

Escavações profundas em materiais de alta resistência e uso de Hidrofresa. Da concepção geotécnica e estrutural ao produto final.

Parte 02 – Metodologia e Construção

O sistema de perfurações conhecido como Hidrofresa, chegado ao Brasil há pouco mais de dois anos, já caminha para seu estado de arte contando com a realização de empreendimentos de sucesso.

O sistema tem como marca registrada, além de ultrapassar barreiras para terrenos mais resistentes e rochas, sua competência de precisão, controle e registro de perfurações aferindo ganho de qualidade no produto final de paredes diafragma e estacas barrete.

Serão apresentados neste trabalho, além de uma breve conceituação do sistema, um caso de obra recentemente finalizados no Brasil.

HIDROFRESA

Complexa ferramenta de corte em corpo rígido de aço dotada de motores hidráulicos, correntes e rodas de corte, bomba de aspiração hidráulica, dispositivos de auto-correção de verticalidade e completo sistema eletrônico de controle.

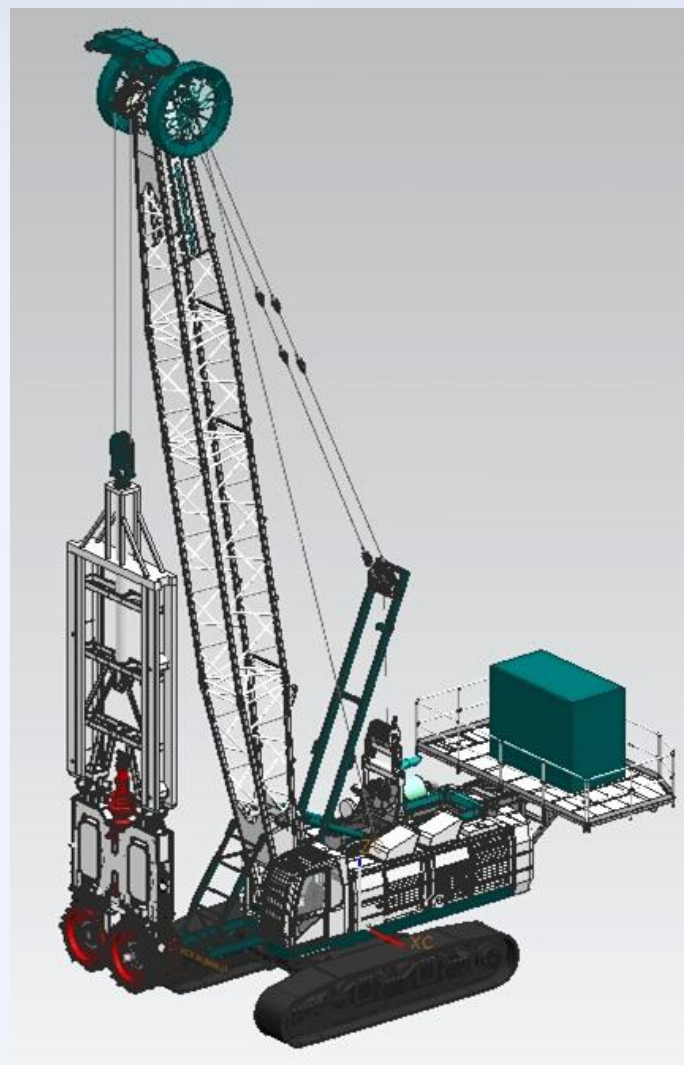


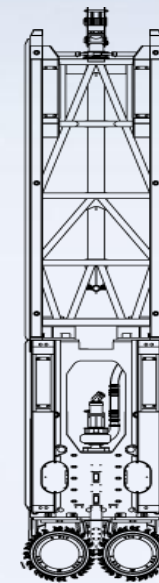
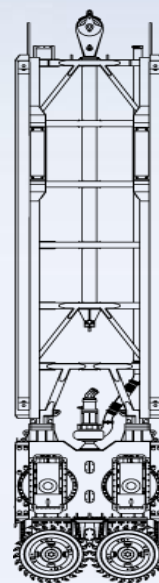
Guindaste Propulsor



FD 30		
Largura hydromill	mm	2500
Espessura de escavação	mm	600 ÷ 1000
Torque (eixo rodas de corte)	kNm	2 x 36
Rotações da roda de corte	rpm	0 ÷ 27
Velocidade da roda de corte	m/sec	1,8
Central óleo dinâmica adicional	kW	200
Vazão da bomba de sucção dos fluídos estabilizantes com os detritos da escavação	m³/h	400
Peso	t	23
Profundidade de escavação	m	50

C 600		
Motor	Deutz AG TCD 2015 Vo8 (EPA/COM III) Turbocharged	
Potência	kW	440
Guincho posterior	kN	250
Guincho anterior	kN	250
Dimensões		
Largura para transporte	mm	3000
Largura do equipamento em operação com as esteiras abertas	mm	4480





Hidromill		FD60
Comprimento hydromill	mm	3150
Dimensão da escavação	mm	660 ÷ 1200
Torque (eixo rodas)	kNm	2 x 90
Rotação da roda de corte	rpm	0 ÷ 29
Velocidade da roda de corte	m/sec	2,5
Altura manométrica máxima da bomba	m	40
Vazão máxima da bomba de sucção	m ³ /h	450
Peso	t	33 - 37

Os motores hidráulicos acionam as ferramentas de corte rotativas da extremidade inferior da ferramenta com auxílio do movimento de correntes à altíssima velocidade.

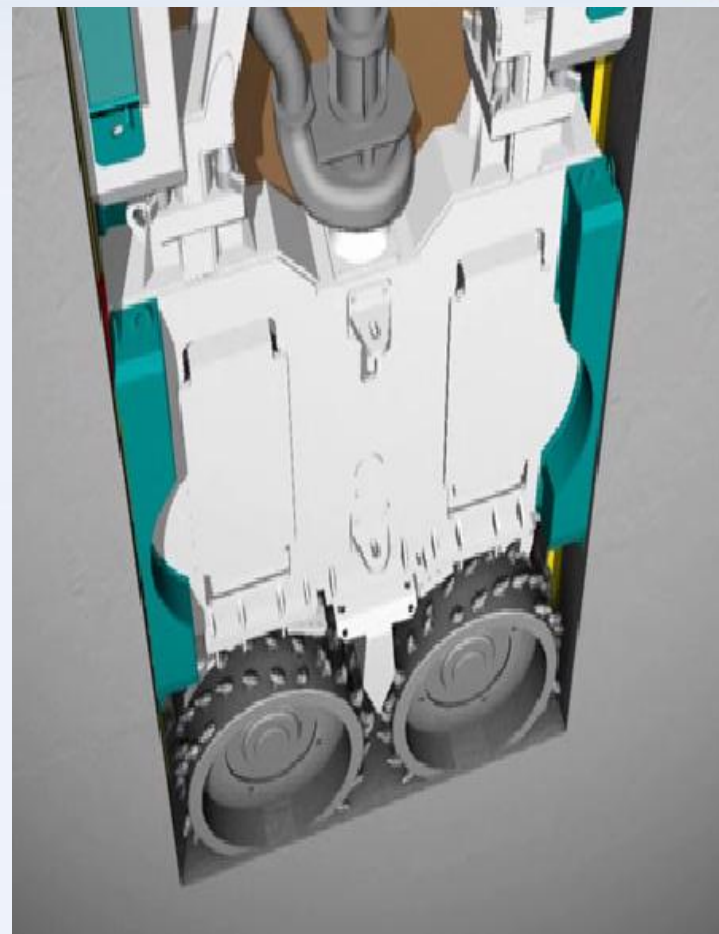
As ferramentas de corte, bem como as correntes, são dotadas de extremidades de corte (bits de tungstênio ou vídea) capazes de desagregar e escarificar materiais de alta resistência, terrosos ou rochosos.

Estas extremidades de corte podem ser facilmente substituídas de acordo com o material a ser escavado. Sendo assim, a quantidade, dureza e velocidade de rotação dos motores são ajustados e adaptados a cada caso.

OPERAÇÃO

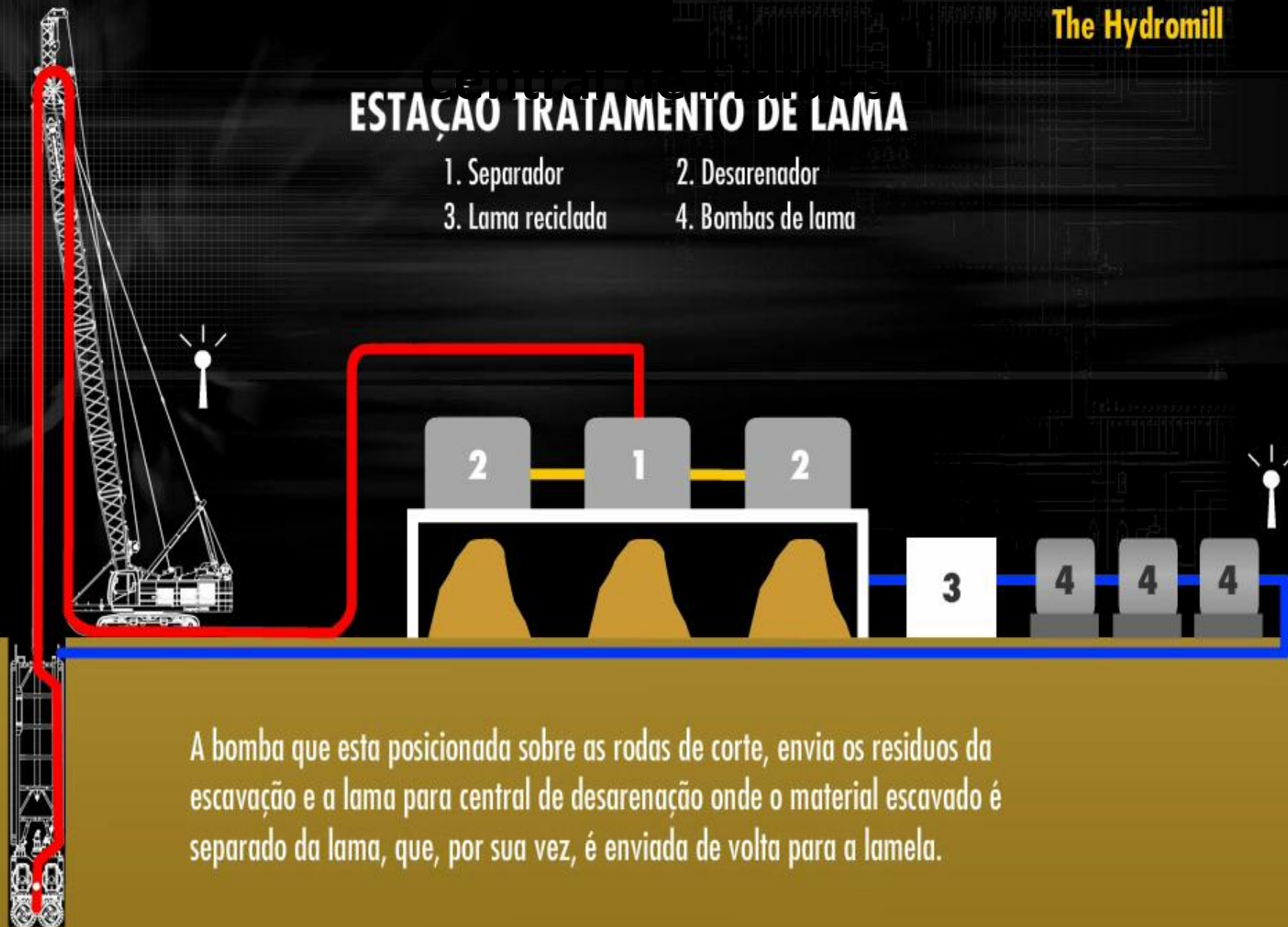
Solo e rocha são triturados pelas rodas de corte e correntes e misturados com o fluido estabilizante da perfuração que são continuamente direcionados até a abertura central onde são aspirados.

Ao contrário das metodologias utilizadas atualmente no Brasil esta ferramenta só é retirada do furo quando é atingida a cota de ponta estipulada em projeto. Isto devido ao seu princípio de funcionamento, conhecido como circulação reversa.



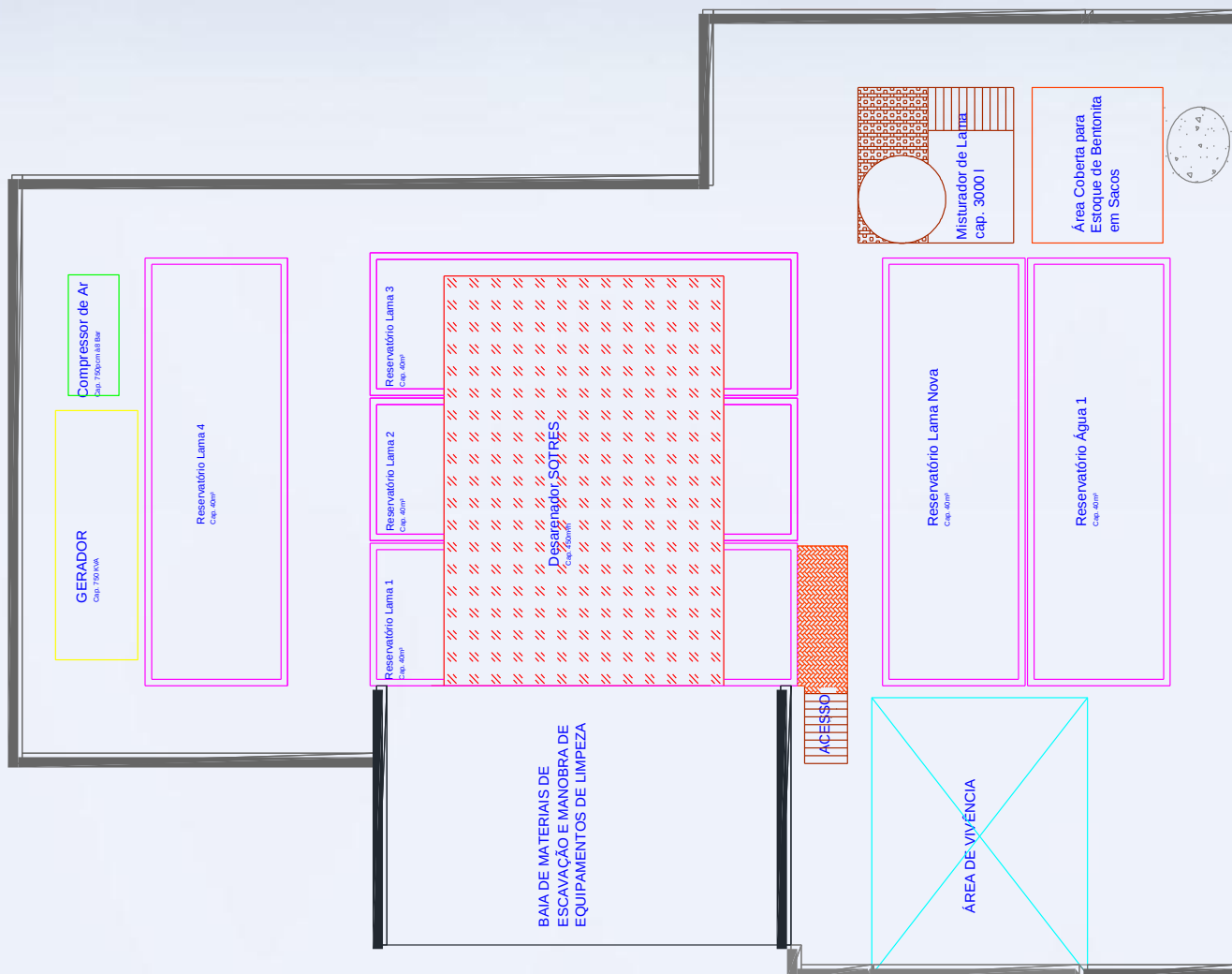
ESTAÇÃO TRATAMENTO DE LAMA

- | | |
|-------------------|-------------------|
| 1. Separador | 2. Desarenador |
| 3. Lama reciclada | 4. Bombas de lama |



A bomba que esta posicionada sobre as rodas de corte, envia os residuos da escavação e a lama para central de desarenação onde o material escavado é separado da lama, que, por sua vez, é enviada de volta para a lamela.

Central de Fluidos



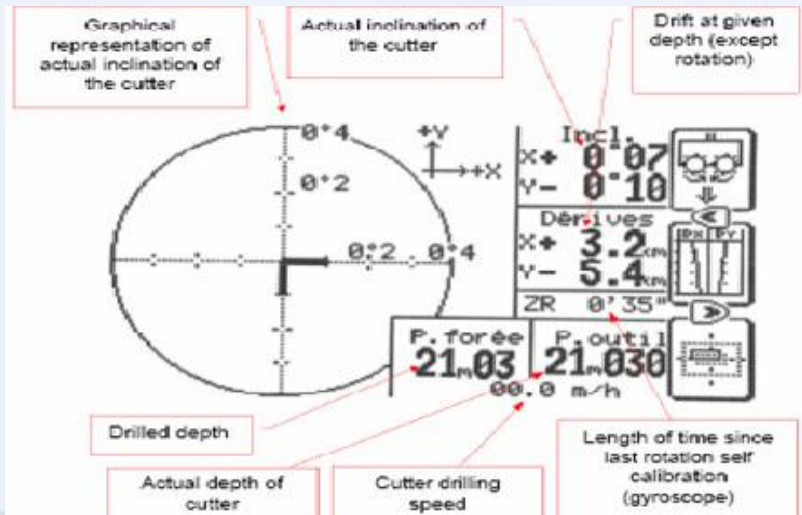
Material Escavado



Em complemento ao ferramental descrito, a HIDROFRESA conta com completo sistema de instrumentação de bordo.

Sensores eletrônicos incorporados ao corpo da ferramenta registram todas as informações pertinentes à escavação que está sendo realizada como:

- a) Torque do motor e velocidade de avanço
- b) Registro e Controle de Verticalidade
- c) Profundidade de Escavação
- d) Índices de Produtividade
- e) Percentual de carga descarregado sobre o material em escavação
- f) Entre outros...







Outro grande diferencial deste equipamento para projeto, em relação ao que se tem hoje no Brasil, é a não necessidade de instalação de juntas entre painéis ou lamelas adjacentes.

Este sistema cria juntas secantes entre painéis de parede diafragma ou estacas barrete tipo “célula”.

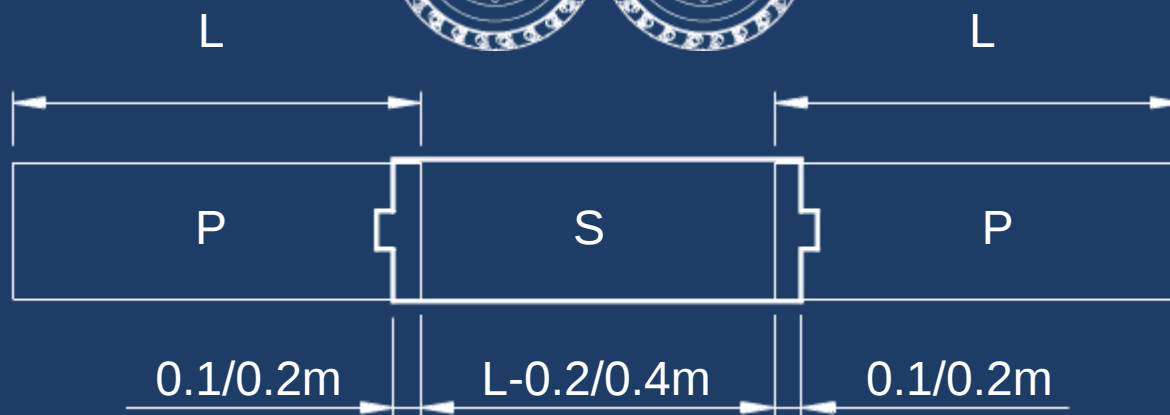
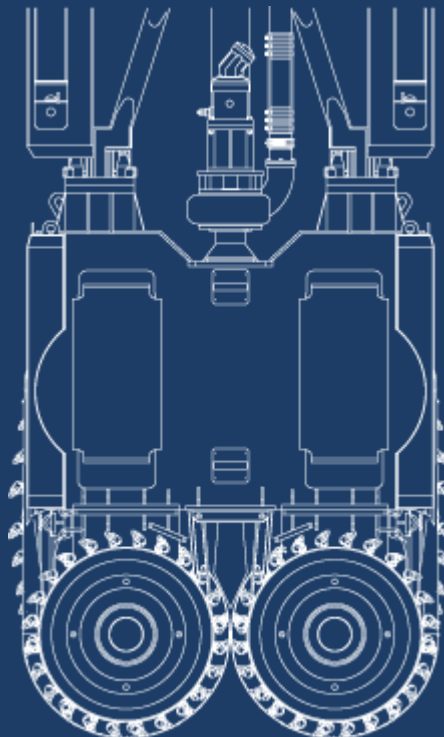
Sendo assim, o concreto da lamela adjacente é escarificado conferindo excelente qualidade na junta de concretagem entre painéis minimizando possíveis percolações de água entre juntas. A espessura do trecho secante pode ser variável de acordo com necessidades locais.

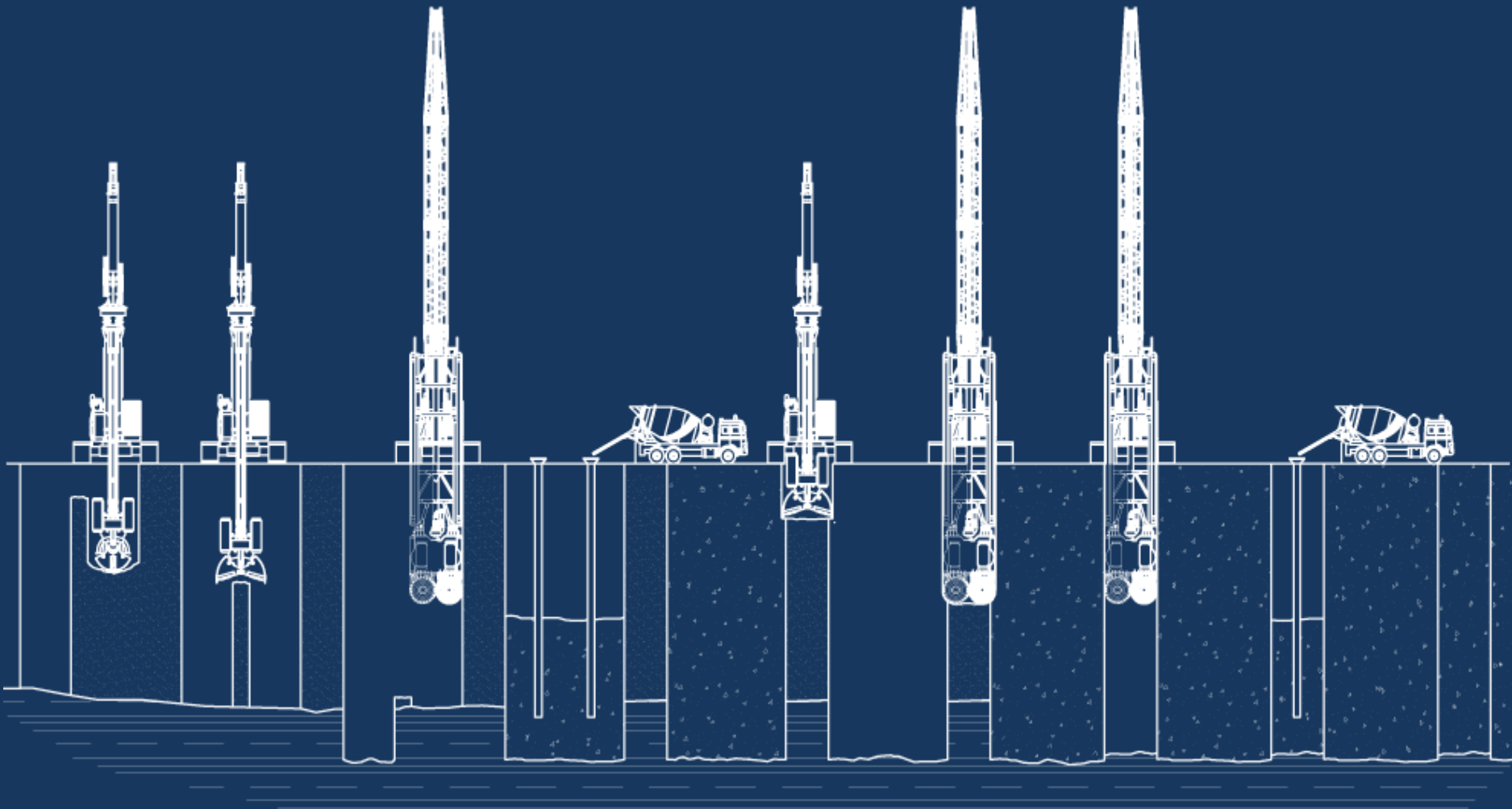
As amaduras de painéis, principalmente os de abertura podem ser projetados com menores distâncias da face de escavação, 15cm ante os 30cm atuais, aferindo melhor desempenho estrutural aos elementos.

Juntas Secantes



Juntas Secantes





CASO DE OBRA

COMPLEXO MINERALEIRO *VIRADORES DE VAGÕES 05, 06, 07 e 08 e GALERIA DE TRANSPORTE*



Já nesta pioneira empreitada, projetou-se uma contenção profunda, arrojada e diferenciada, para vencer alturas de escavação de 28,50m e um vão vertical de 24,50m de extensão, com apenas um travamento superficial.

Esta imponente estrutura de arrimo, acomoda a implantação de estruturas de descarga de vagões de minérios com $138.329,0\text{m}^3$ de espaço interno, resultante de escavações em materiais terrosos e rochosos até horizontes de até 51,0m de profundidade, com a utilização de variadas formas geométricas de elementos estruturais como, “cruzes”, “éles” e “tês”.

O objetivo principal desta apresentação será a descrição deste caso real de obra, da sua concepção de projeto à execução e o consequente produto final.

Trata-se de uma estrutura enterrada dimensionada para receber em sua superfície quatro linhas de trens com vagões carregados de minérios de ferro.

Ao serem descarregados, o minérios é transportado à superfície via correias situadas internamente a túneis.

Tal estrutura, devido ao cotidiano grande volume de granéis descarregados, demanda uma grande profundidade de estrutura sem qualquer tipo de travamentos ou obstáculos intermediários.

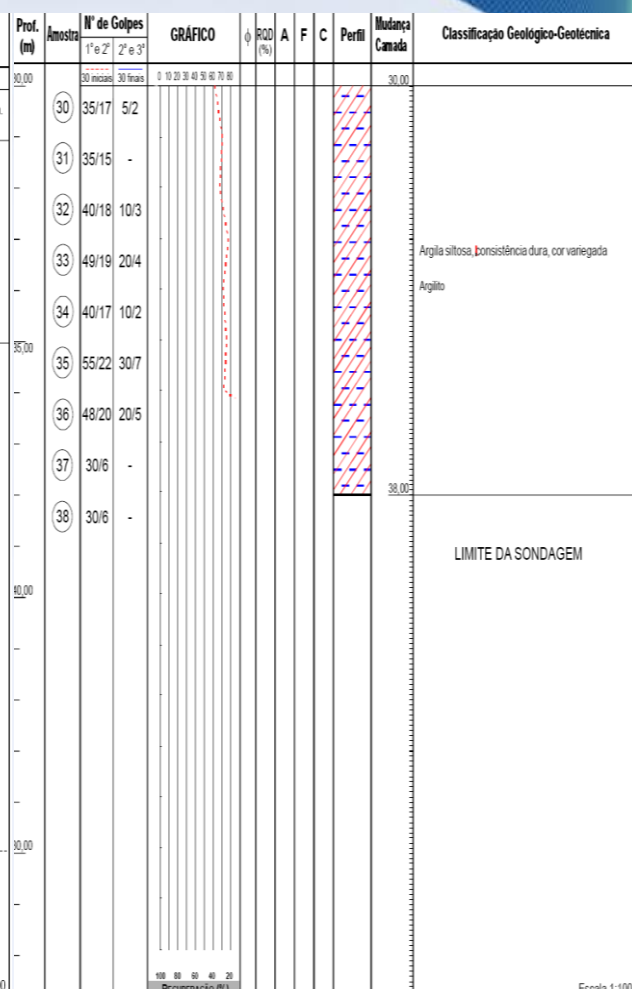
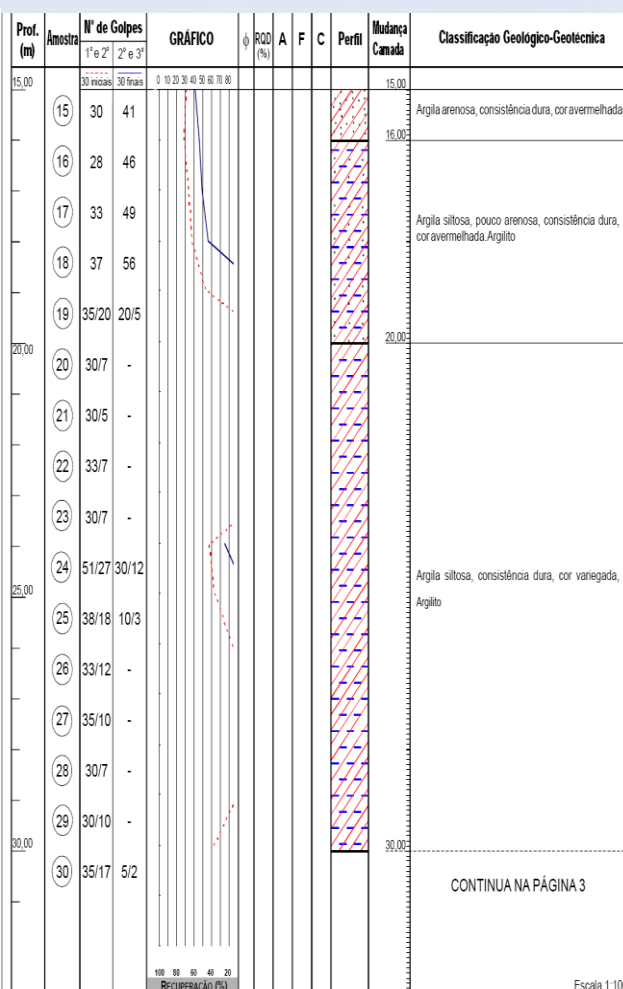
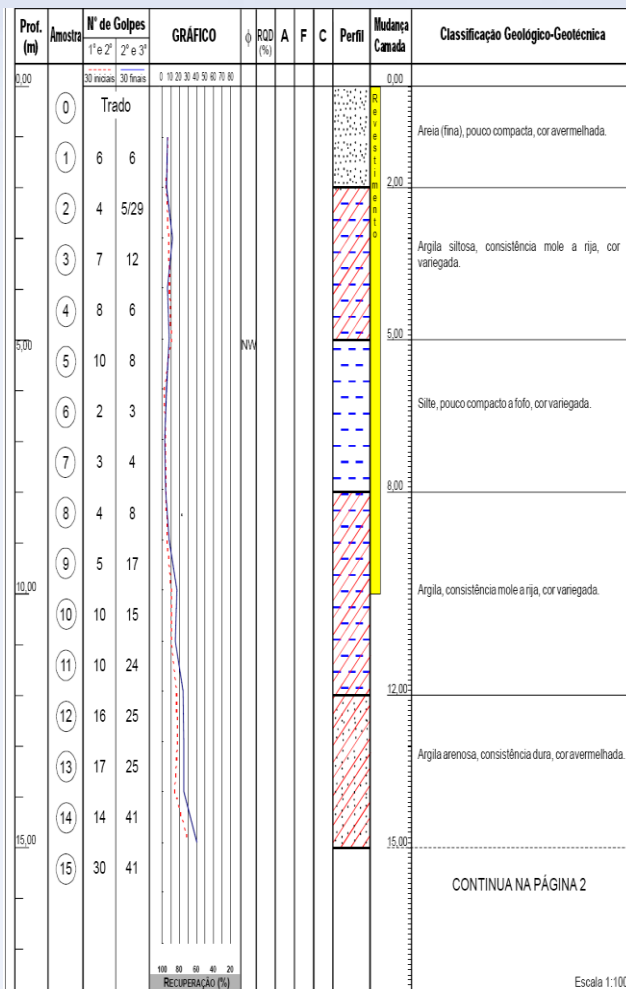
Dados Gerais das Obras Civis:

- Perímetro da Obra: 557,95m
- Área : 6.107,72m²
- Volume de concreto empregado: 35.000m³
- Massa de aço empregado: 5.950 toneladas

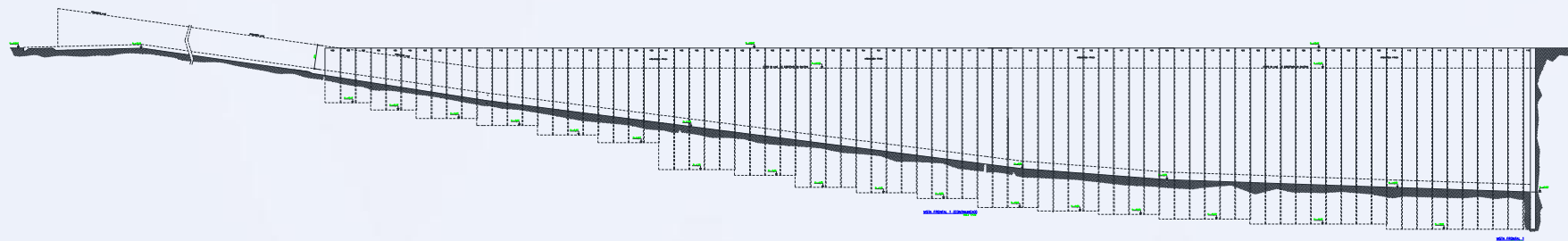
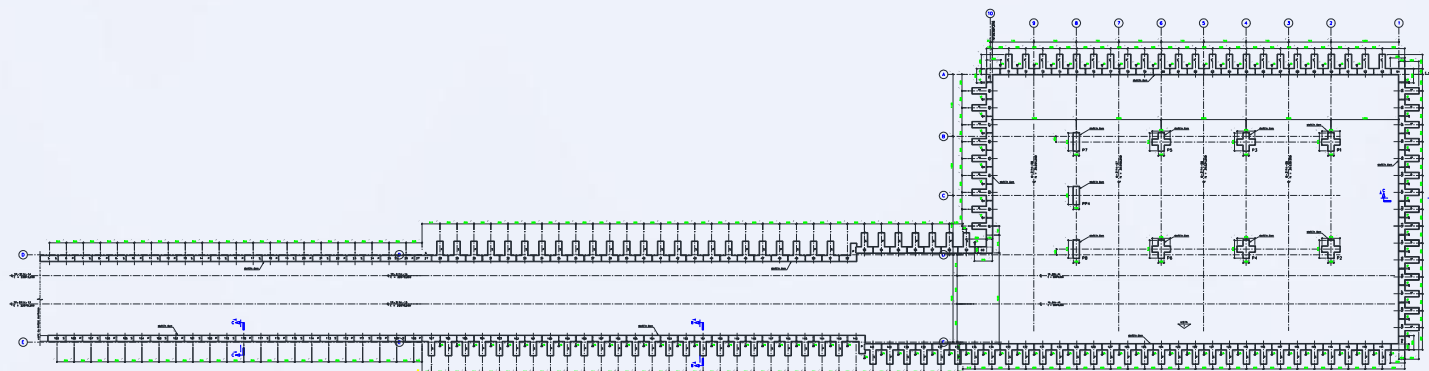
O subsolo local é formado basicamente por uma camada superficial de solo granular, submerso, composto predominantemente por areia fina e média algo siltosa que se estende até medianamente 4,0m da superfície do terreno.

Abaixo desta camada encontra-se espessa camada de argila duras intercaladas por formações rochosas compostas por argilitos vermelhos extremamente expansivos e camadas delgadas de cor acinzentados características de rochas do sedimentares do tipo ardósia.

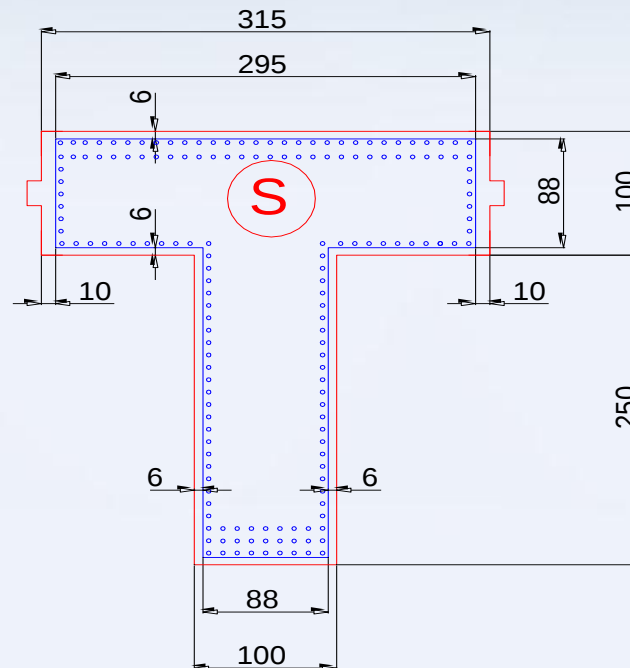
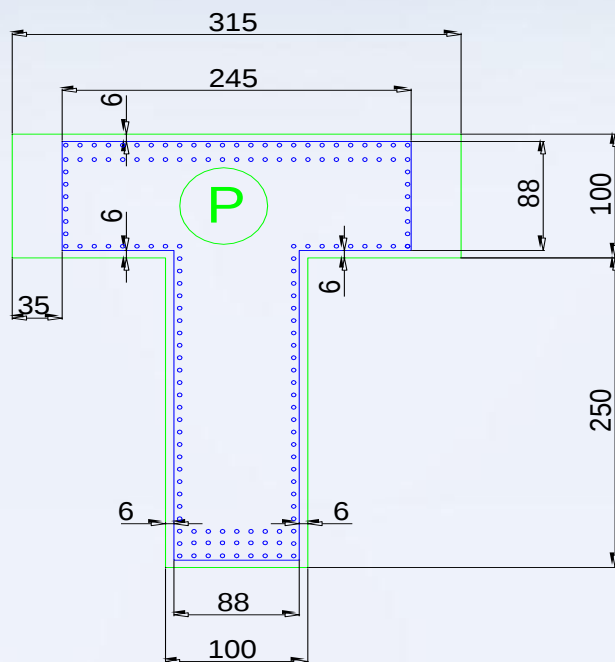
PERFIL TÍPICO



Foi concebida a solução em parede diafragma com uso contrafortes para toda a contenção dos viradores e as galerias parcialmente com contrafortes e lamelas simples com níveis de travamento via estroncas metálicas.



Detalhamento



As ferragens da obra foram concebidas para absorver além dos carregamentos de empuxo de solo e água provenientes das escavações do terreno (momentos superiores a 1000 tf x m por painel), os esforços de içamento em um único elemento, tornando-a uma gaiola rígida e uma estrutura metálica particular.

Quantidades da Obra

Abaixo apresenta-se as quantidades totais de serviços e materiais projetadas para as contenções da obra:

Quantidade de Painéis (unid.)					Profundidade máxima de Escavação (m)		Área Total Escavada (m ²)	Volume (m ³)	Aço CA-50 (ton)
T	L	Linear	Barrete Cruz	Barrete	PD	Barrete			
85	6	51	6	3	36,50	51,0	25.623	26.300	3.871

Os percentuais de solo e rocha escavados foram:

Solo < 50 Golpes	Solo > 50 Golpes	Rocha Sedimentar
37%	27%	36%

- Mureta Guia



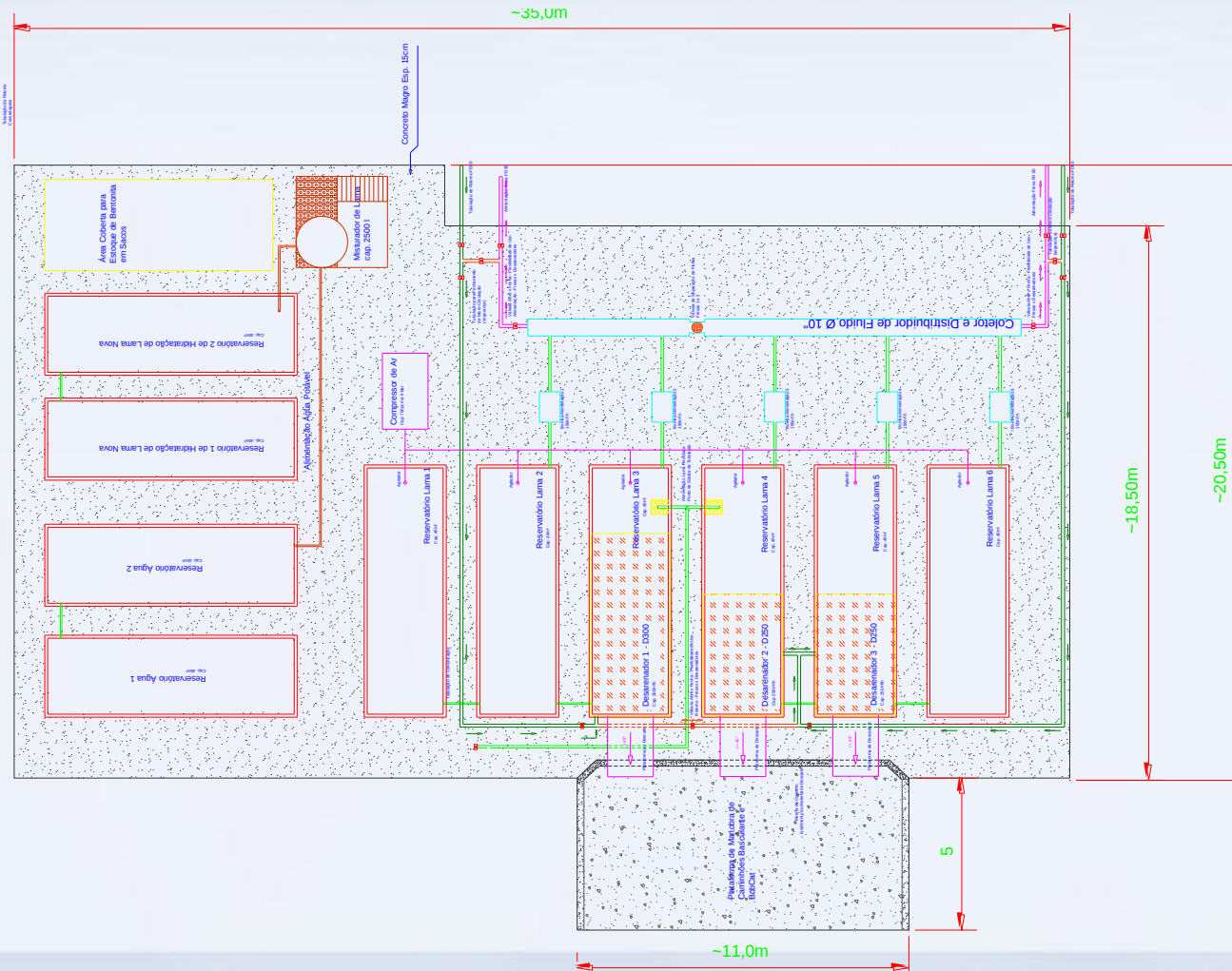
Sequência de Trabalho

- PREPARO DO FLUIDO ESTABILIZANTE:

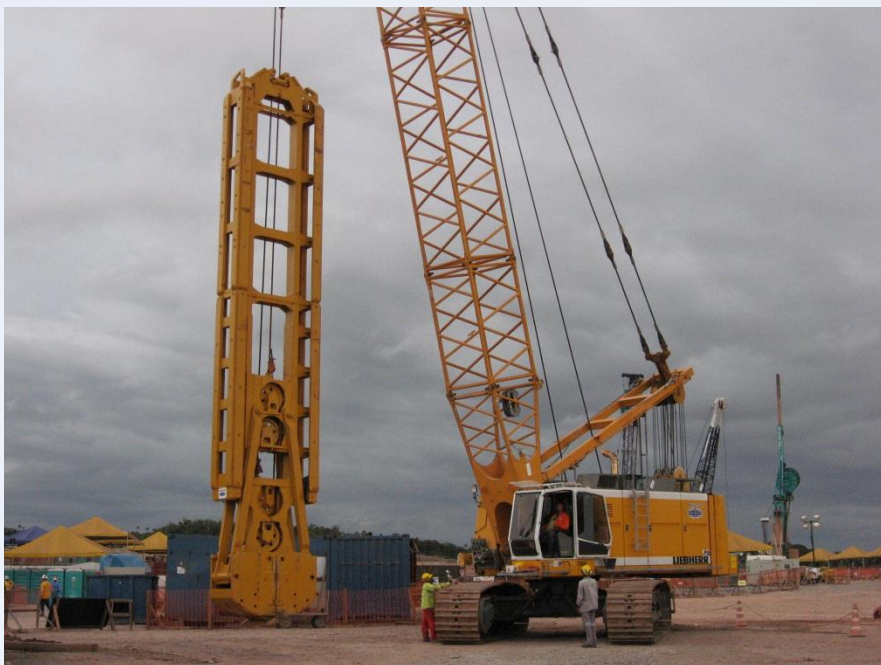
A lama bentonítica é preparada de forma análoga às escavações tradicionais. Hoje já existem fluidos biodegradáveis para estabilização de painéis com uso de hidrofresa e centrais de tratamento de alta vazão, porém ainda deve-se superar as questões econômicas para seu uso corrente.

Parâmetros	Intervalo Normalizado	Aparelho de Ensaio
Densidade	1,025 a 1,10g/cm ³	Balança densimétrica
Viscosidade	30s a 90s	Funil “Marsh”
pH	7 a 11	Papel de Tornassol (pH)
Teor de areia	0 a 3%	Proveta tipo “Baroid Sand Content”

- LAY OUT TÍPICO DA CENTRAL DE TRATAMENTO – DOIS CONJUNTOS EM OPERAÇÃO:



- PERFURAÇÃO “INTRODUTÓRIA”



- ESCAVAÇÃO COM A HIDROFRESA:



- ANÁLISE DO MATERIAL ESCAVADO:

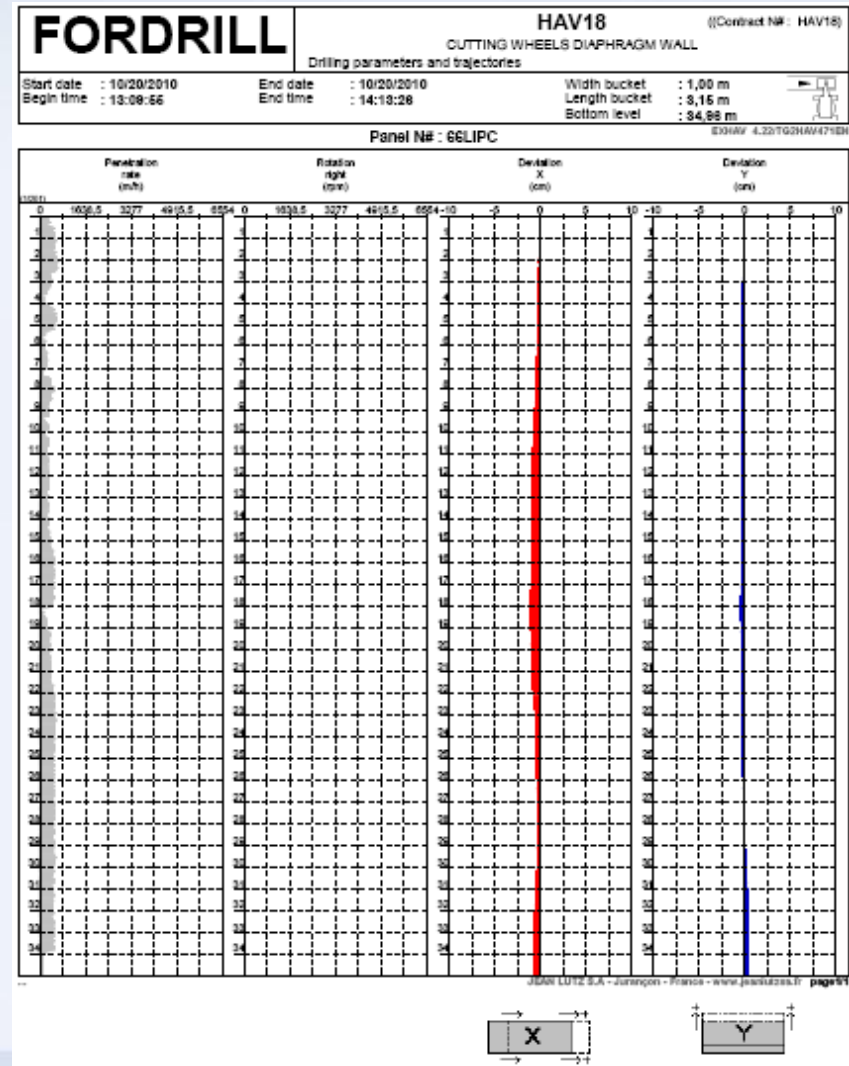
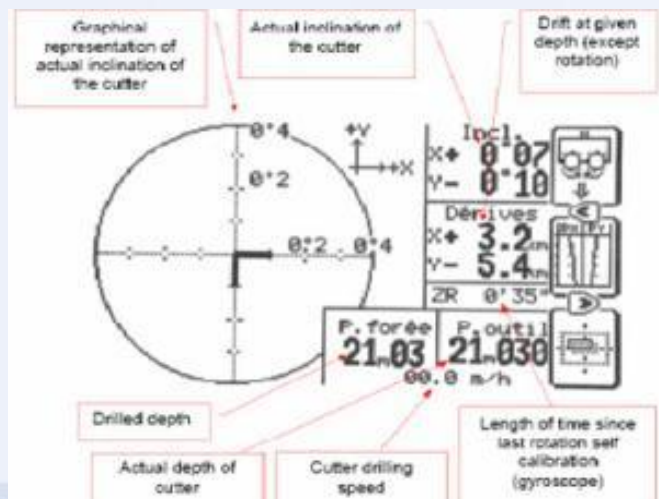
Em tempo real é possível fazer análise tátil visual do material que é escavado na saída das peneiras vibratórias da central de fluidos.

Relacionando-o com as medidas de torque e avanço da ferramenta no furo é possível ter um bom parâmetro para critério de paralização de furo e/ou desempenho do elemento.



Sequência de Trabalho

- CONTROLE E REGISTRO ELETRÔNICO



- INSTALAÇÃO DA CHAPA JUNTA SUPERFICIAL

Este artifício é utilizado nas lamelas primárias de diafragma nos seus primeiros metros à partir da superfície de trabalho.

Esta peça tem a espessura do trecho secante que é escarificado pela hidrofresa nos painéis secundários ou secantes. Desta forma o clam shell que executa a escavação introdutória pode atingir a profundidade mínima para a submersão da bomba de sucção da hidrofresa.



Sequência de Trabalho

- INSTALAÇÃO DA ARMADURA

Características das gaiolas de aço

Pelo controle do processo de escavação desta tecnologia executiva pode-se ter a confiabilidade necessária para se garantir a verticalidade precisa do furo. Para tanto as gaiolas de aço foram montadas num único elemento, ou seja, face e contraforte unidos. Nesta obra as gaiolas de aço atingiram até 43,30m de extensão e chegaram a pesar até 42 ton.

Assim, foi disponibilizado na obra dois guindastes de altas capacidades 110tf e 250tf, respectivamente, para que se conseguisse içar tal armadura num único elemento.

Sequência de Trabalho

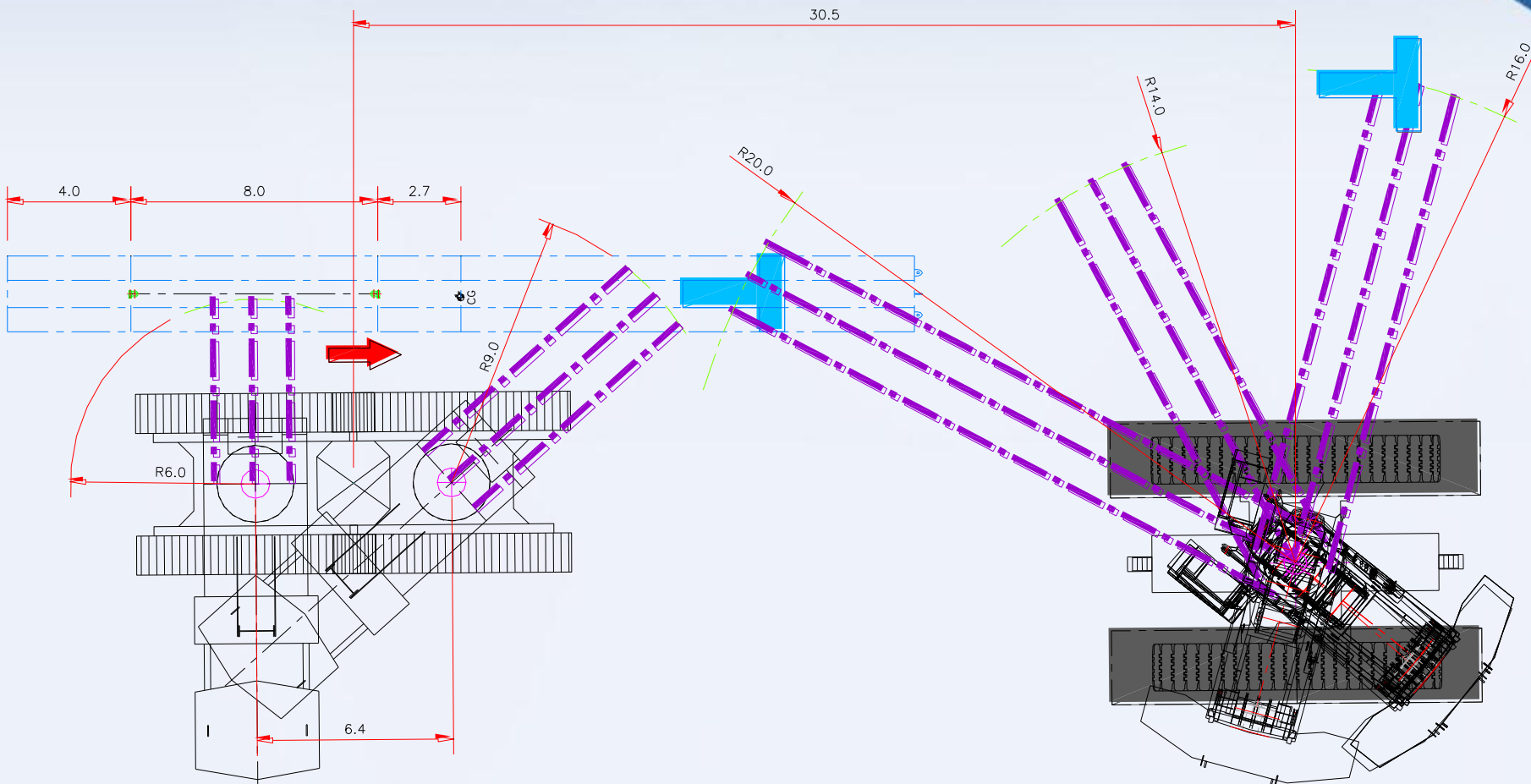
- PLANOS DE RIGGING

Devido a imponente dimensão das gaiolas de aço desta obra e sua relativa complexidade com relação a formatos e consequentemente eixos de simetria e/ou centros de massa horizontais e verticais diversos, foram elaborados projetos de manuseio e içamento das peças padronizado por normas e procedimentos internacionais vigentes.

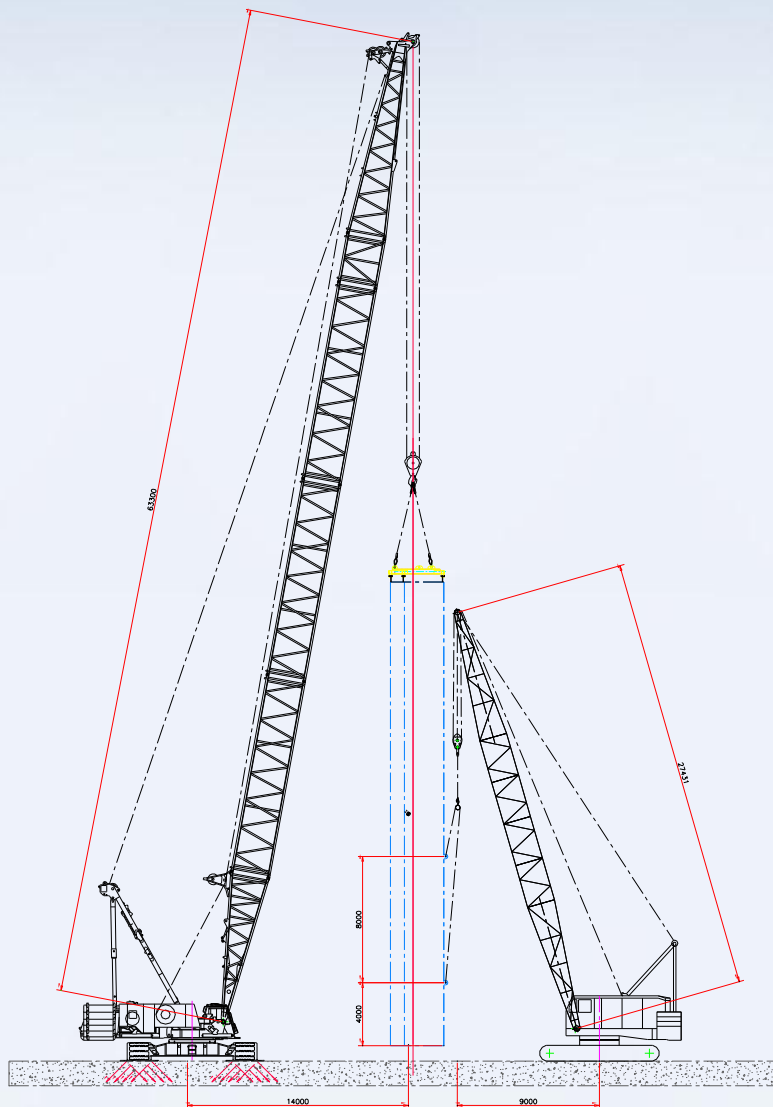
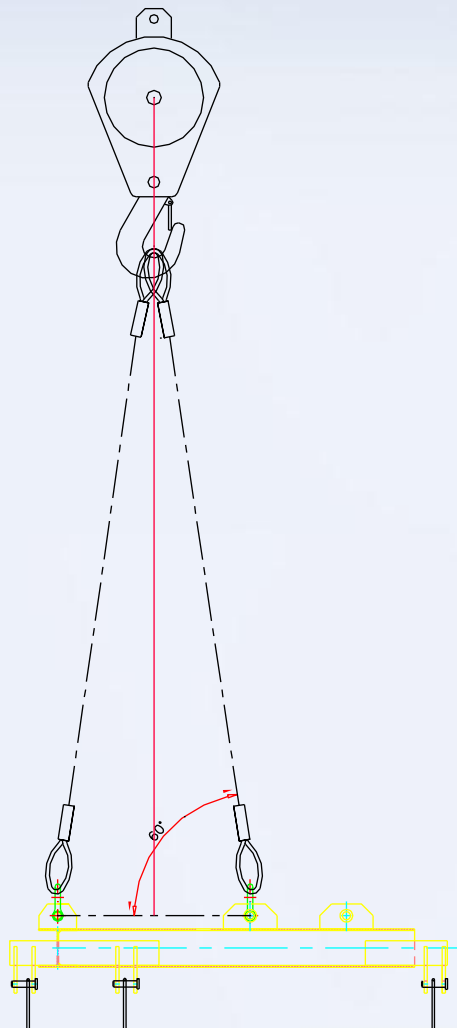
No caso deste empreendimento, por regimento interno da diretoria de segurança, os equipamentos de manuseio de cargas pesadas ou longas devem ter sua capacidade máxima de içamento reduzida em 20% dos limites das tabelas de carga fornecidas pelos fabricantes.

No caso fora utilizado método de cálculo de içamento NOBLE DENTON 0027/NDI:2003.

Sequência de Trabalho



Sequência de Trabalho



Sequência de Trabalho



Sequência de Trabalho



Sequência de Trabalho

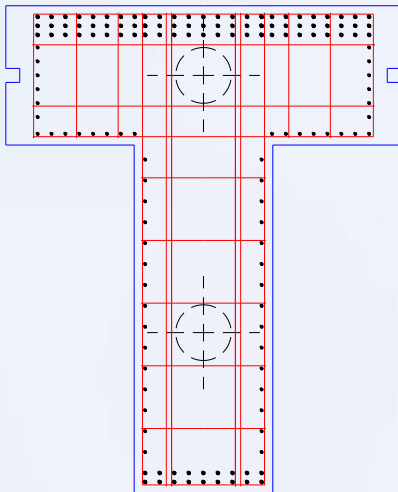


Sequência de Trabalho



- CONCRETAGEM DOS PAINÉIS:

Para concretagem é utilizado o sistema tradicional submerso com concreto auto adensável. Como diferencial de se utilizarem hoje tubulações com melhores tecnologias de engates e desengates rápidos e diâmetros de 11", garantindo a melhor continuidade das concretagens submersas.



Foi utilizado traço de concreto especial Classe 40 com 10% do peso de cimento substituído por sílica ativa. A tempo de trabalhabilidade deste foi acima de 5 horas visto o período de concretagens desta ordem de grandeza.

Nesta grandiosa obra, pode-se obter alguns resultados extremamente valiosos para a continuidade e premissas deste sistema em território nacional, tais como:

- Precisão nas perfurações:

Médias dos Desvios Percentuais da Obra Global			
Desvios	Escavação		Média Global
	Face	Contraforte	
Máximos	0,212%	0,217%	0,214%
Mínimos	0,031%	0,036%	0,033%
Médios	0,091%	0,102%	0,096%

- Resistência do concreto:

Foram extraídas amostras de concreto diretamente da parede durante o processo de escavação interna da estrutura e principalmente próximos de sua cota de fundo, onde os momentos fletores eram máximos. Obteve-se resultados sempre superiores a 30MPa o que comprovou a excelência do sistema construtivo na boa condição dos fluidos estabilizantes e concretagens.

- “Overbreak” de Concreto:

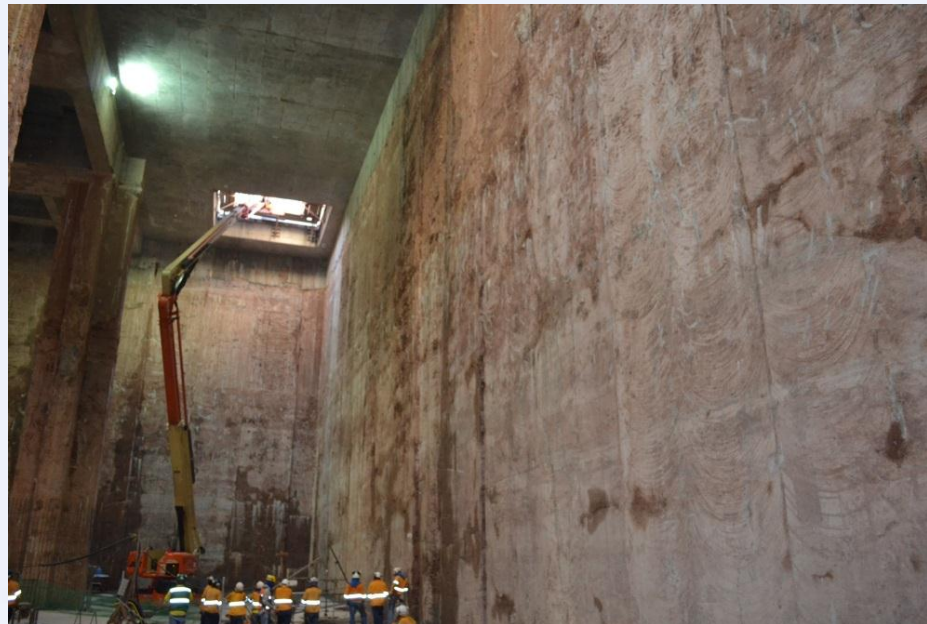
O sobre-concumo de concreto médio da obra fora de 8,27%, considerado bastante satisfatório.

- Produtividade:

A obra como um todo fora concluída em 9 meses de trabalho, o que incluiu ainda a execução de uma cortina em diafragma de 550m². Deste tempo, 4 meses foram executados com uma frente de serviço apenas e os demais com duas frentes de serviço. O índice médio atingido fora de 2.908,11m² por mês trabalhado.

- Aspecto final das contenções após escavações totais:

Este talvez seja o melhor retrospecto que pode ser tirado do empreendimento, o visual final do produto. A excelente linearidade encontrada após as escavações comprovou a eficiência do sistema de controle de verticalidade e prumo auferidos pelos sensores da Hidrofresa.



RETROSPECTO





Agradecimentos



A. H. TEIXEIRA CONSULTORIA E PROJETOS S/C LTDA
Engenharia de Solos, Fundações e Túneis

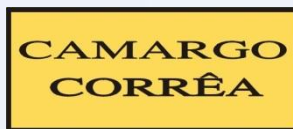
Eng. Alberto Henriques Teixeira
Eng. Alexandre Alberto Teixeira



Eng. Mauri Gotlieb



Eng. Vicente Garambone



Eng. Elias Herrmann
Eng. Gustavo Gazarolli
Eng. Luiz Gustavo Zanin



Eng. José Diniz
Eng. Francisco Joslei



Eng. Sérgio Casagrande
Eng. Ernesto

OBRIGADO!

