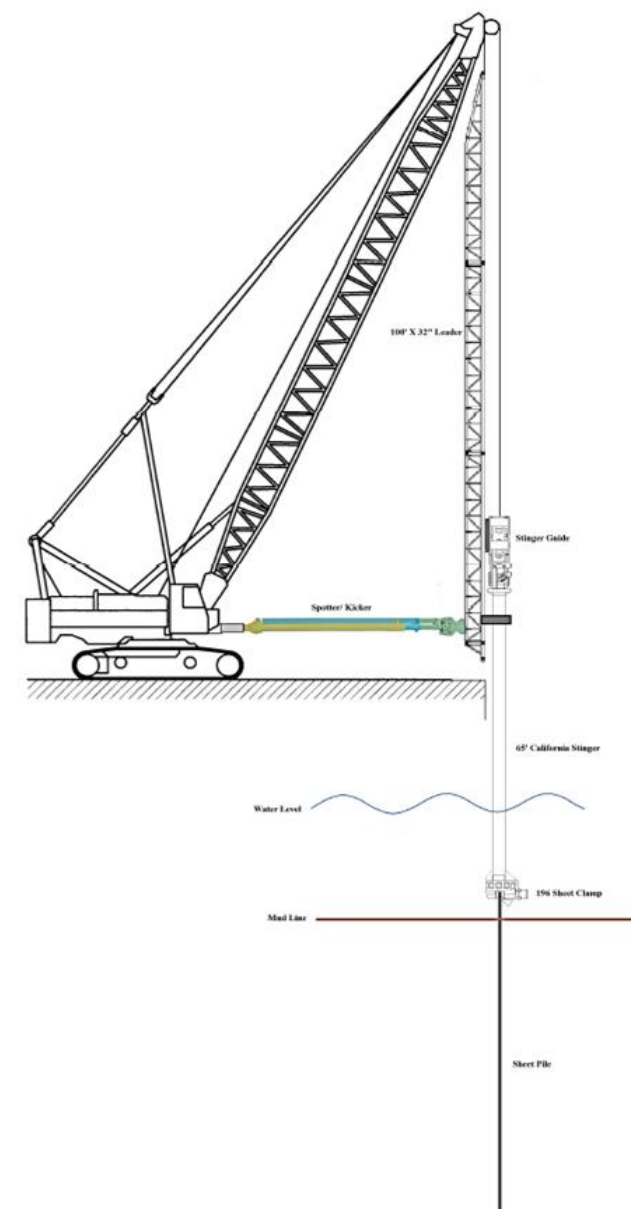
➤ **FOTOGRAFIAS DA EXECUÇÃO**



➤ Metodologia de construção

Cortina combinada de estacas prancha submersa do Cais 6, 7 e 8

- Ambiente geológico muito desfavorável à cravação (terrenos granulares com $SPT > 50$) e comprimentos de penetração consideráveis (18,5 m) em terrenos muito densos. Análise de cravabilidade com GRLWEAP para tomada de decisão de martelos a mobilizar.
- Porte da cortina com comprimento até 28,5 m e peso dos perfis até 24 t
- Cortina submersa sem ser possível de visualizar à superfície o trabalho a executar, nem possibilidade de acompanhar com trabalhos de mergulho (corrente forte e má visibilidade)
- Técnicas auxiliares: pré-dragagem, corte das estacas, pré-furação com vara kelly e water jetting

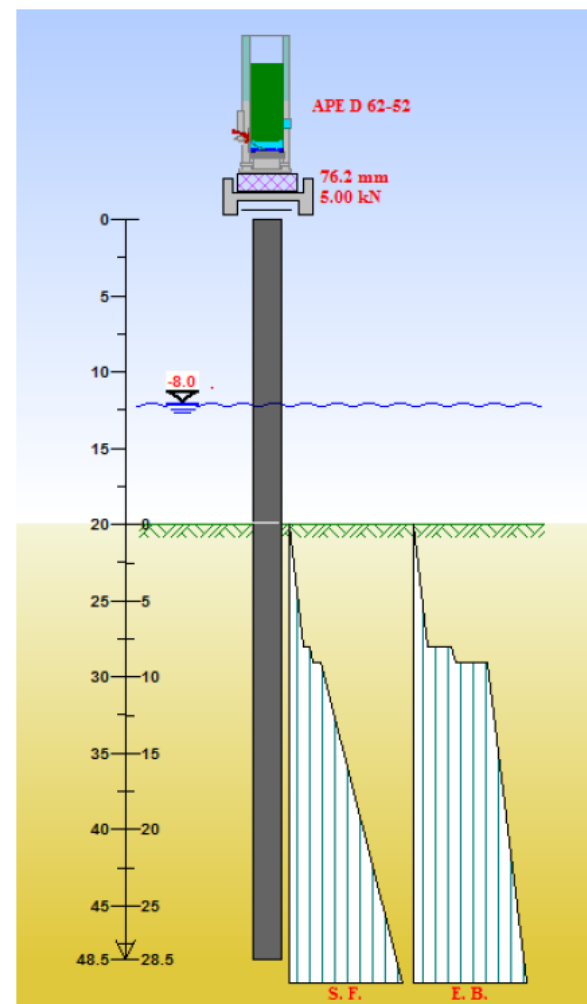


Setup para execução da Combiwall

➤ Metodologia de construção

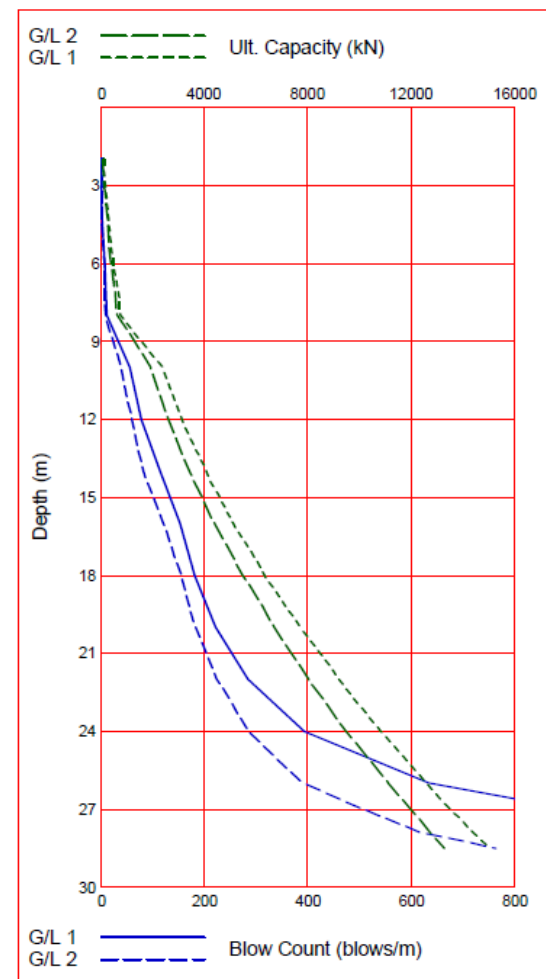
Cortina combinada de estacas prancha submersa do Cais 6, 7 e 8

- Ambiente geológico muito desfavorável à cravação (terrenos granulares com $SPT > 50$) e comprimentos de penetração consideráveis (18,5 m) em terrenos muito densos. Análise de cravabilidade com GRLWEAP para tomada de decisão de martelos a mobilizar.
- Porte da cortina com comprimento até 28,5 m e peso dos perfis até 24 t
- Cortina submersa sem ser possível de visualizar à superfície o trabalho a executar, nem possibilidade de acompanhar com trabalhos de mergulho (corrente forte e má visibilidade)
- Técnicas auxiliares: pré-dragagem, corte das estacas, pré-furação com vara kelly e water jetting



CASE 1A

Análise de cravabilidade GRLWEAP



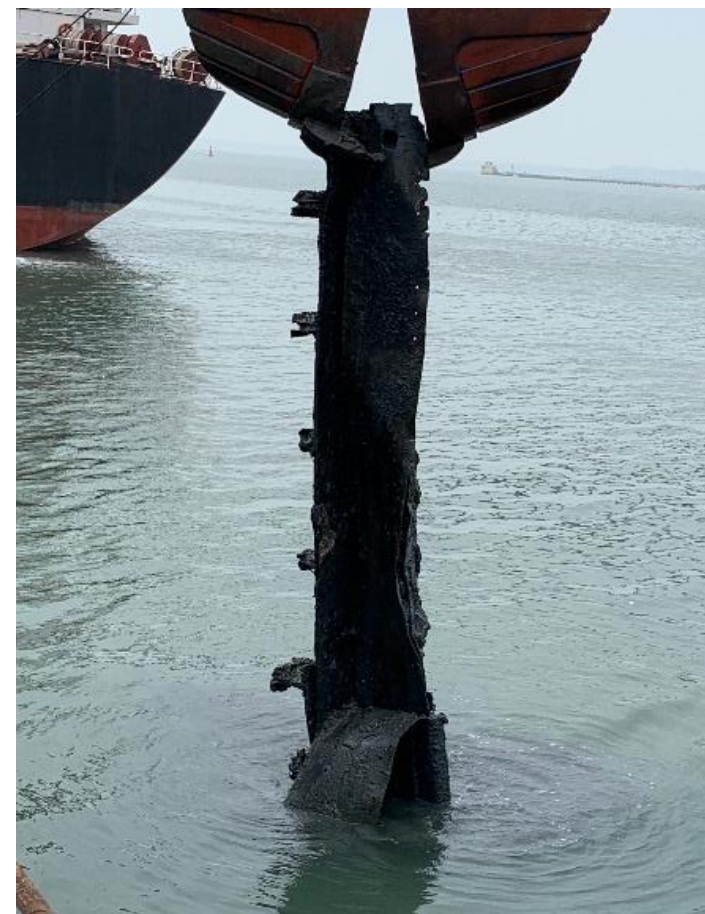
➤ Metodologia de construção

Cortina combinada de estacas prancha submersa do Cais 6, 7 e 8

- Ambiente geológico muito desfavorável à cravação (terrenos granulares com $SPT > 50$) e comprimentos de penetração consideráveis (18,5 m) em terrenos muito densos. Análise de cravabilidade com GRLWEAP para tomada de decisão de martelos a mobilizar.
- Porte da cortina com comprimento até 28,5 m e peso dos perfis até 24 t
- Cortina submersa sem ser possível de visualizar à superfície o trabalho a executar, nem possibilidade de acompanhar com trabalhos de mergulho (corrente forte e má visibilidade)
- Técnicas auxiliares: pré-dragagem, corte das estacas, pré-furação com vara kelly e water jetting



Pré-dragagem do fundo marinho

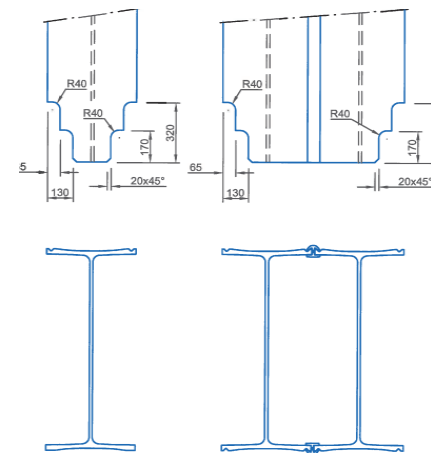


Setup para execução da Combiwall

➤ Metodologia de construção

Cortina combinada de estacas prancha submersa do Cais 6, 7 e 8

- Ambiente geológico muito desfavorável à cravação (terrenos granulares com $SPT > 50$) e comprimentos de penetração consideráveis (18,5 m) em terrenos muito densos. Análise de cravabilidade com GRLWEAP para tomada de decisão de martelos a mobilizar.
- Porte da cortina com comprimento até 28,5 m e peso dos perfis até 24 t
- Cortina submersa sem ser possível de visualizar à superfície o trabalho a executar, nem possibilidade de acompanhar com trabalhos de mergulho (corrente forte e má visibilidade)
- Técnicas auxiliares: pré-dragagem, corte das estacas, pré-furação com vara kelly e water jetting

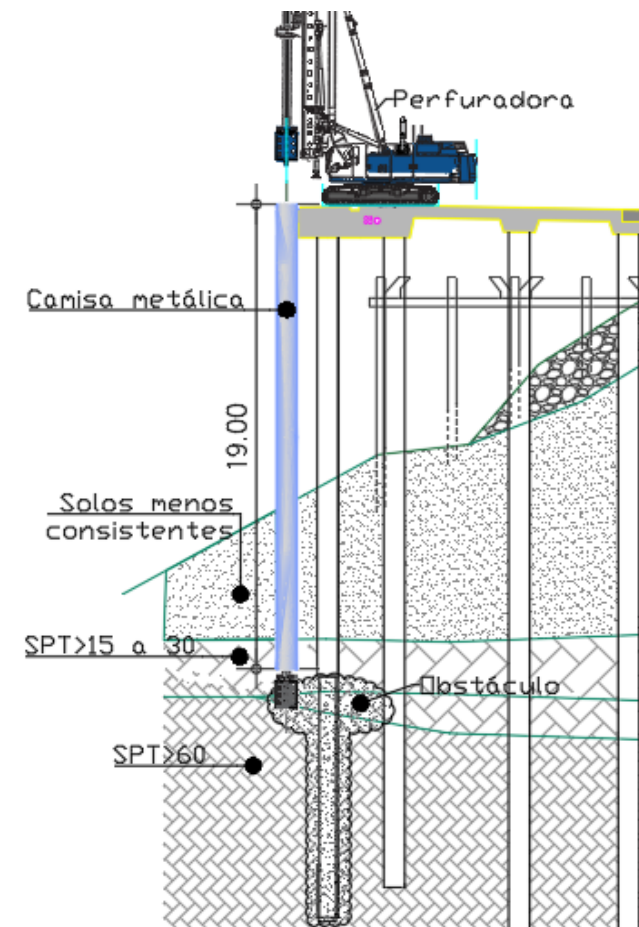


Corte das estacas

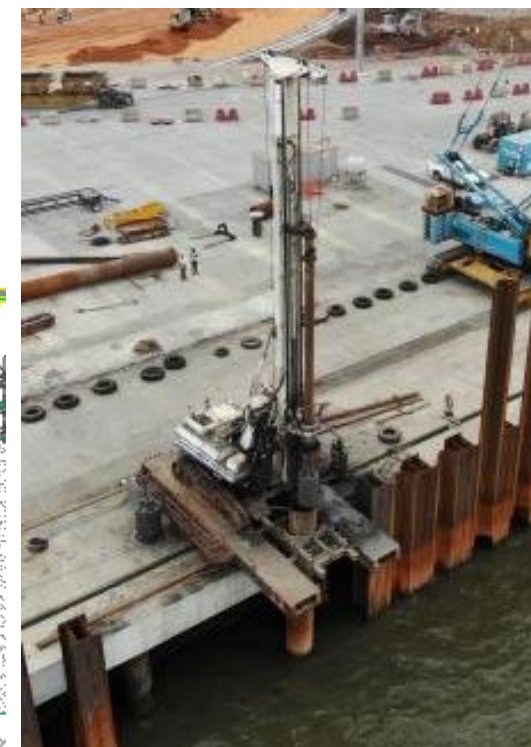
➤ Metodologia de construção

Cortina combinada de estacas prancha submersa do Cais 6, 7 e 8

- Ambiente geológico muito desfavorável à cravação (terrenos granulares com $SPT > 50$) e comprimentos de penetração consideráveis (18,5 m) em terrenos muito densos. Análise de cravabilidade com GRLWEAP para tomada de decisão de martelos a mobilizar.
- Porte da cortina com comprimento até 28,5 m e peso dos perfis até 24 t
- Cortina submersa sem ser possível de visualizar à superfície o trabalho a executar, nem possibilidade de acompanhar com trabalhos de mergulho (corrente forte e má visibilidade)
- Técnicas auxiliares: pré-dragagem, corte das estacas, pré-furação com vara kelly e water jetting



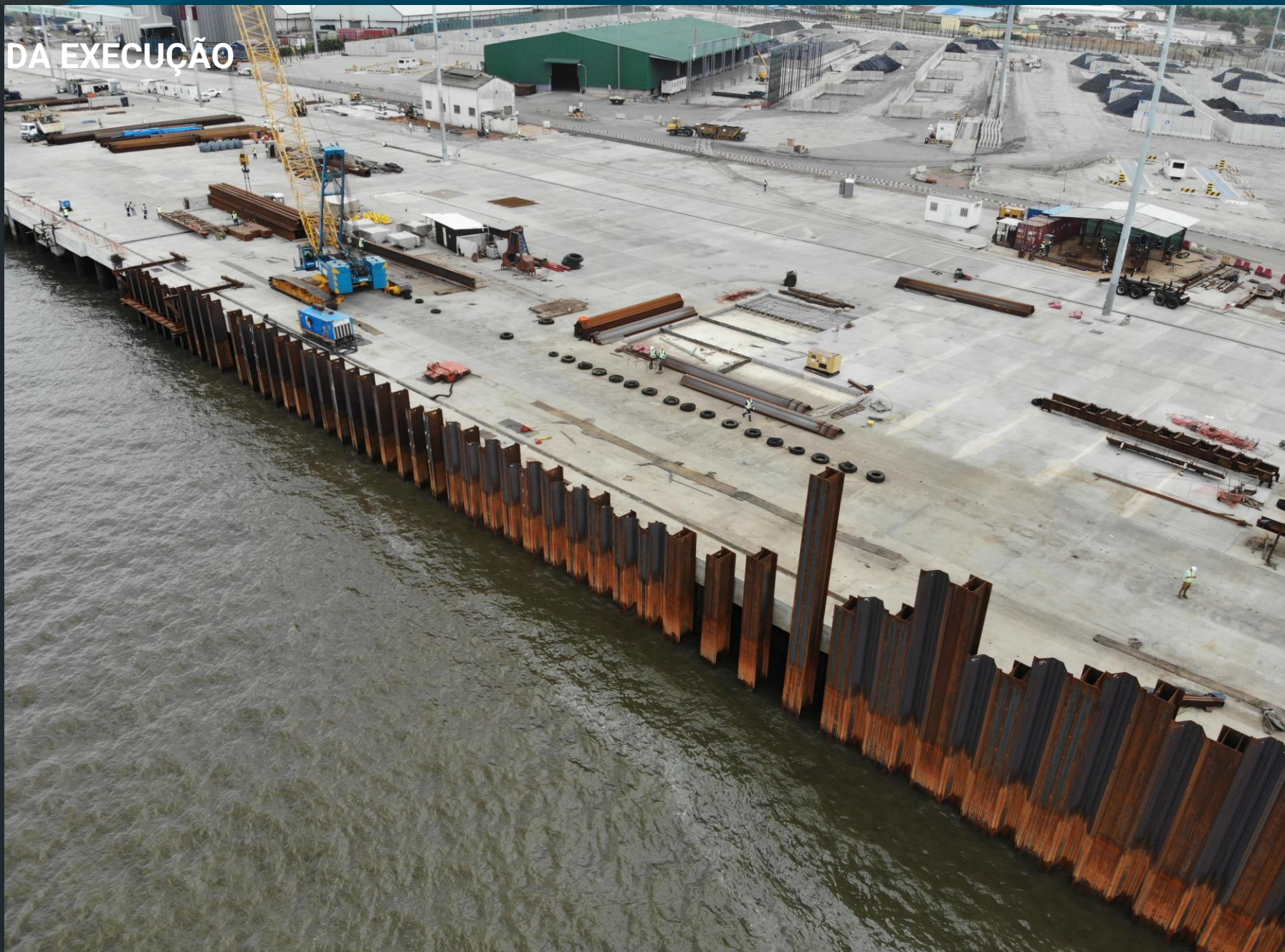
Pré-furação para limpeza de obstáculos



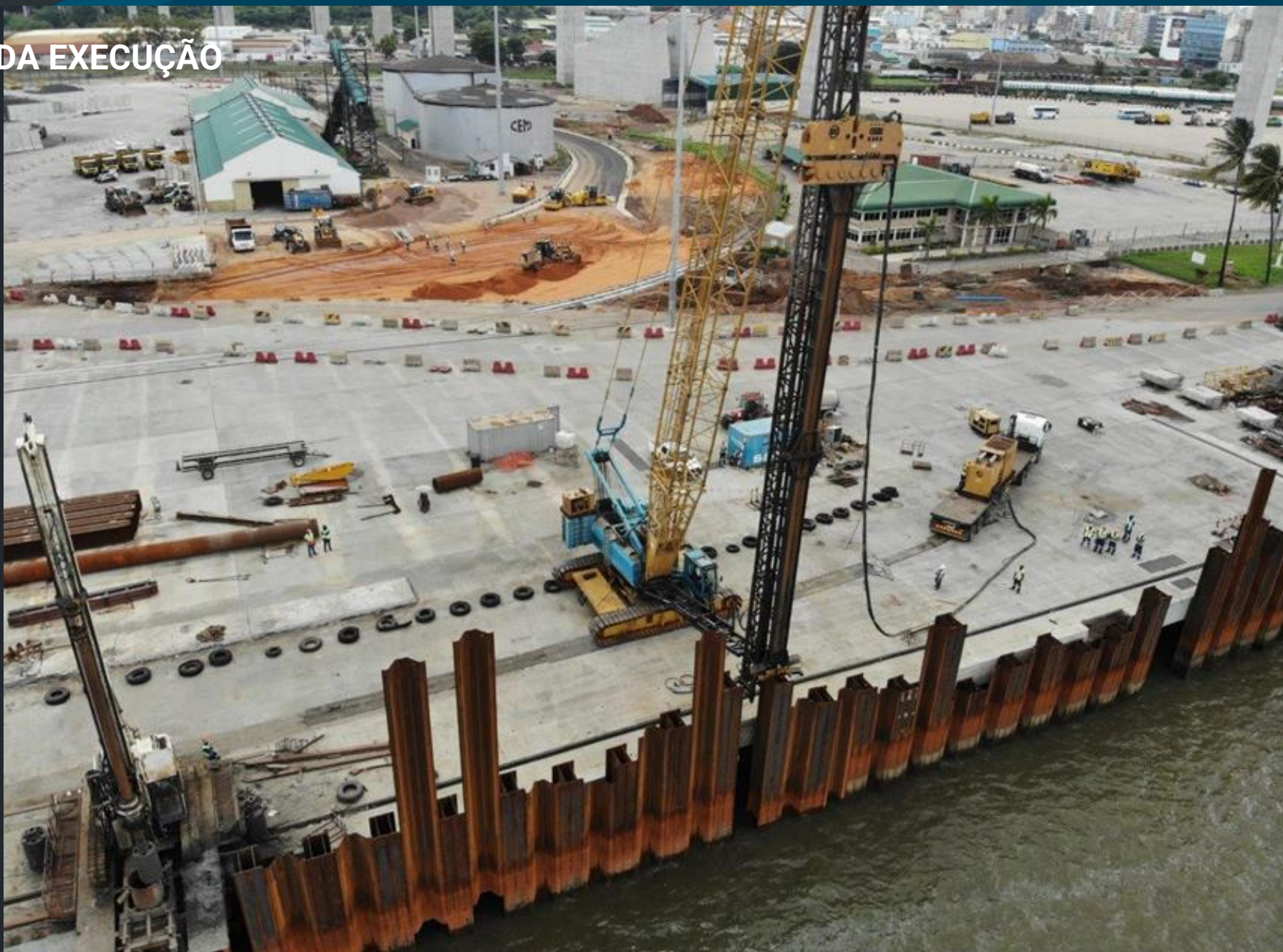
➤ **FOTOGRAFIAS DA EXECUÇÃO**



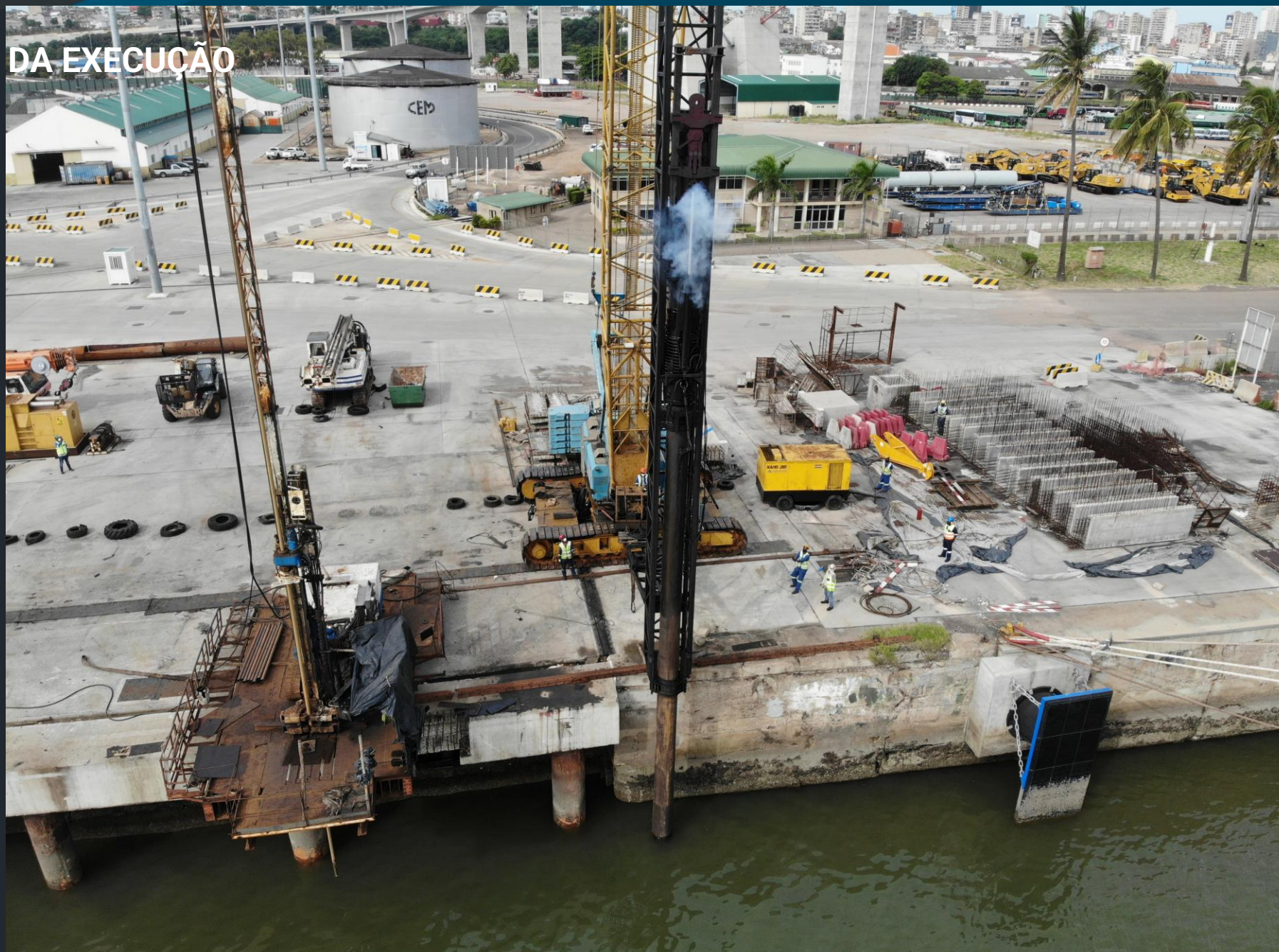
➤ **FOTOGRAFIAS DA EXECUÇÃO**



➤ **FOTOGRAFIAS DA EXECUÇÃO**



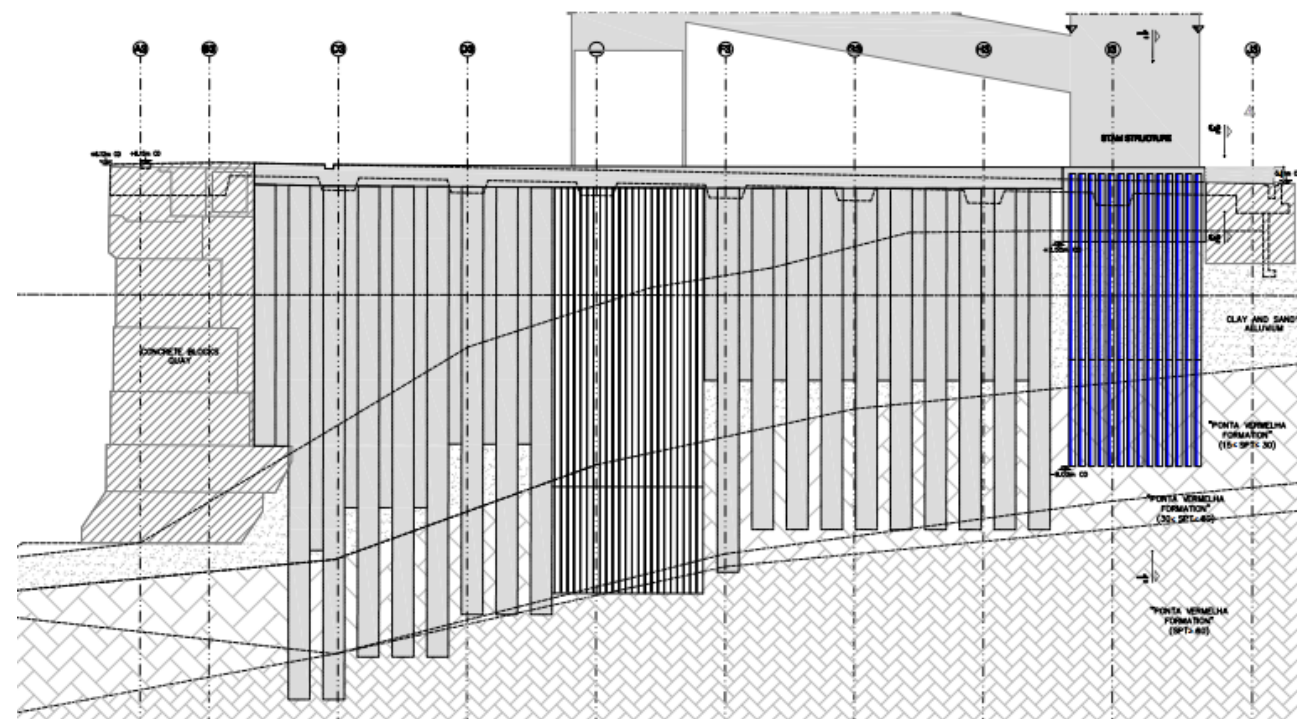
➤ **FOTOGRAFIAS DA EXECUÇÃO**



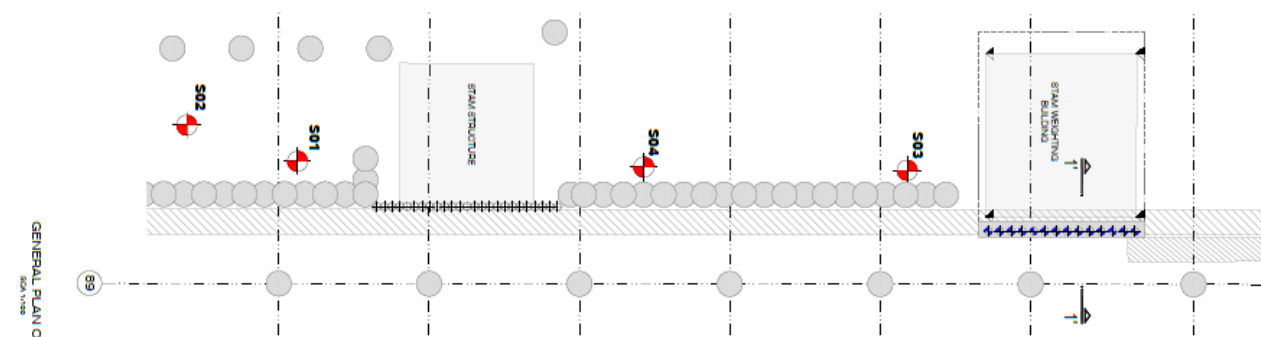
➤ Soluções aplicadas

Transição entre o Cais 8 e o Cais 8b

- Muro de contenção em estacas de betão secantes, Ø1000 mm moldadas in situ numa extensão de 38 metros. As estacas tinham comprimento variável entre 10 e 23 metros, num total de 738 ml, e executadas com recurso a tubo molde recuperável e furação com vara Kelly.
- Contenção em micro-estacas tangentes na área de acesso condicionado.



Corte Secção Muro de Contenção



Planta Muro de Contenção

➤ Metodologia de construção

Muro de contenção de transição entre o Cais 8 e o Cais 8b para substituição da cortina de estacas prancha em colapso

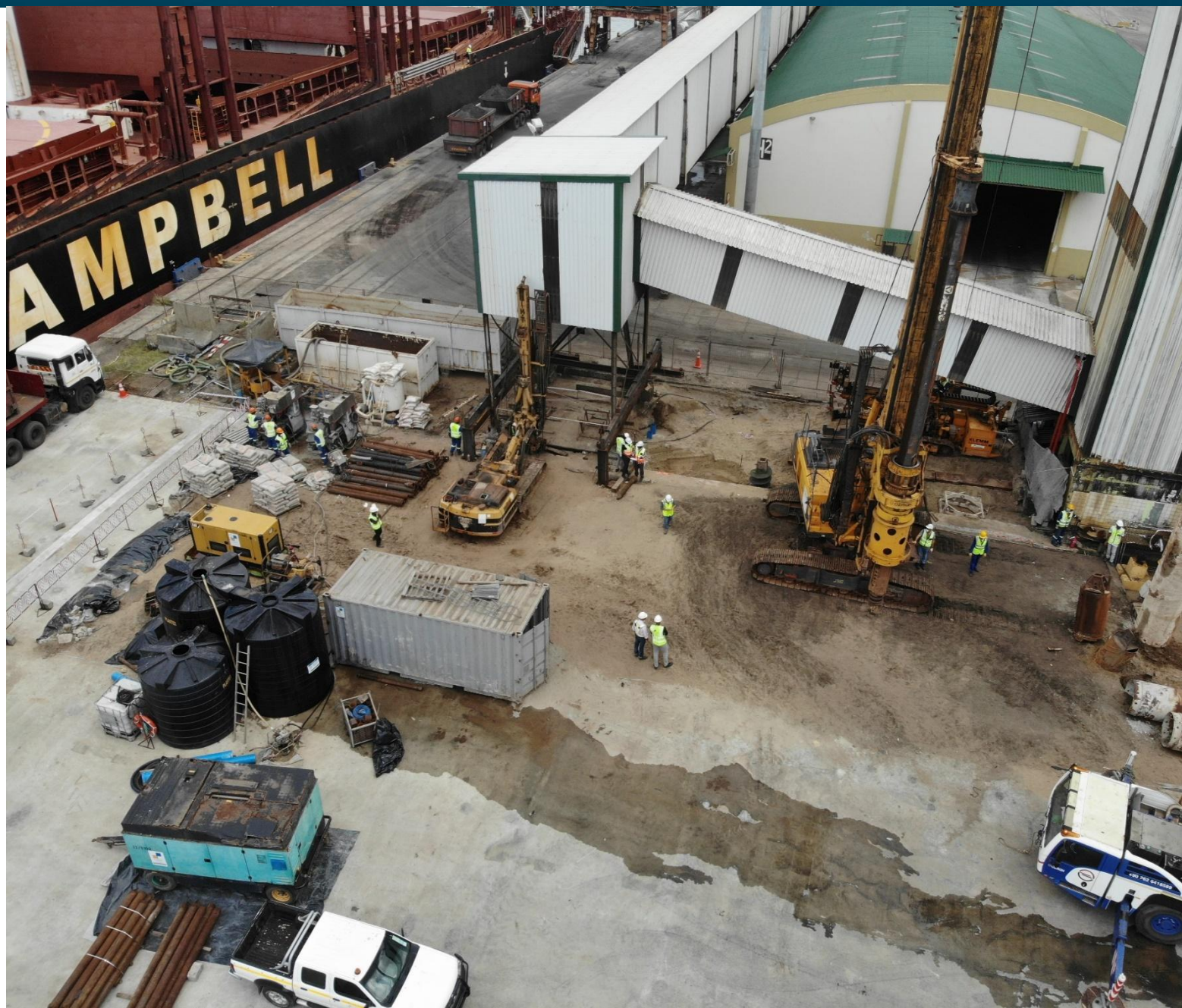
- Execução de estacas secantes com tubo moldador recuperável e vara kelly
- Execução de micro-estacas tangentes por debaixo do edifício



➤ Metodologia de construção

Muro de contenção de transição entre o Cais 8 e o Cais 8b para substituição da cortina de estacas prancha em colapso

- Execução de estacas secantes com tubo moldador recuperável e vara kelly
- Execução de micro-estacas tangentes por debaixo do edifício



➤ Metodologia de construção

Muro de contenção de transição entre o Cais 8 e o Cais 8b para substituição da cortina de estacas prancha em colapso

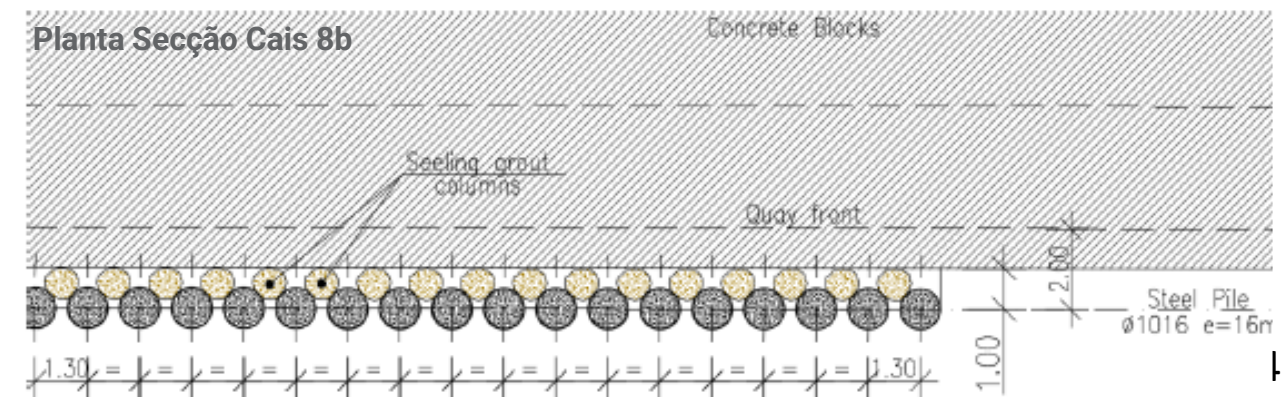
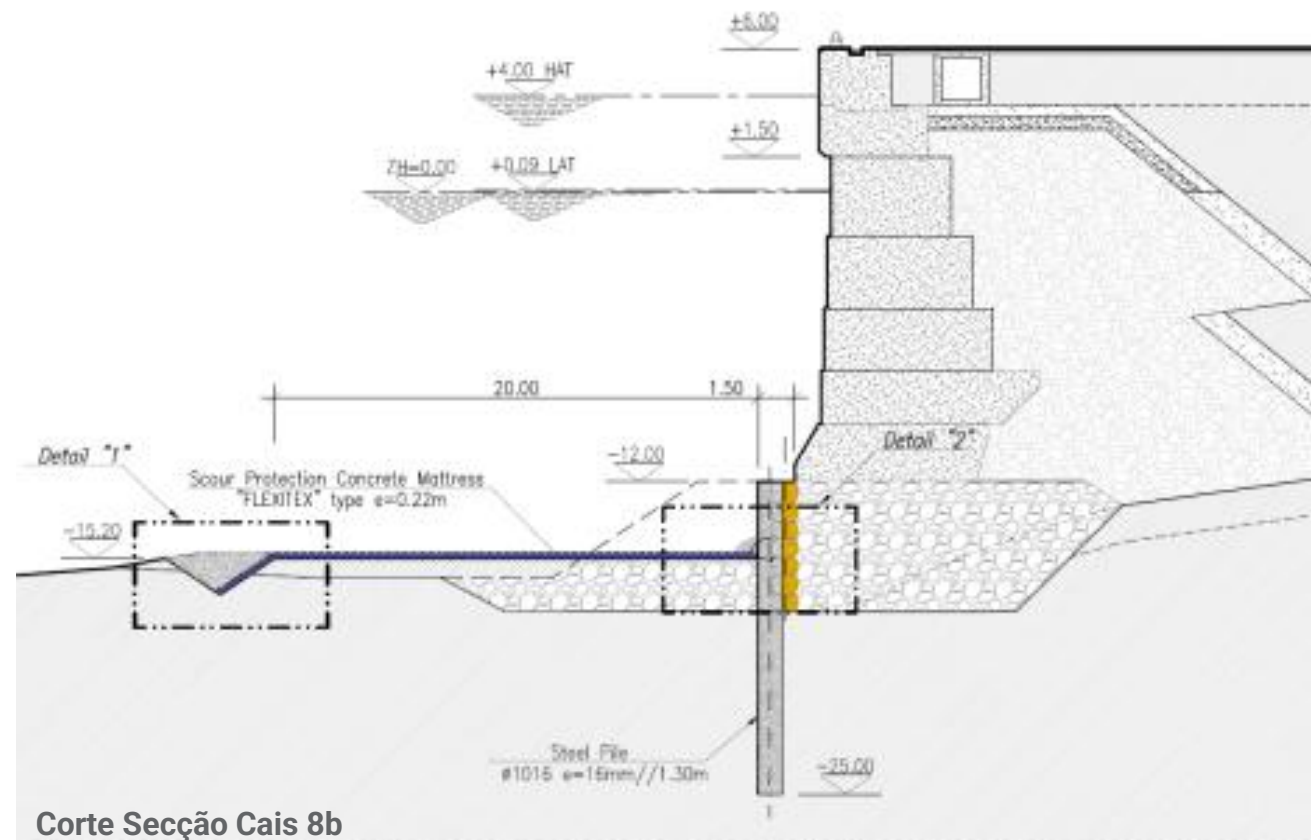
- Execução de estacas secantes com tubo moldador recuperável e vara kelly
- Execução de micro-estacas tangentes por debaixo do edifício



► Soluções aplicadas

Cais 8b e 9

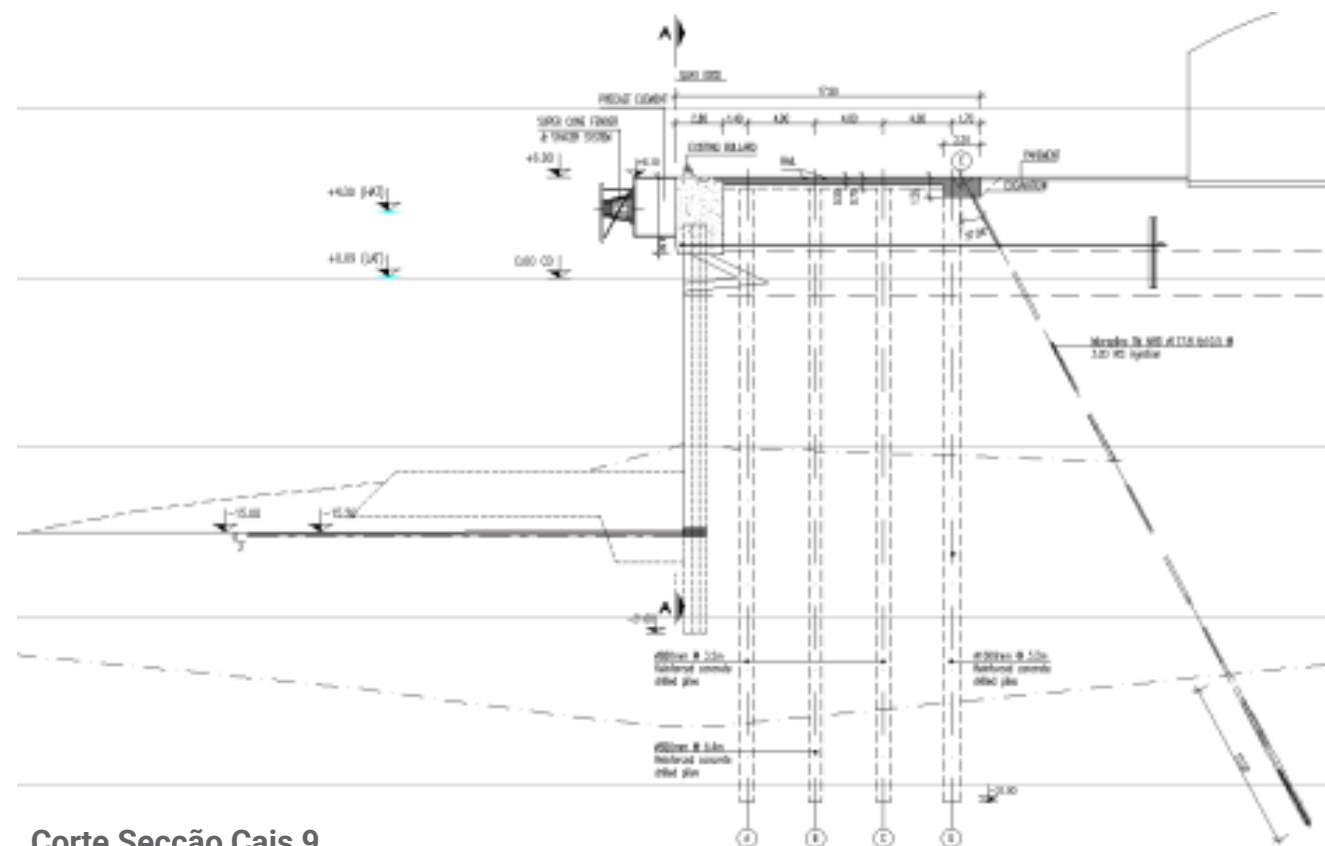
- Construção de cortina de estacas metálicas preenchidas com betão em frente ao cais existente para assegurar a contenção do prisma de fundação e assegurar a segurança e estabilidade do cais em blocos.
- Para aprofundamento do cais de estacas-prancha metálicas, a construção de uma plataforma de alívio construída através de estacas moldadas encimadas por uma laje de betão armada ligada à viga de coroamento existente.



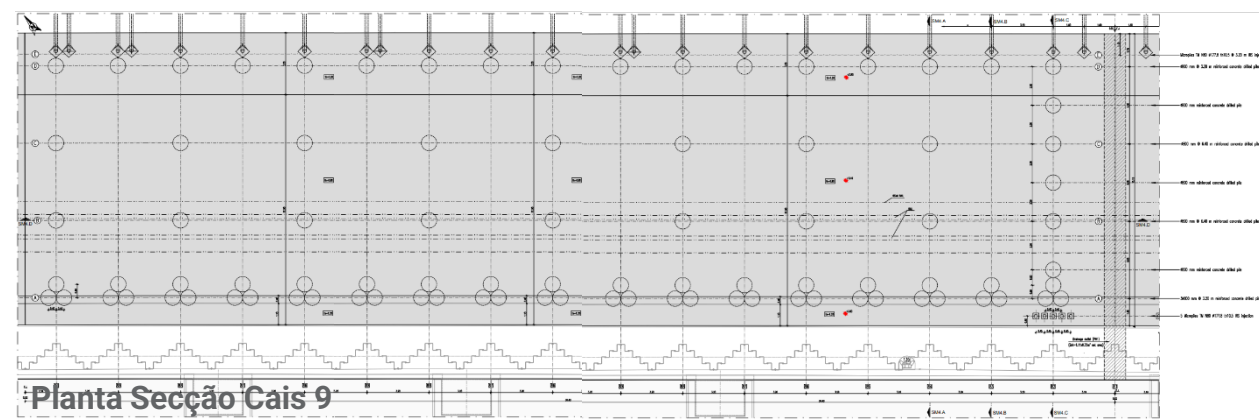
➤ Soluções aplicadas

Cais 8b e 9

- Construção de cortina de estacas metálicas preenchidas com betão em frente ao cais existente para assegurar a contenção do prisma de fundação e assegurar a segurança e estabilidade do cais em blocos.
- Para aprofundamento do cais de estacas-prancha metálicas, a construção de uma plataforma de alívio construída através de estacas moldadas encimadas por uma laje de betão armada ligada à viga de coroamento existente.



Corte Secção Cais 9



Planta Secção Cais 9

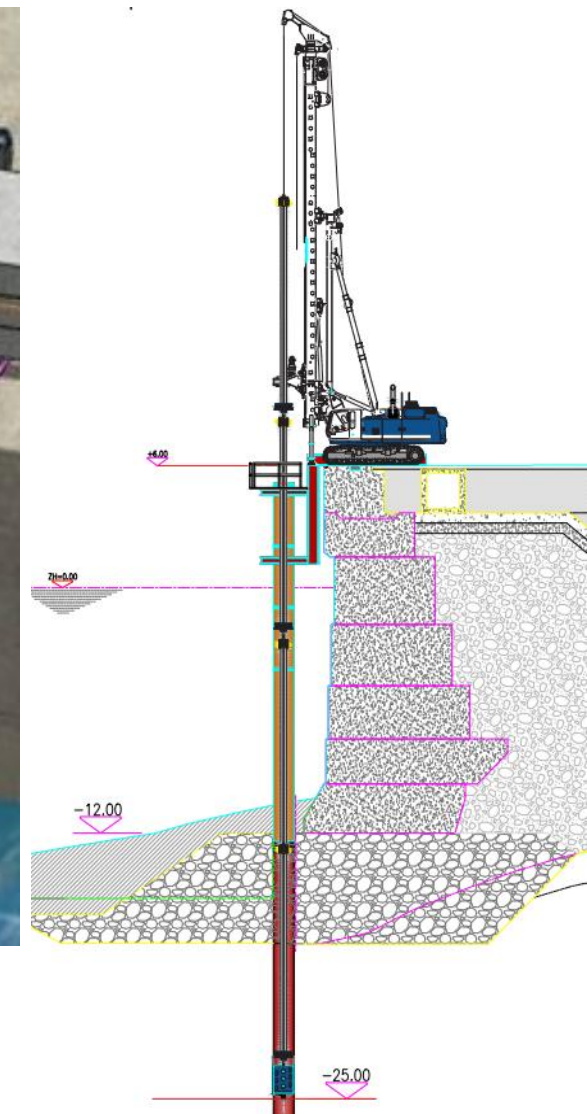
➤ Metodologia de construção

Cortina de estacas metálicas de contenção do prisma de fundação do Cais 8 em blocos

- Sistema de furação à rotação com ferramenta de corte na camisa perdida. Recuperação das extensões através das porcas TCV com mergulhadores.
- Execução de 120 estacas de estacas Ø1000mm e 120 unidades de colunas de selagem Ø600mm



Setup para execução da cortina de estacas metálicas



➤ Metodologia de construção

Cortina de estacas metálicas de contenção do prisma de fundação do Cais 8 em blocos

- Sistema de furação à rotação com ferramenta de corte na camisa perdida. Recuperação das extensões através das porcas TCV com mergulhadores.
- Execução de 120 estacas de estacas Ø1000mm e 120 unidades de colunas de selagem Ø600mm



➤ Metodologia de construção

Cortina de estacas metálicas de contenção do prisma de fundação do Cais 8 em blocos

- Sistema de furação à rotação com ferramenta de corte na camisa perdida. Recuperação das extensões através das porcas TCV com mergulhadores.
- Execução de 120 estacas de estacas Ø1000mm e 120 unidades de colunas de selagem Ø600mm



➤ Metodologia de construção

Estacas da plataforma de alívio do Cais 9

- Execução de estacas escavadas com tubo guia e lamas bentoníticas
- Foram executadas 527 un de estacas Ø800mm e um comprimento total de 14.500 m
- Executadas um total de 142 un de micro-estacas, com comprimento total de 3.500 m de perfuração.



➤ Metodologia de construção

Estacas da plataforma de alívio do Cais 9

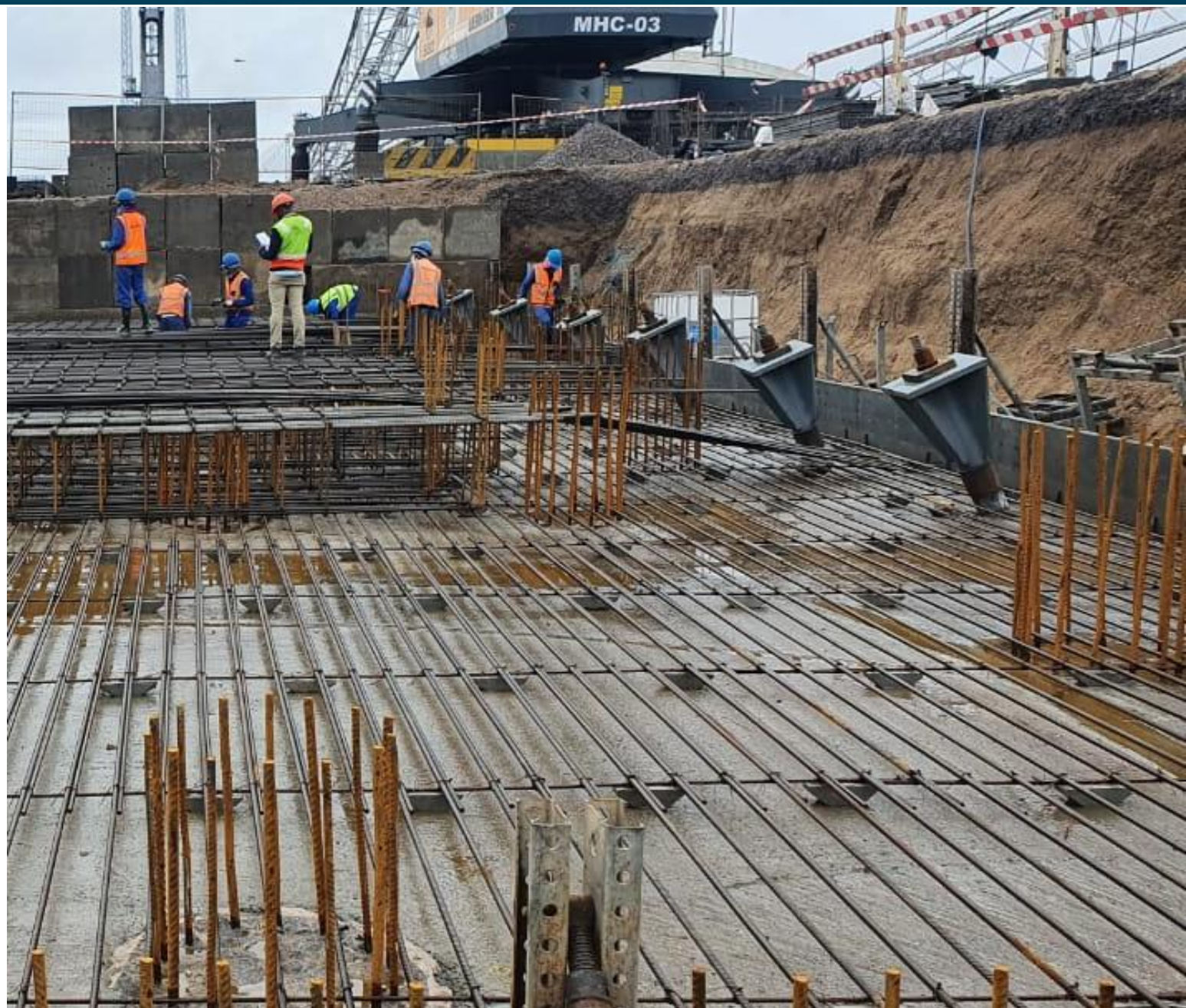
- Execução de estacas escavadas com tubo guia e lamas bentoníticas
- Foram executadas 527 un de estacas Ø800mm e um comprimento total de 14.500 m
- Executadas um total de 142 un de micro-estacas, com comprimento total de 3.500 m de perfuração.



➤ Metodologia de construção

Estacas da plataforma de alívio do Cais 9

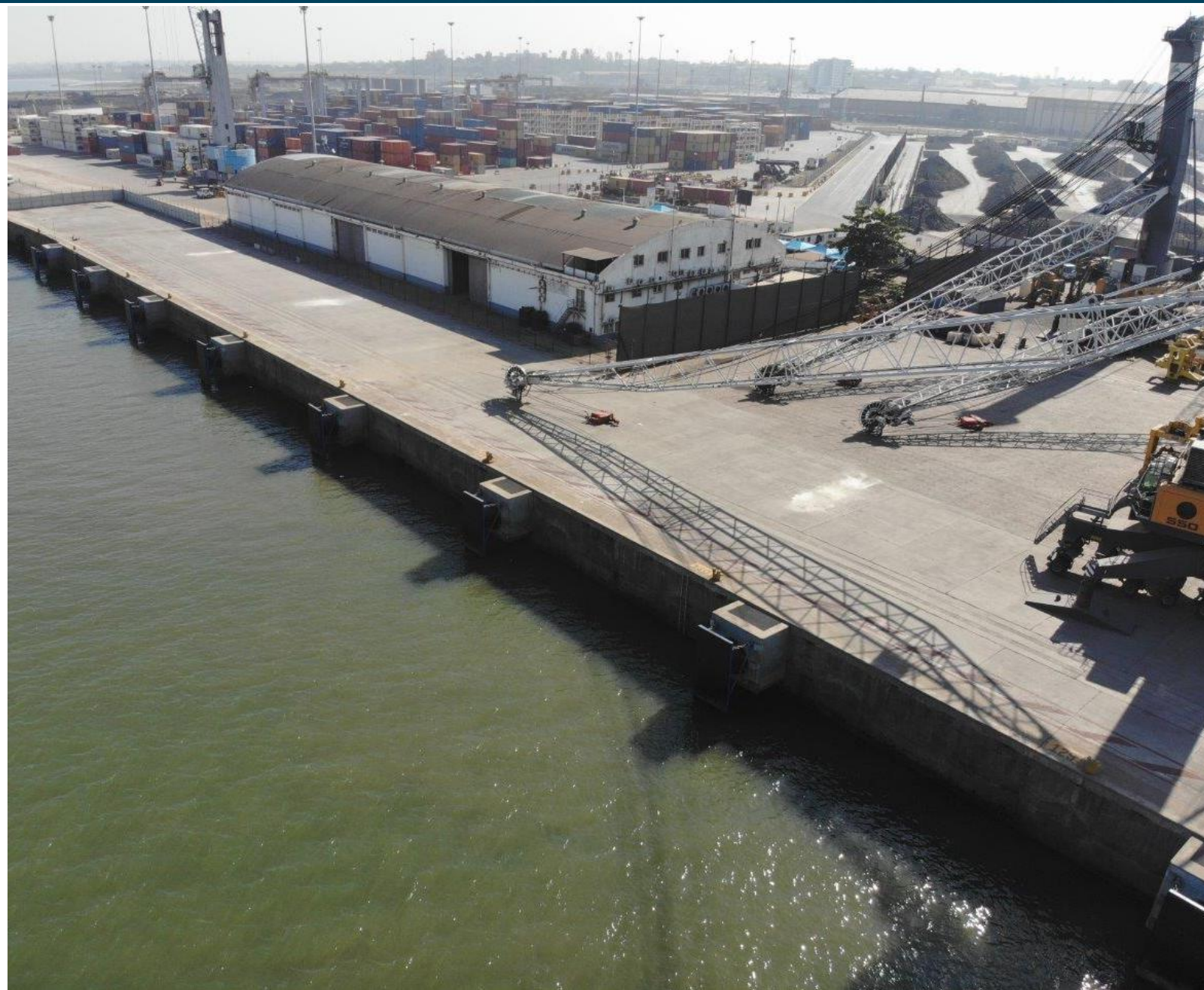
- Execução de estacas escavadas com tubo guia e lamas bentoníticas
- Foram executadas 527 un de estacas Ø800mm e um comprimento total de 14.500 m
- Executadas um total de 142 un de micro-estacas, com comprimento total de 3.500 m de perfuração.



➤ Metodologia de construção

Estacas da plataforma de alívio do Cais 9

- Execução de estacas escavadas com tubo guia e lamas bentoníticas
- Foram executadas 527 un de estacas Ø800mm e um comprimento total de 14.500 m
- Executadas um total de 142 un de micro-estacas, com comprimento total de 3.500 m de perfuração.





**OBRIGADO PELA
VOSSA ATENÇÃO.**

João Lála dos Santos

joao.p.santos@mota-engil.pt