

**GEO-RUMO**<sup>®</sup>  
TECNOLOGIA DE FUNDAÇÕES, SA



# NOVAS TECNOLOGIAS DE CONSOLIDAÇÃO DE SOLOS

## “CUTTER SOIL MIXING”

Artur Peixoto, Geo-Rumo

artur.peixoto@georumo.pt

[www.georumo.pt](http://www.georumo.pt)

18 de Fevereiro de 2011





**Princípio:**

**CSM**

- Destruição mecânica da matriz

**Cutter Soil Mixing**

- Mistura do grout no seio da matriz do solo

- Criação de uma estrutura homogênea

**Uma inovação em soil mixing para consolidação e**

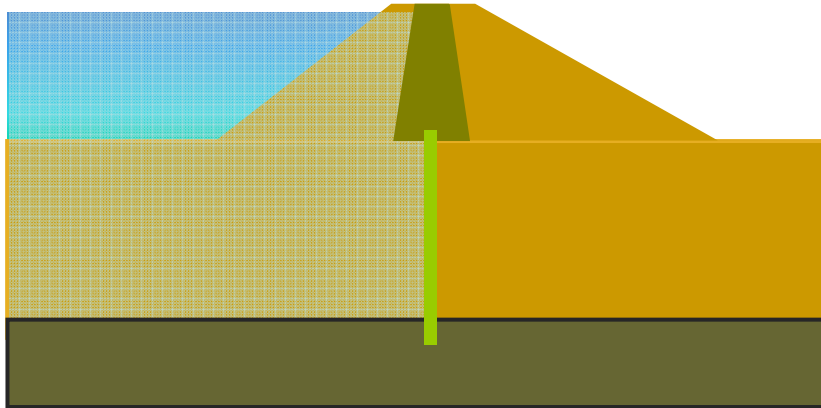
**construção de contenções**

**periféricas e cut-off walls**

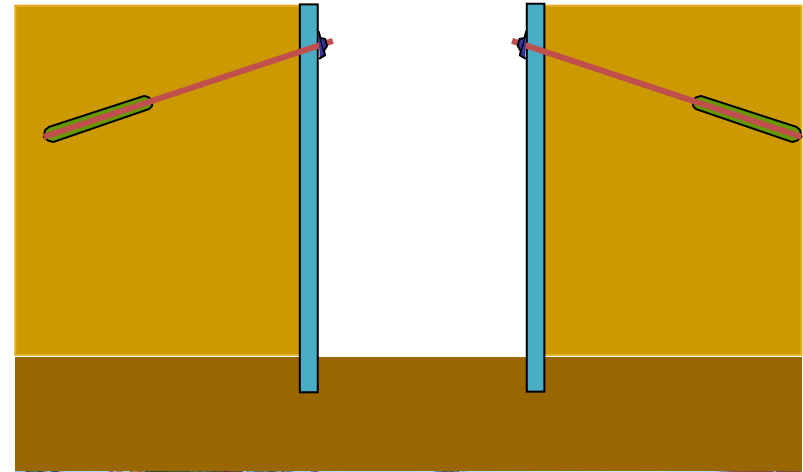
contenções e cut-off walls

## ESTRUTURAS ENTERRADAS – PROJECTOS TIPO

- Cut-off wall



- Contenção periférica



## MÉTODOS CONVENCIONAIS DE CONSTRUÇÃO DE CONTENÇÕES

- Entivação Berlim
- Estacas Prancha
- Cortina de Estacas
- Parede Moldada



## MÉTODOS CONVENCIONAIS DE CONSTRUÇÃO DE CONTENÇÕES

- Entivação Berlim
- Estacas Prancha
- Cortina de Estacas
- Parede Moldada



## MÉTODOS CONVENCIONAIS DE CONSTRUÇÃO DE CONTENÇÕES

- Entivação Berlim
- Estacas Prancha
- Cortina de Estacas
- Parede Moldada



## MÉTODOS CONVENCIONAIS DE CONSTRUÇÃO DE CONTENÇÕES

- Entivação Berlim
- Estacas Prancha
- Cortina de Estacas
- Parede Moldada



.... é uma combinação

da tecnologia Bauer de cutter  
com rotação em eixos  
horizontais





.... é uma combinação

da tecnologia Bauer de cutter com rotação em eixos horizontais

e do convencional sistema Soil Mixing com rotação em eixos verticais



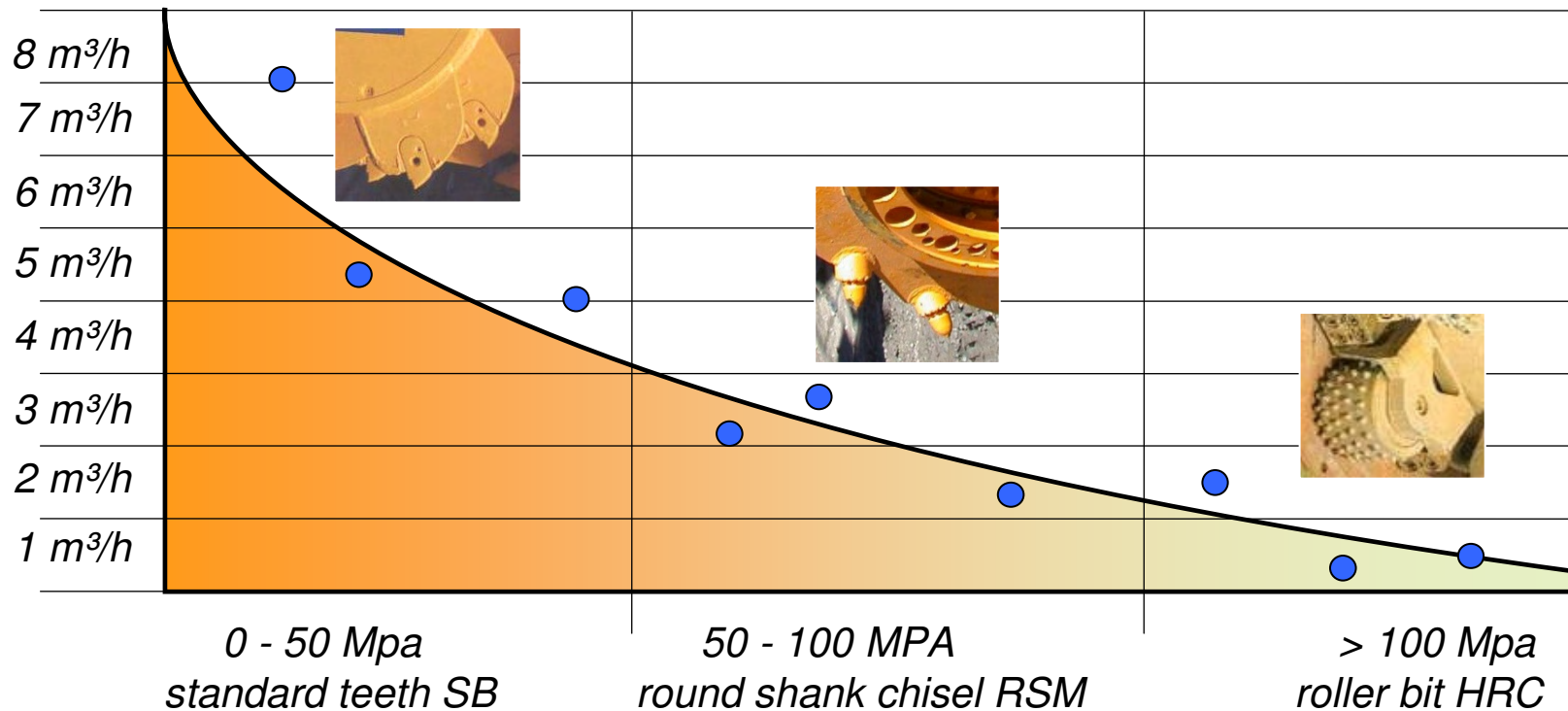
5 UNIDADES DE  
MISTURA  
JAPÃO



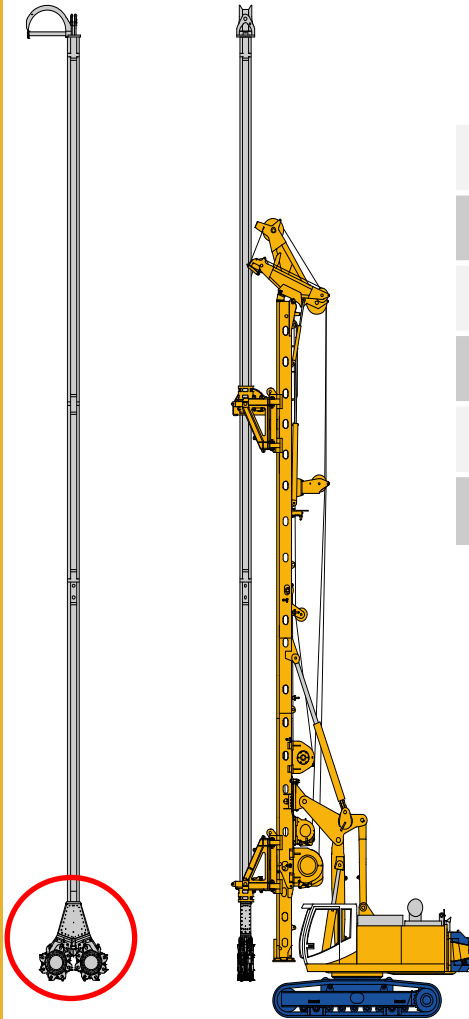
CABEÇA  
TRIPLA  
ALEMANHA

## COMPONENTES DO EQUIPAMENTO – CUTTER TEETH

Tipo de cutter em função da dureza do solo



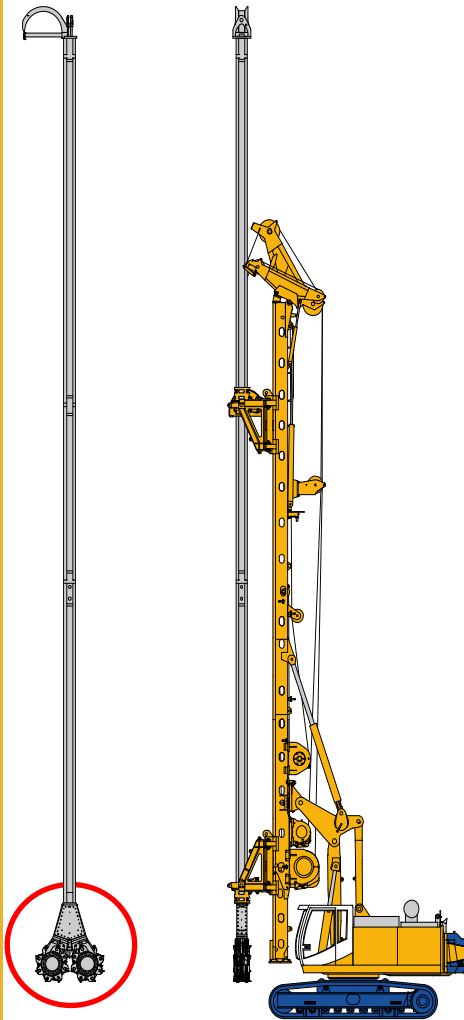
## COMPONENTES DO EQUIPAMENTO – BCM cutting / mixing head



	BCM 5	BCM 10
torque	0 - 57 kNm	0 - 100 kNm
wheel rotation	0 - 40 rpm	0 - 35 rpm
height	2,35 m	2,8 m
panel length	2,4 m	2,8 m
panel width	500 - 1000 mm	640 - 1200 mm
weight	5100 kg	7400 kg



COMPONENTES DO EQUIPAMENTO – BCM cutting / mixing head



Tipo 1



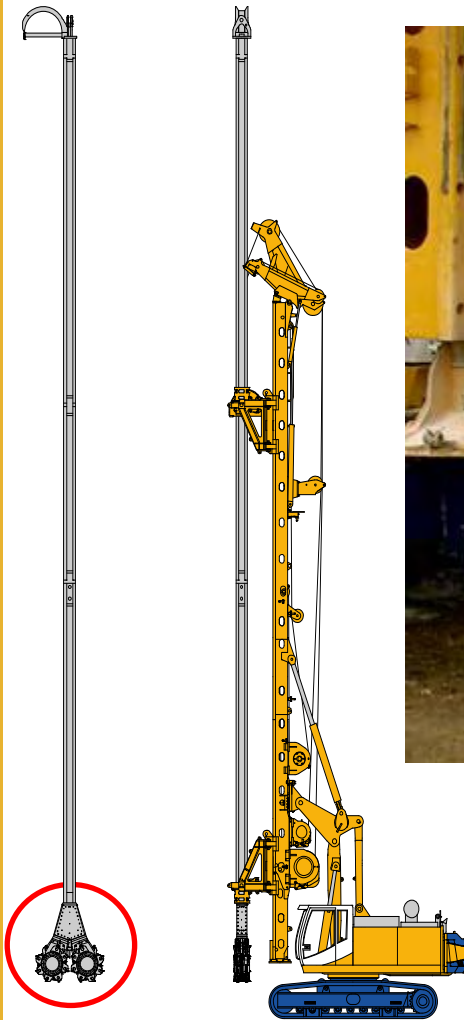
Suporte de 4 dentes  
Maior eficiência na  
mistura

Tipo 2



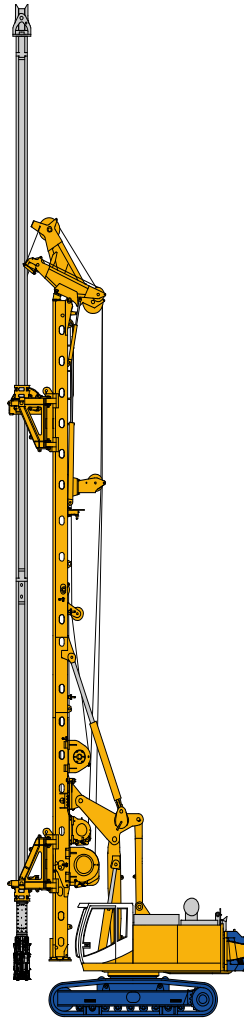
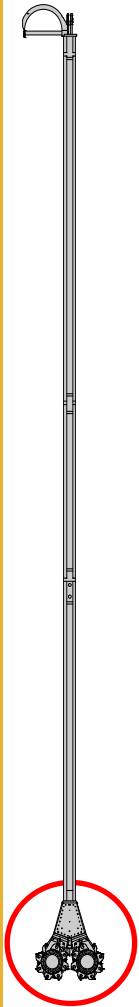
Suporte de 3 dentes  
Maior capacidade de  
corte

COMPONENTES DO EQUIPAMENTO – BCM cutting / mixing head



Varios tipo de dentes de corte em função do tipo de solo

## COMPONENTES DO EQUIPAMENTO – Tipos de kelly



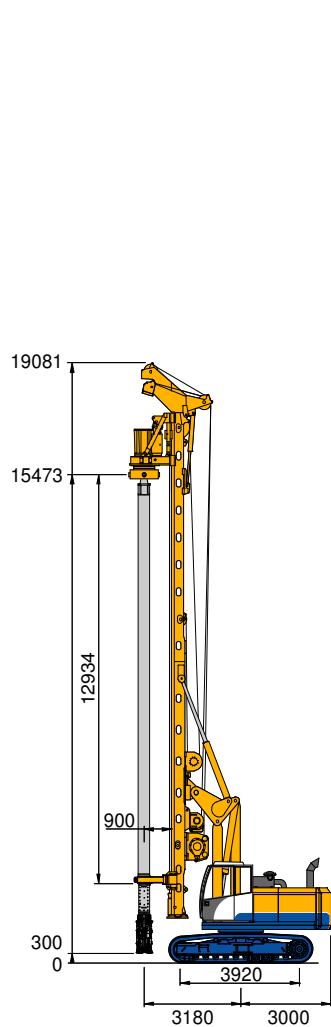
kelly circular  
Ø 368 mm  
um elemento para  
profundidades até  
24 m



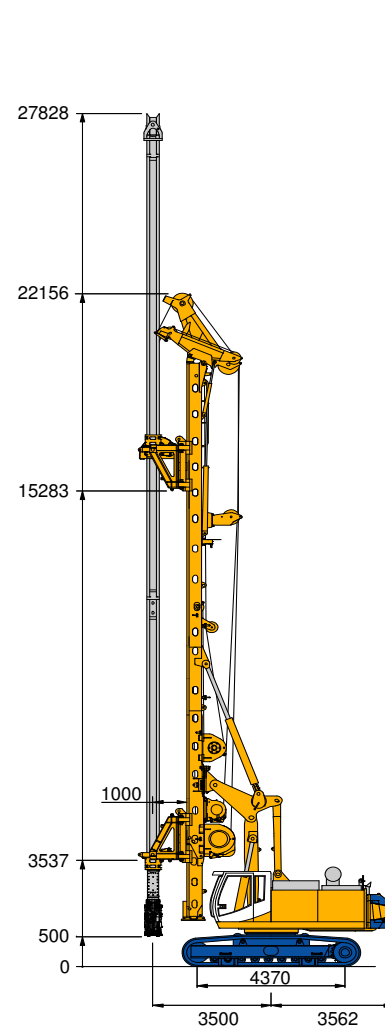
kelly rectangular  
600 x 340 mm  
secções de 11 m  
até profundidades  
de 35 m



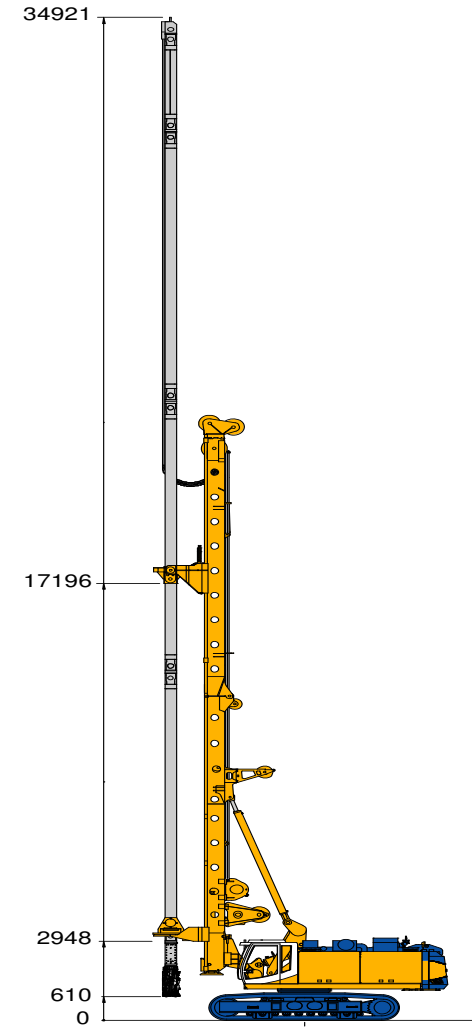
COMPONENTES DO EQUIPAMENTO – BG Series



**BG 15 – max. depth = 12,5 m**

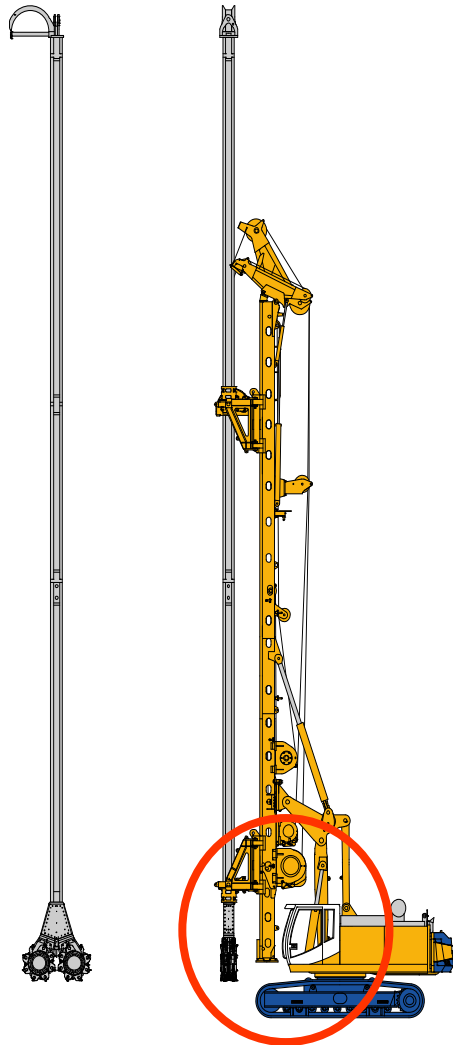


**BG 24 – max. depth = 24 m**



**BG 28 – max. depth = 34 m**

COMPONENTES DO EQUIPAMENTO – BG Series with kelly bar



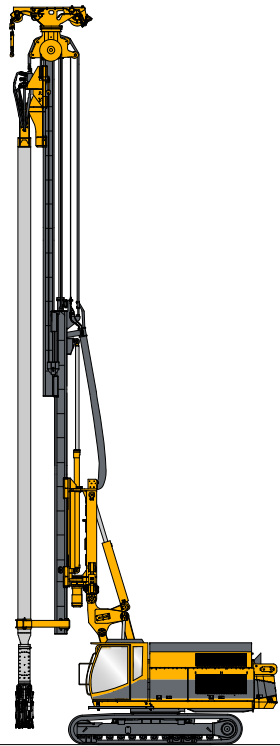
drilling rig  
BG 15H  
T = 12 m



drilling rig  
BG 28  
T = 23 m



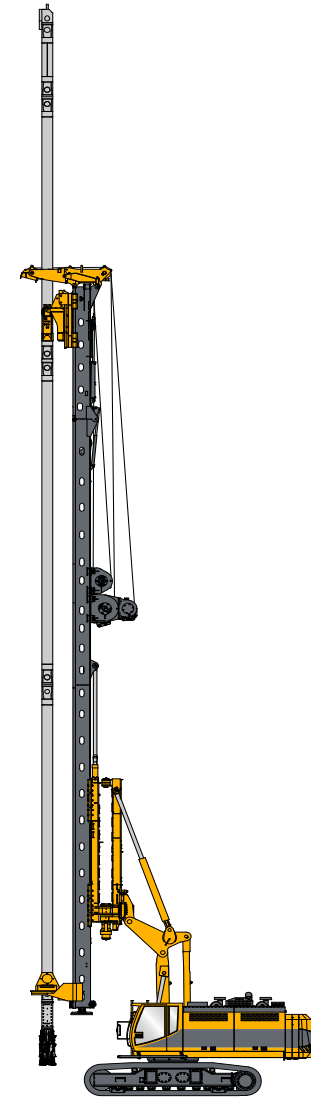
COMPONENTES DO EQUIPAMENTO – RG Series



RG 16 – max. depth = 15 m

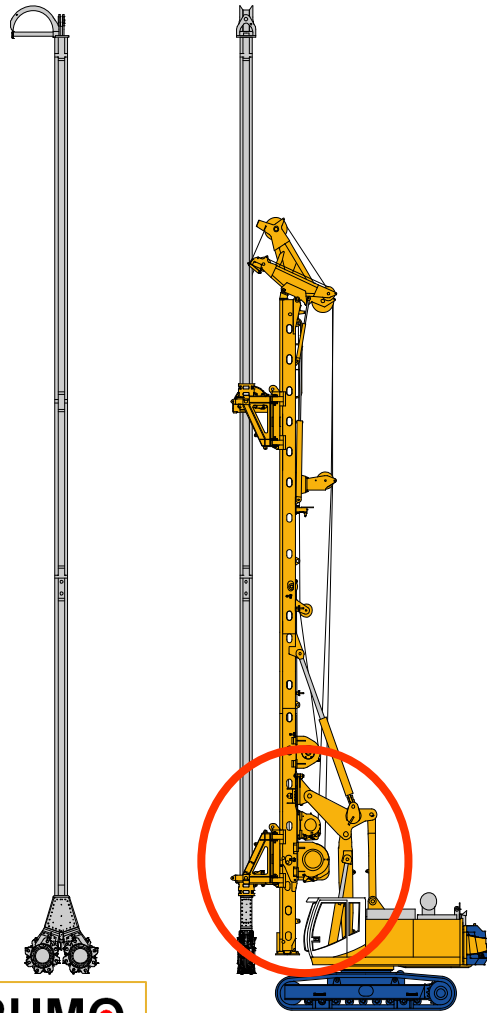


RG 19 – max. depth = 18 m



RG23/25 – max. depth = 35 m

COMPONENTES DO EQUIPAMENTO – RG Series with kelly bar



**RG 19T**  
without extension  
depth = 18 m



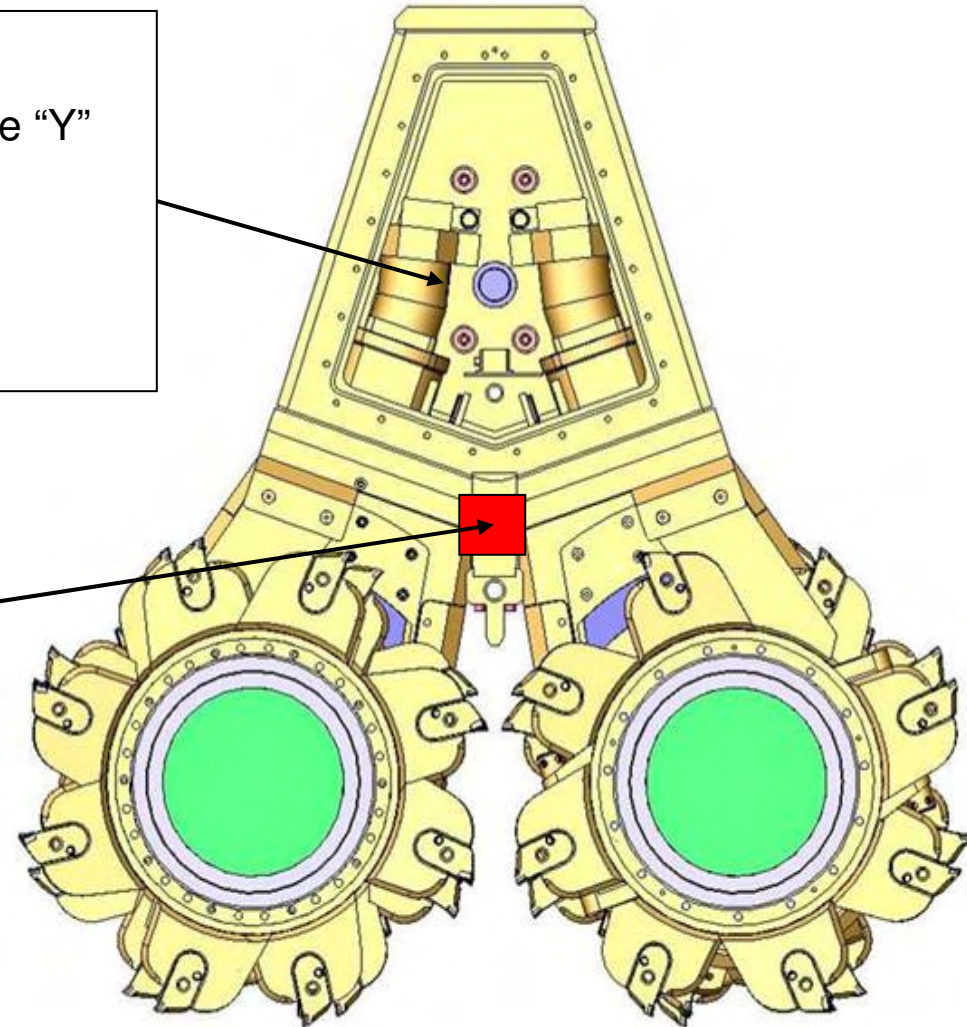
**RG 25S**  
with extension  
depth = 30 m

## COMPONENTES DO EQUIPAMENTO – Dispositivos de controlo

### Sensores para:

- verticalidade nas direcções “X” e “Y”
- torque (pressão hidráulica)
- wheel rotation
- Caudal e pressão do grout

Sensores para  
pressões neutras  
externas



## COMPONENTES DO EQUIPAMENTO – Dispositivos de controlo

Os equipamentos de CSM dispõem de um conjunto de instrumentos que permitem ao operador, em tempo real, obter toda a informação necessária para monitorizar e controlar a qualidade da produção



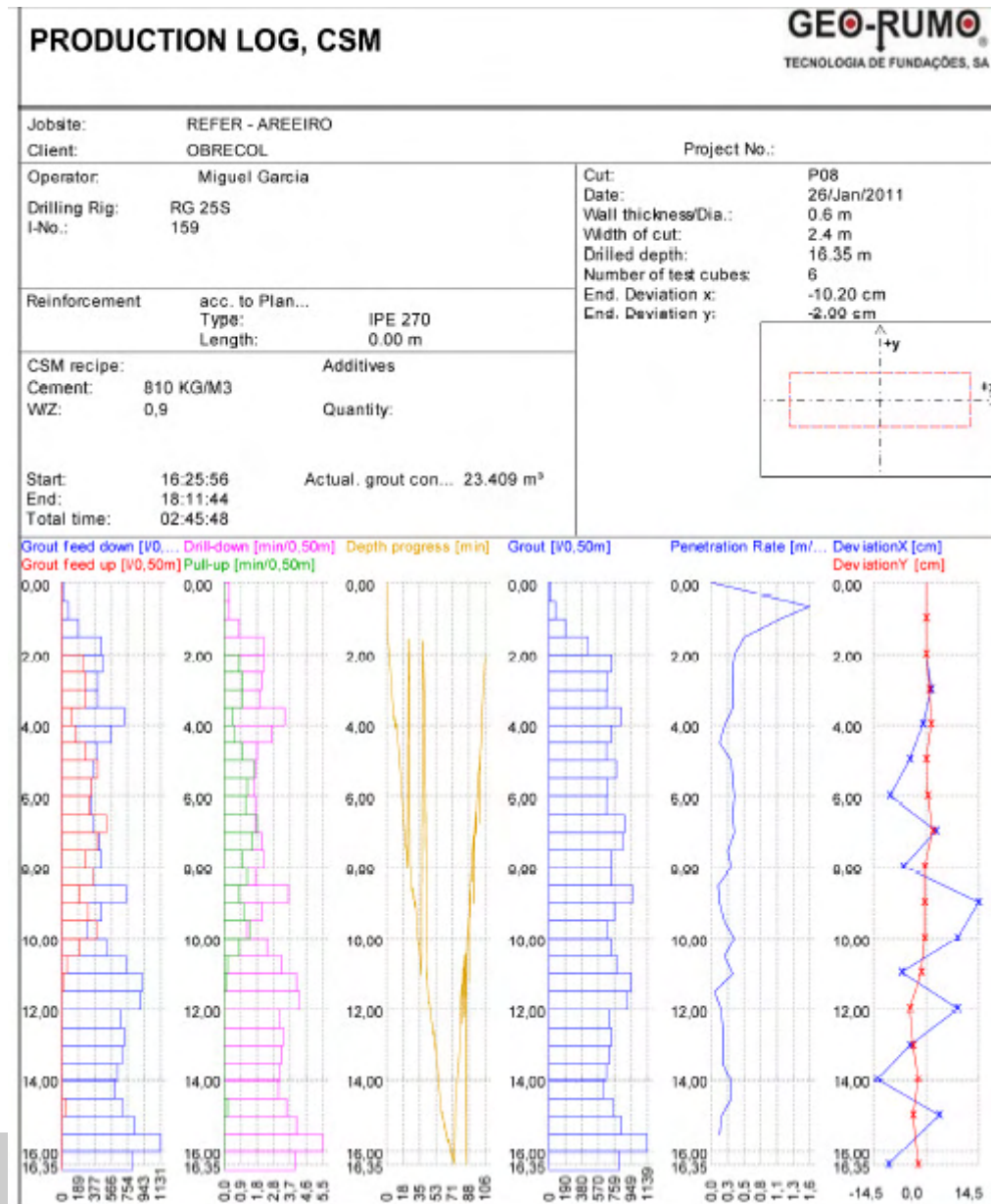
**BAUER B-Tronic system**



## COMPONENTES DO EQUIPAMENTO – Dispositivos de controlo

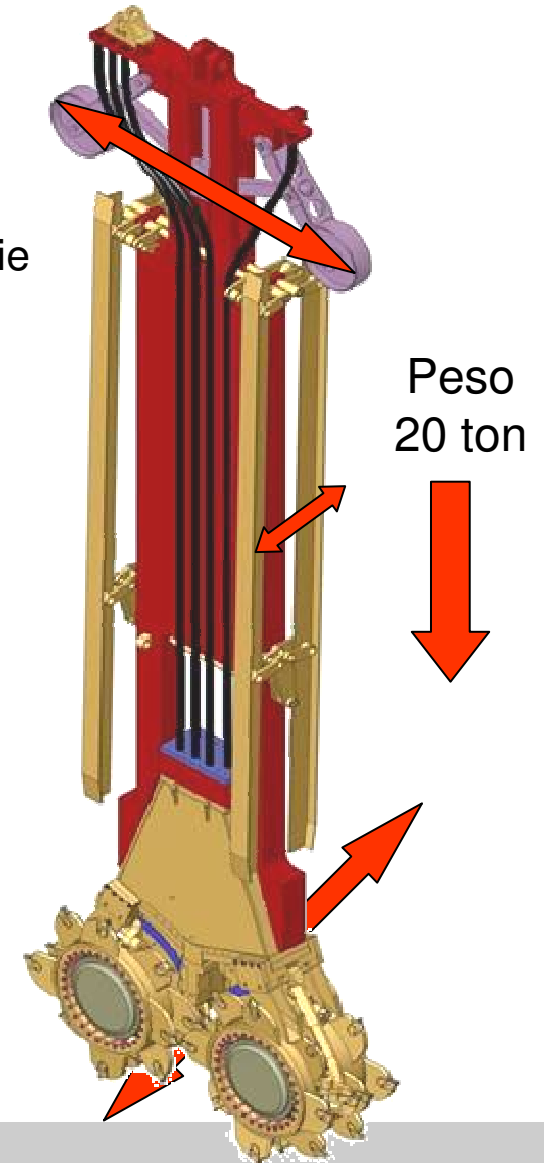
Análise da produção através do software B-Report

Com esta ferramenta a produção é correctamente visualizada e interpretada



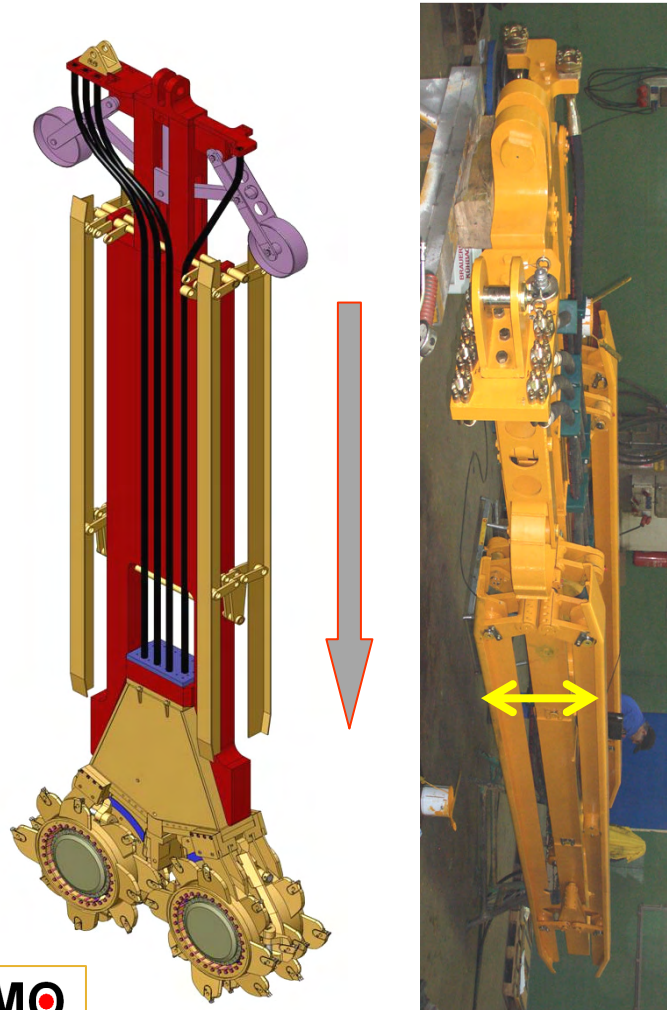
### COMPONENTES DO EQUIPAMENTO – Sistema suspenso

- Profundidades entre 30 - 80 m
- Conjunto constituído por um corpo maciço em aço
- Controlo de estabilidade direccional composto por uma série de elementos de correcção (flap's) na sua superfície

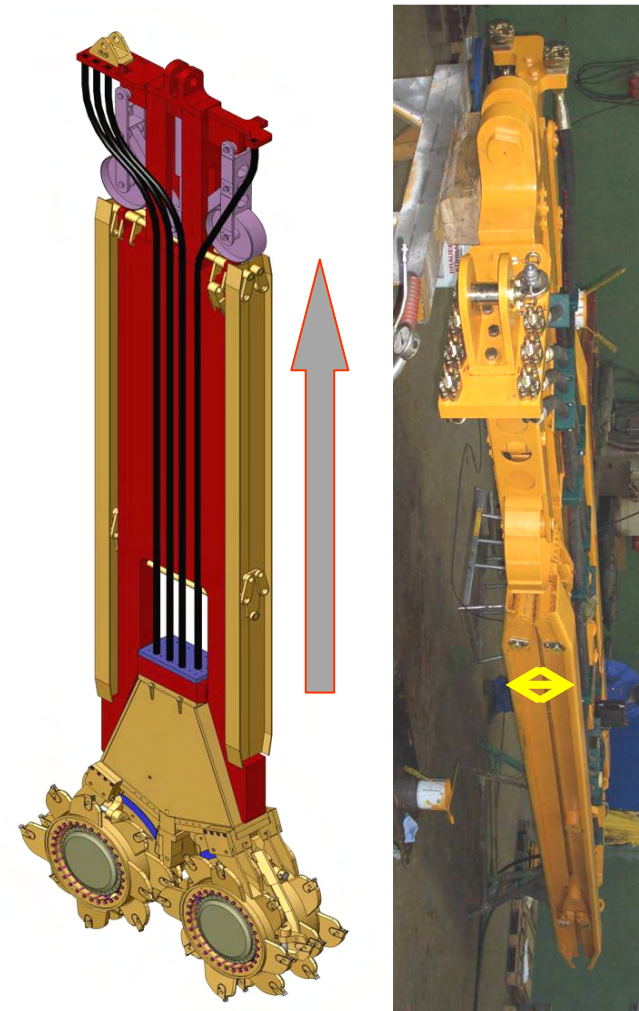


COMPONENTES DO EQUIPAMENTO – Sistema suspenso

Flap's abertos em descendente



Flap's retraídos em ascendente

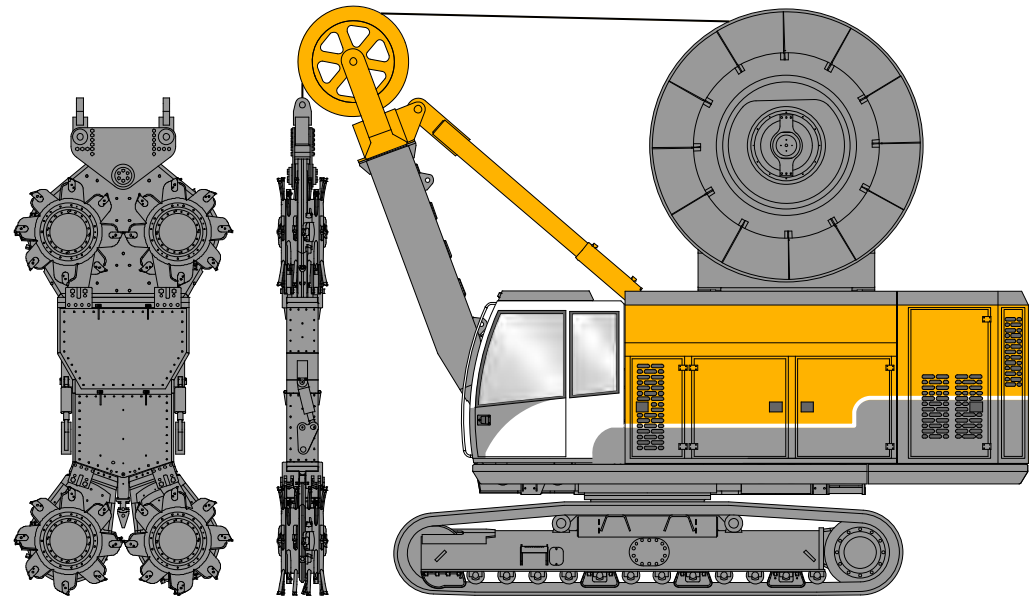


### COMPONENTES DO EQUIPAMENTO – QuattroCutter

MBG 24 with QuattroCutter – prof. max. 80 m

Duas mixing heads sobrepostas:

- mistura mais homogénea
- maior rigor direcional para grandes profundidades.



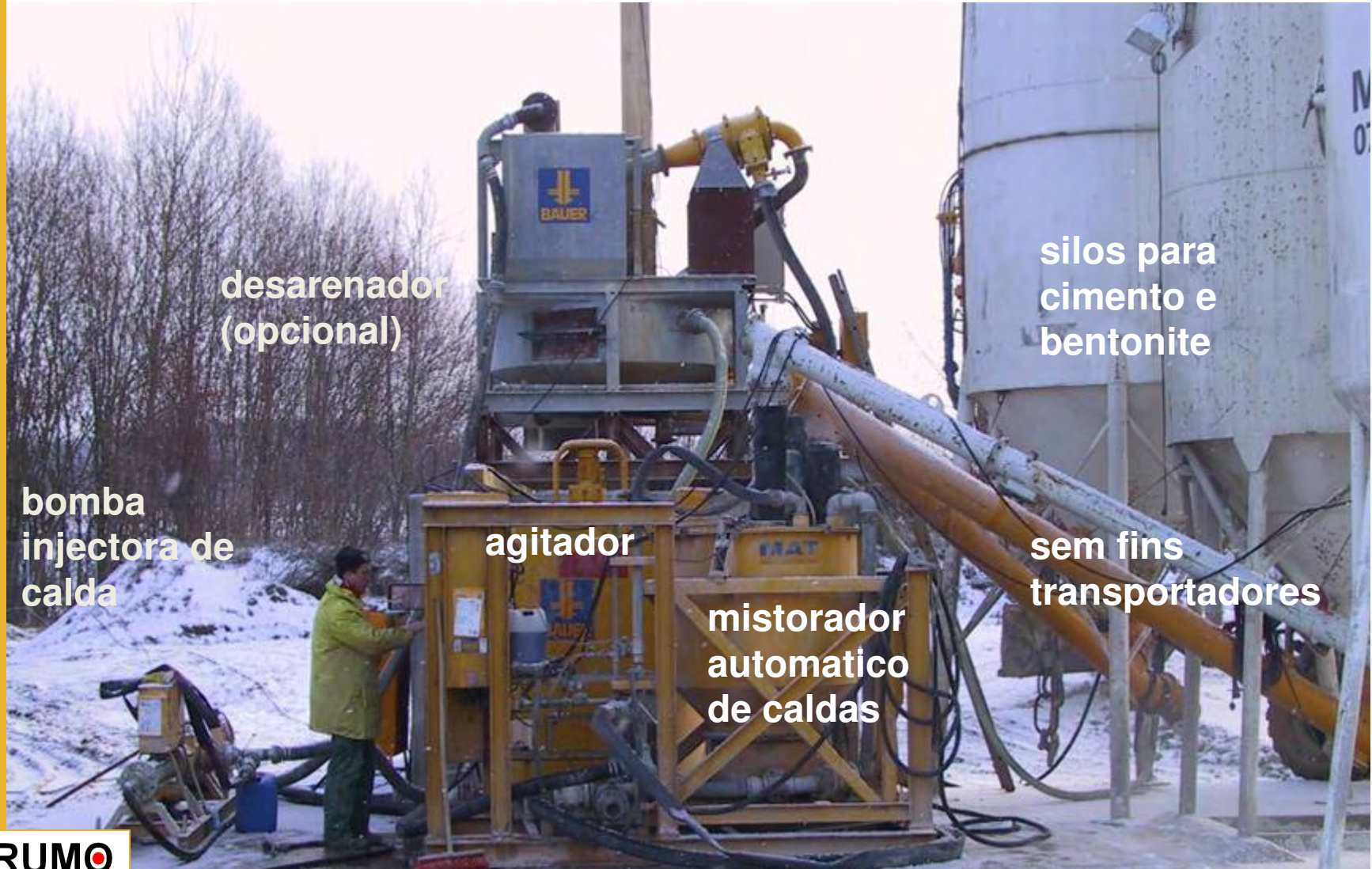


## COMPONENTES DO EQUIPAMENTO – SideCutter

SideCutter – prof. max. 60 m, largura de trabalho 4.50 m



COMPONENTES DO EQUIPAMENTO – Central de fabrico da calda



desarenador  
(opcional)

silos para  
cimento e  
bentonite

bomba  
injectora de  
calda

agitador

sem fins  
transportadores

mistorador  
automatico  
de caldas

## SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO – One phase system

- Pré-escavação



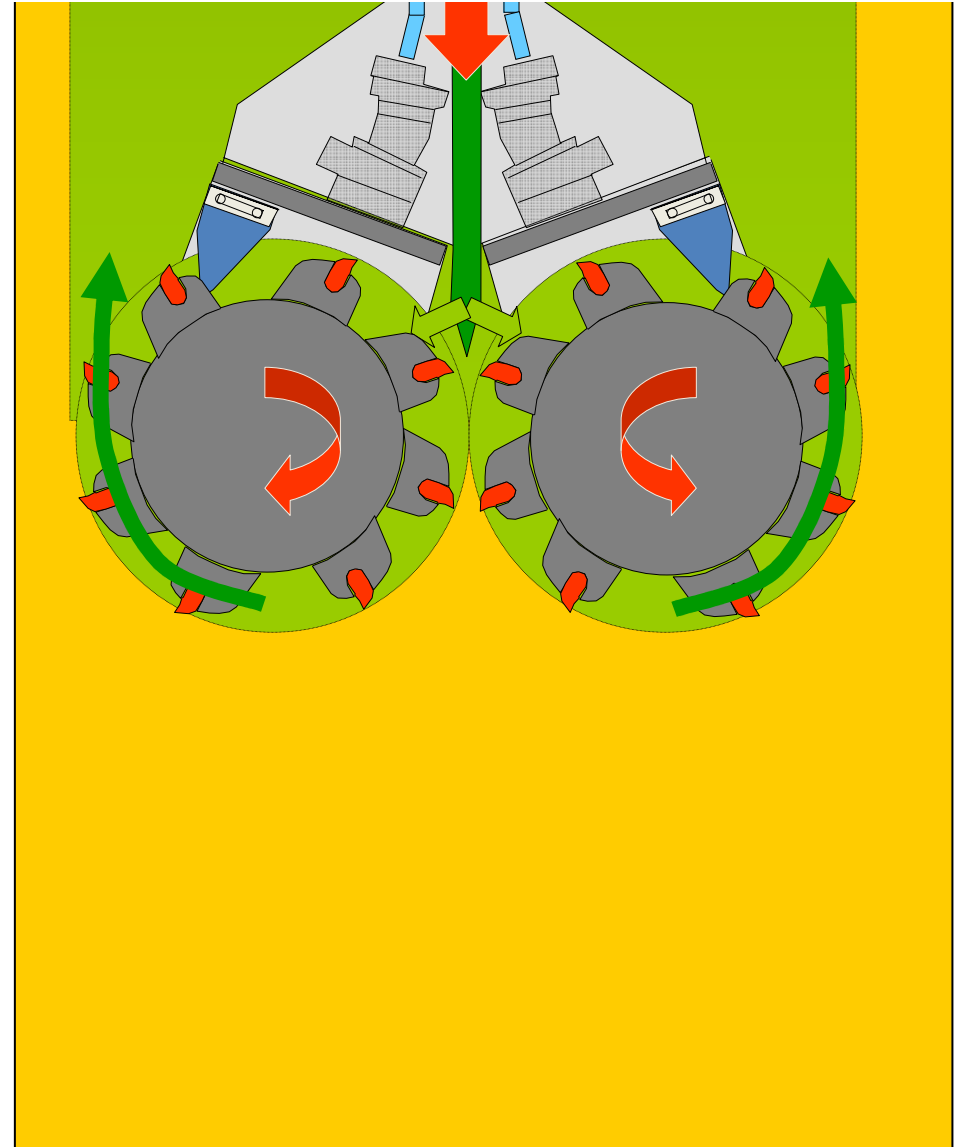
## SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO – One phase system

- Pré-escavação
- Descida e mistura em descendente



## SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO – One phase system

- Pré-escavação
- Descida e mistura em descendente



## SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO – One phase system

- Pré-escavação
- Descida e mistura em descendente



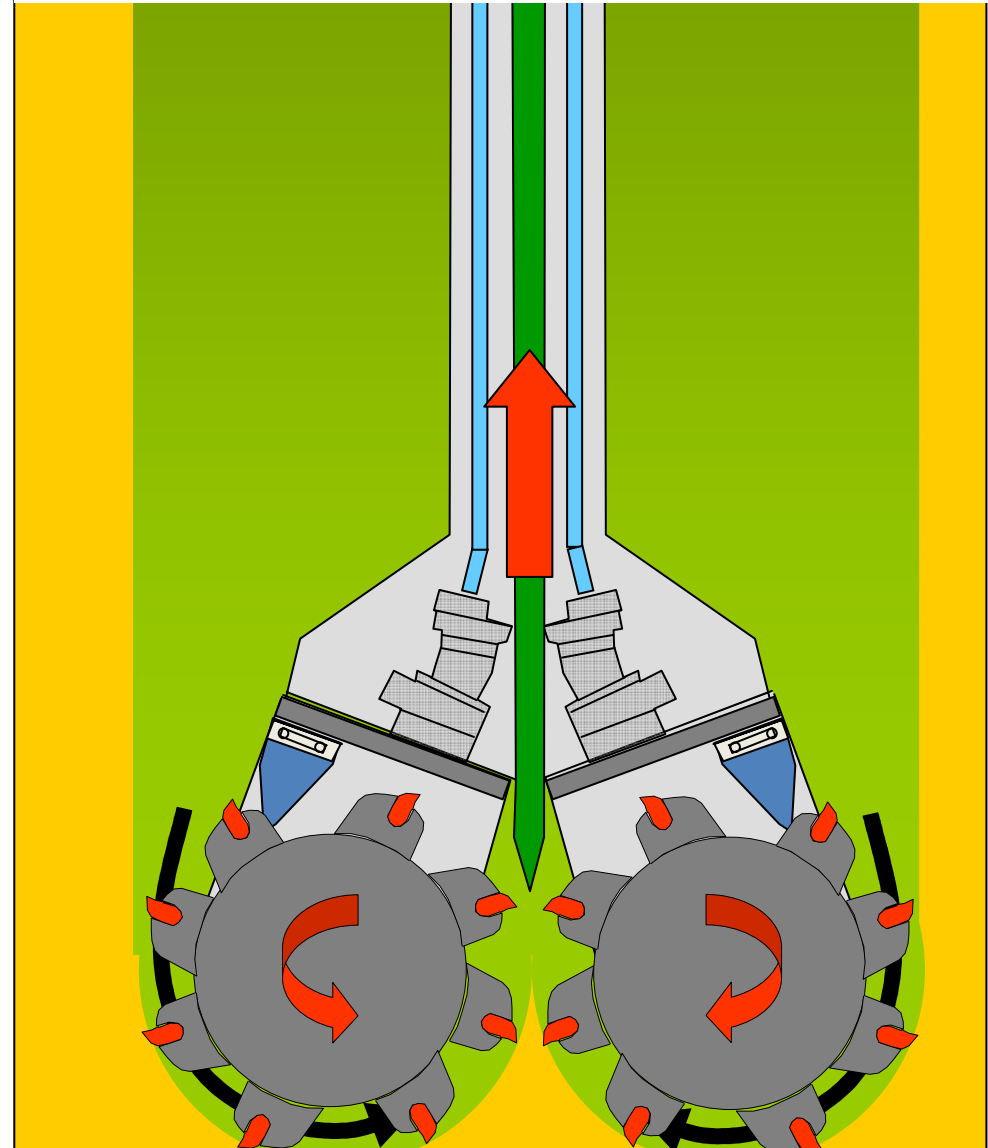
## SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO – One phase system

- Pré-escavação
- Descida e mistura em descendente
- **Refluxo do material excedente**



### SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO – One phase system

- Pré-escavação
- Descida e mistura em descendente
- Refluxo do material excedente
- **Mistura e homogeneização durante a extracção**





### SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO – One phase system

- Pré-escavação
- Descida e mistura em descendente
- Refluxo do material excedente
- Mistura e homogeneização durante a extracção
- **Extracção completa**



### SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO – One phase system

- Pré-escavação
- Descida e mistura em descendente
- Refluxo do material excedente
- Mistura e homogeneização durante a extracção
- Extracção completa
- **Amostragem in-situ**



### SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO – One phase system

- Pré-escavação
- Descida e mistura em descendente
- Refluxo do material excedente
- Mistura e homogeneização durante a extracção
- Extracção completa
- Amostragem in-situ
- **Instalação de armadura**  
por peso próprio com guincho auxiliar



### SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO – One phase system

- Pré-escavação
- Descida e mistura em descendente
- Refluxo do material excedente
- Mistura e homogeneização durante a extracção
- Extracção completa
- Amostragem in-situ
- **Instalação de armadura**  
por cravação estática com auxílio de equipamento

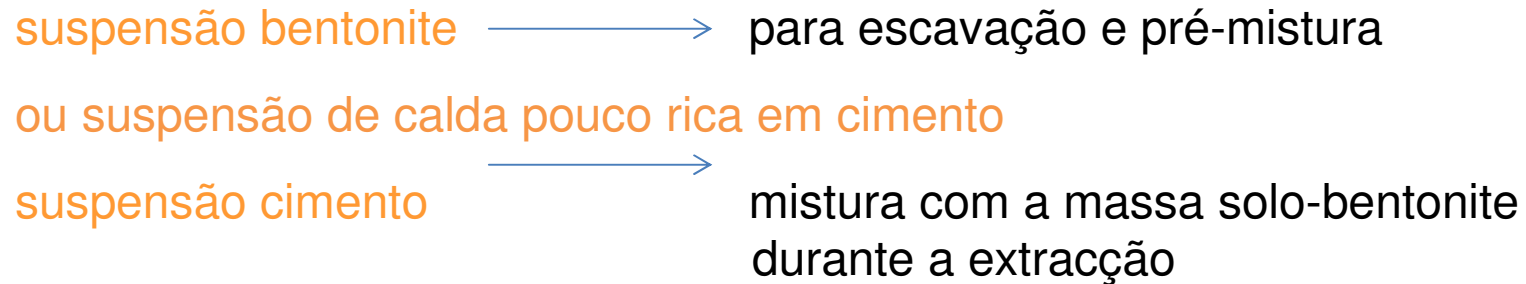


### SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO – One phase system

- Pré-escavação
- Descida e mistura em descendente
- Refluxo do material excedente
- Mistura e homogeneização durante a extracção
- Extracção completa
- Amostragem in-situ
- **Instalação de armadura**  
assistida com pequeno vibrador



### SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO – Alternativa: Two phase system



#### Aconselhável para:

- grandes profundidades
- difíceis condições de solo
- solo seco

#### Vantagens:

- permite interrupções do trabalho sem problemas
- menos desgaste nos componentes do cutter
- refluxo pode ser parcialmente reutilizado

## Vantagens em comparação com os métodos convencionais

solo usado na construção do material

mínimo refluxo a vazadouro

logística e custo de cimento e aço reduzida (não há transporte de betão pronto nem fabrico in-situ de armaduras)

### **Vantagens** em comparação com os métodos convencionais

pequena unidade base em relação à alta produtividade e grande profundidade possível de atingir com o tratamento

alta precisão na verticalidade através da regulação independente das cutter wheels

princípio da tecnologia cutter permite penetração em formações competentes

último desenvolvimento do CSM suspenso por cabo para profundidades > 35 m (utilizando o princípio do trench cutter)



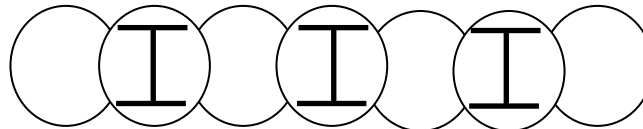


## Vantagens ao executar paredes estruturais

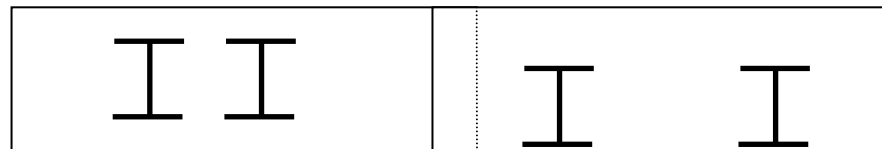
### Traditional DMM methods



Reinforcement is positioned only in the centre of the columns

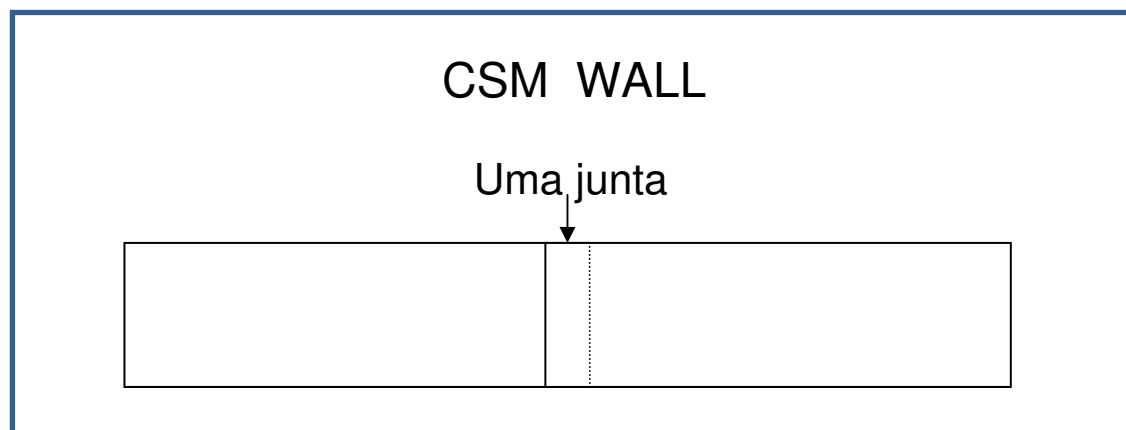
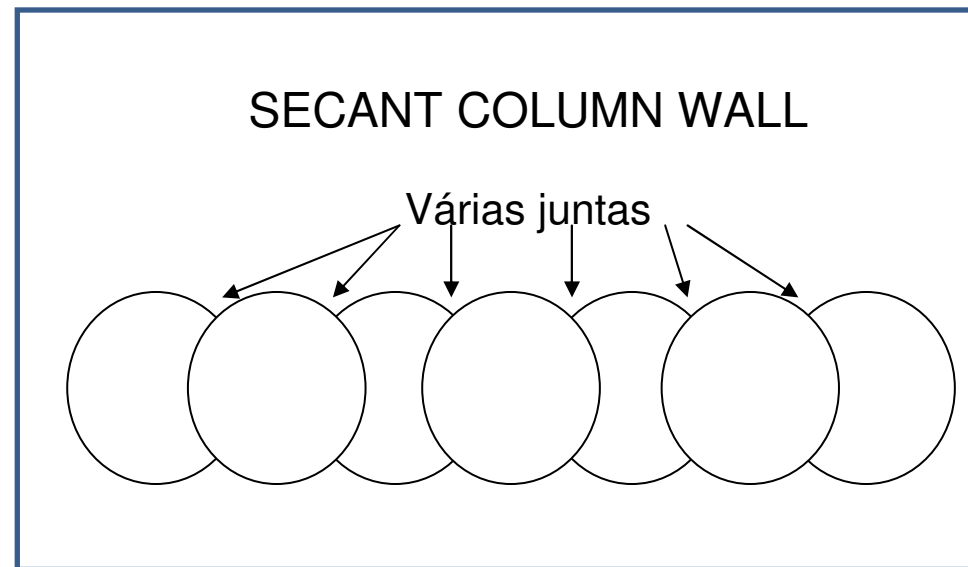


### CSM method



Reinforcement can be positioned anywhere within the panels

## Vantagens ao executar Cutt-off walls





# Projecto

## “Villa Paradisio“

### Cannes, França

ESTRUTURA DE CONTENÇÃO PERIFÉRICA  
EXECUTADA COM A TÉCNICA DE CSM

## APRESENTAÇÃO DA OBRA

Estrutura de suporte da escavação dos pisos enterrados

Empreendimento “Villa Paradisio” – Cannes, França





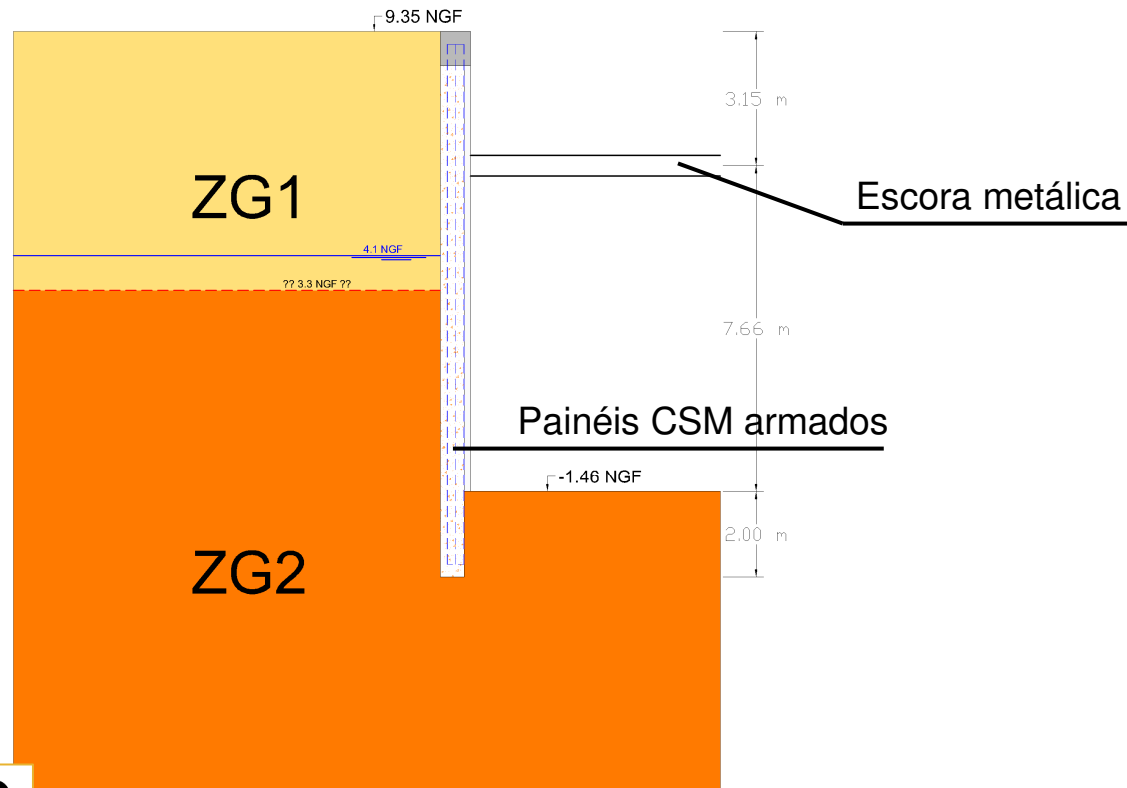
## CONDICIONALISMOS

- Arruamentos e edifícios vizinhos
- Canal de alvenaria enterrado



## SOLUÇÃO ESTRUTURAL ADOPTADA

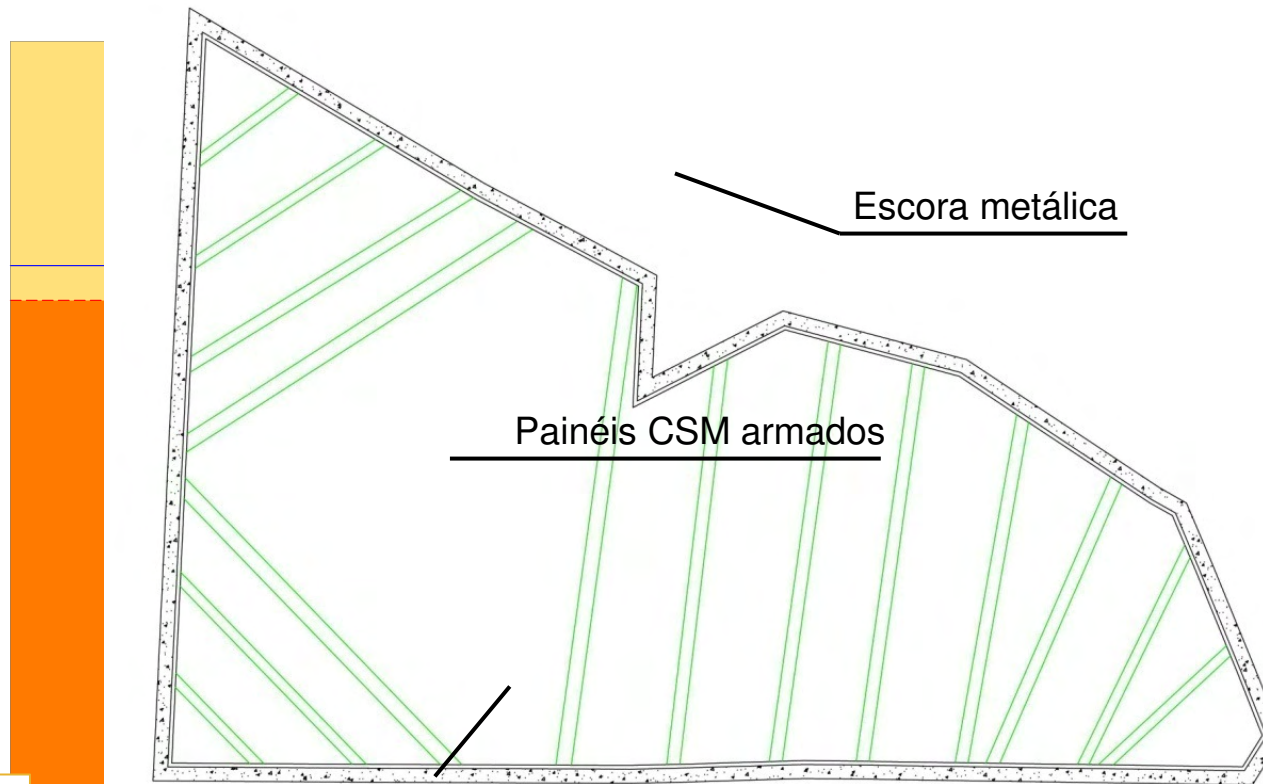
- Painéis em solo-cimento (CSM) – 0,55 m
- Mono – apoiada com escoras metálicas
- Parede de forro – 0,15 m



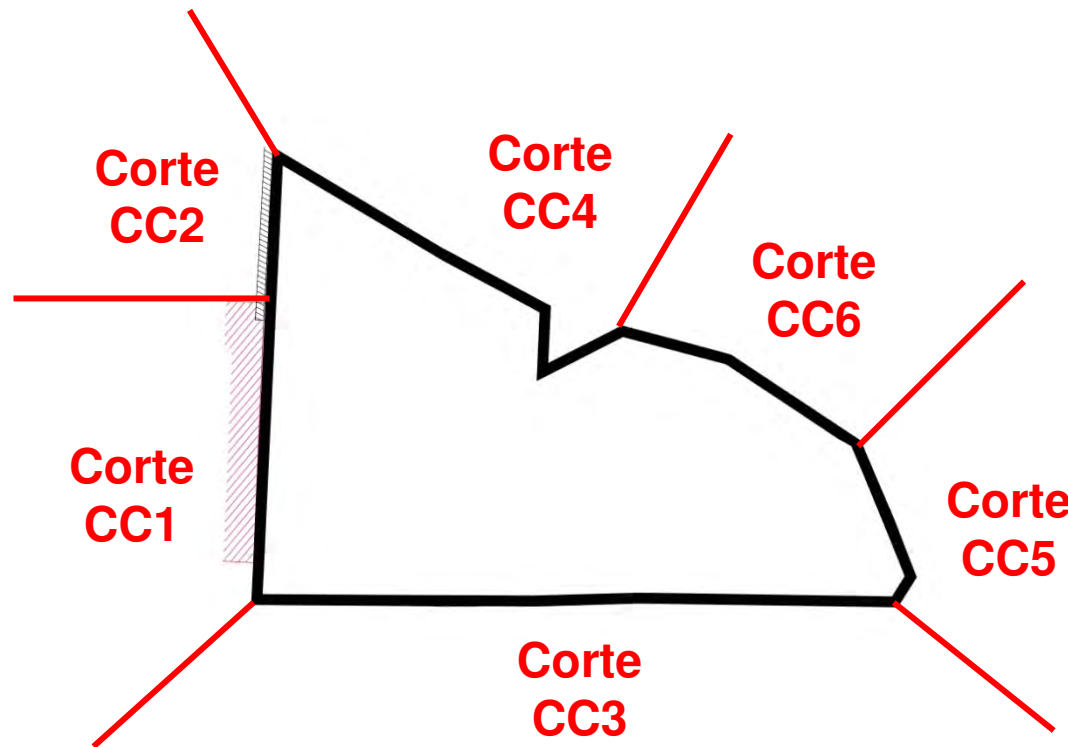


## SOLUÇÃO ESTRUTURAL ADOPTADA

- Painéis em solo-cimento (CSM) – 0,55 m
- Mono – apoiada com escoras metálicas
- Parede de forro – 0,15 m



SECÇÕES DE CÁLCULO



ZG1 - Aterros e argilas

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$c' = 20 \text{ kPa}$$

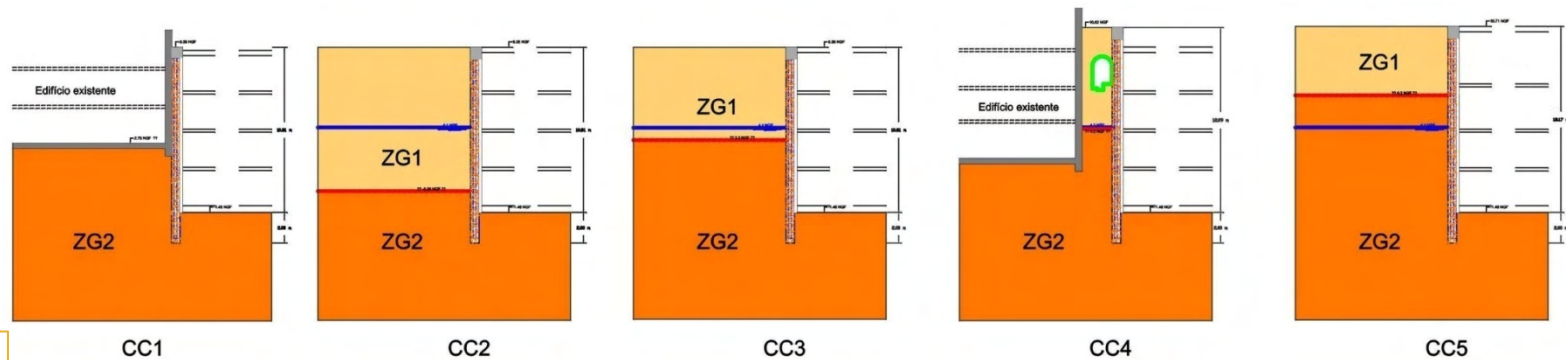
$$\phi = 30^\circ$$

ZG2 - Calcários dolomíticos

$$\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$$

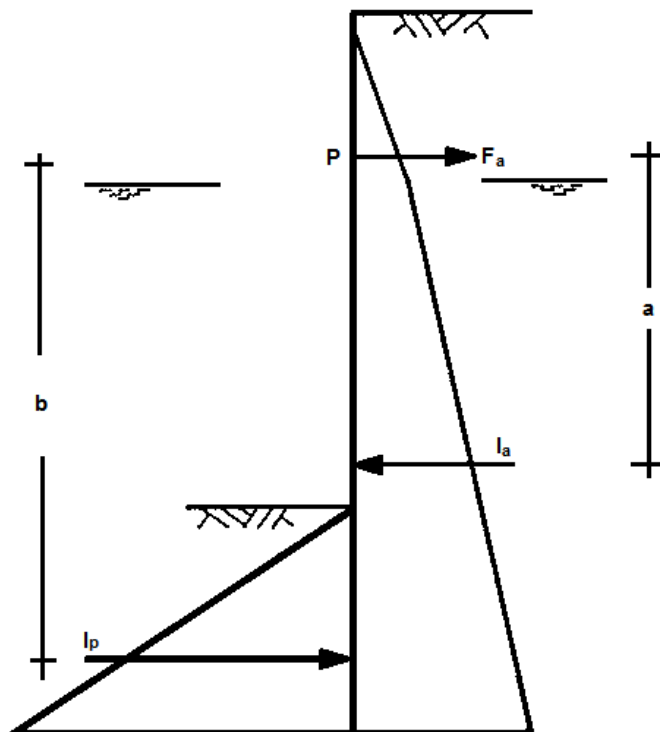
$$c' = 20 \text{ kPa}$$

$$\phi = 42^\circ$$



## PRÉ-DIMENSIONAMENTO

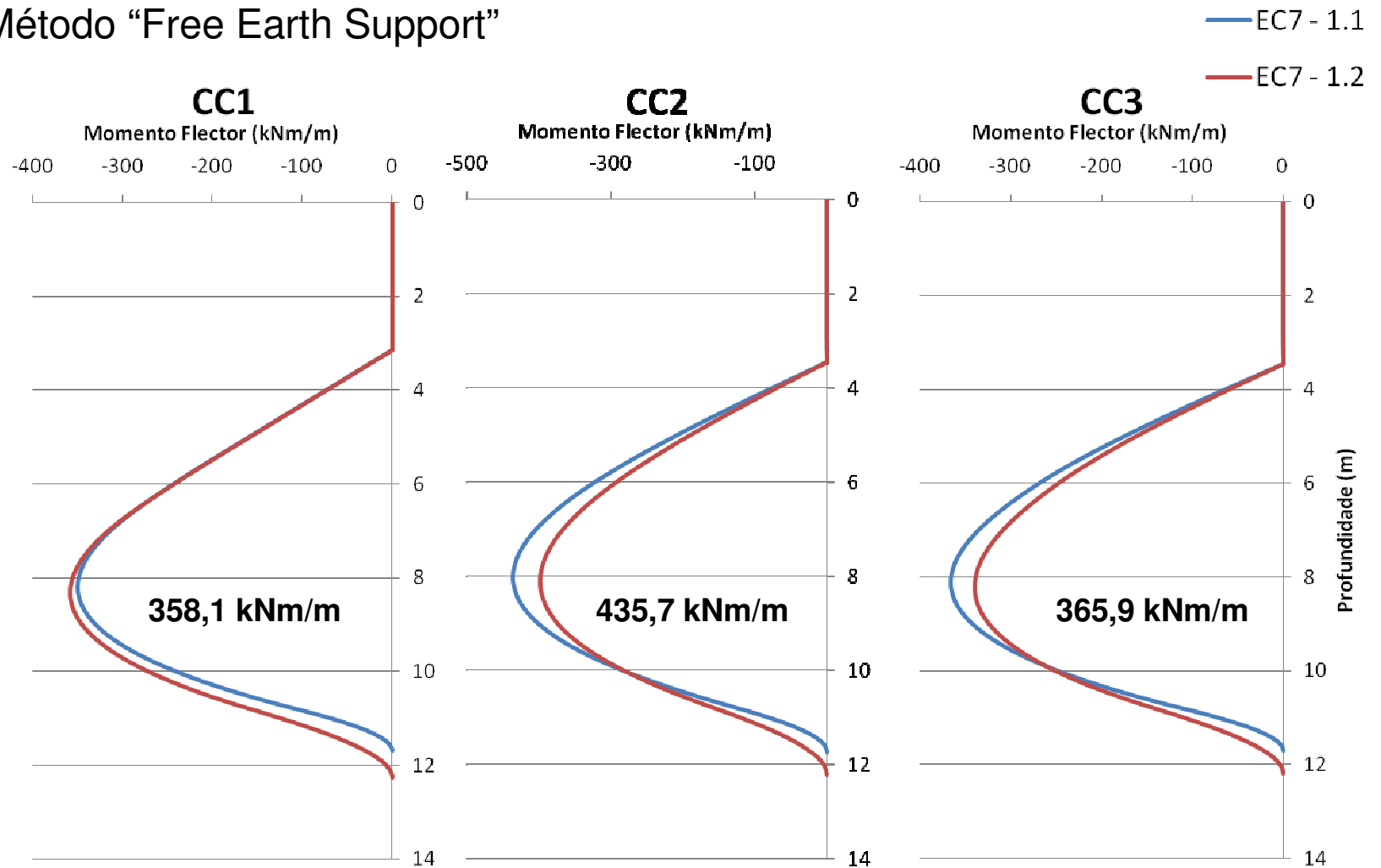
- Método “Free Earth Support”



Método	Acções		Características do Terreno		
	Permanentes	Variáveis	$\gamma'$	$c'$	$\phi'$
EC7 - 1.1	1,35 ou 1,00	1,50	1,00	1,00	1,00
EC7 - 1.2	1,00	1,30	1,25	1,25	1,40

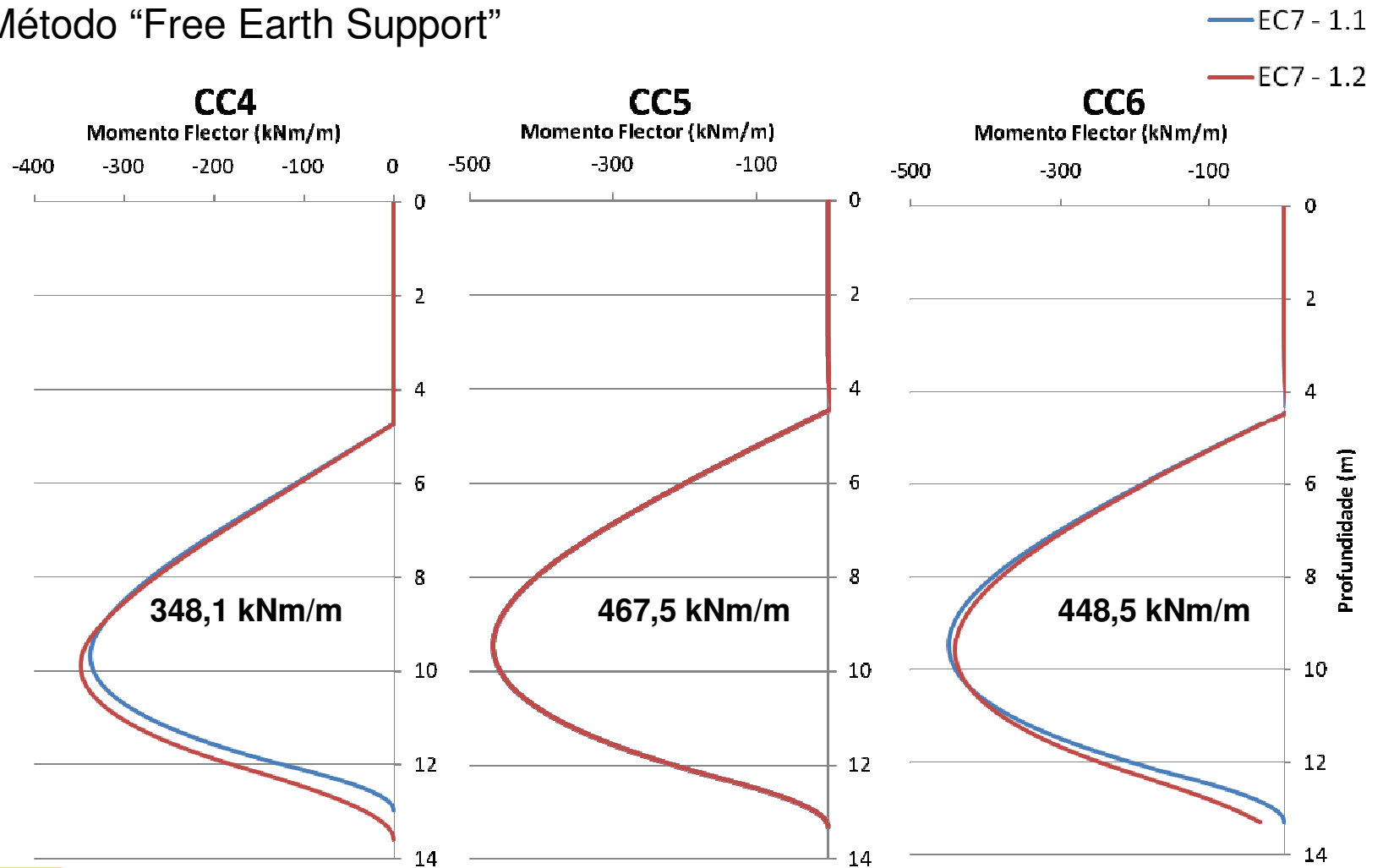
## PRÉ-DIMENSIONAMENTO

- Método "Free Earth Support"



## PRÉ-DIMENSIONAMENTO

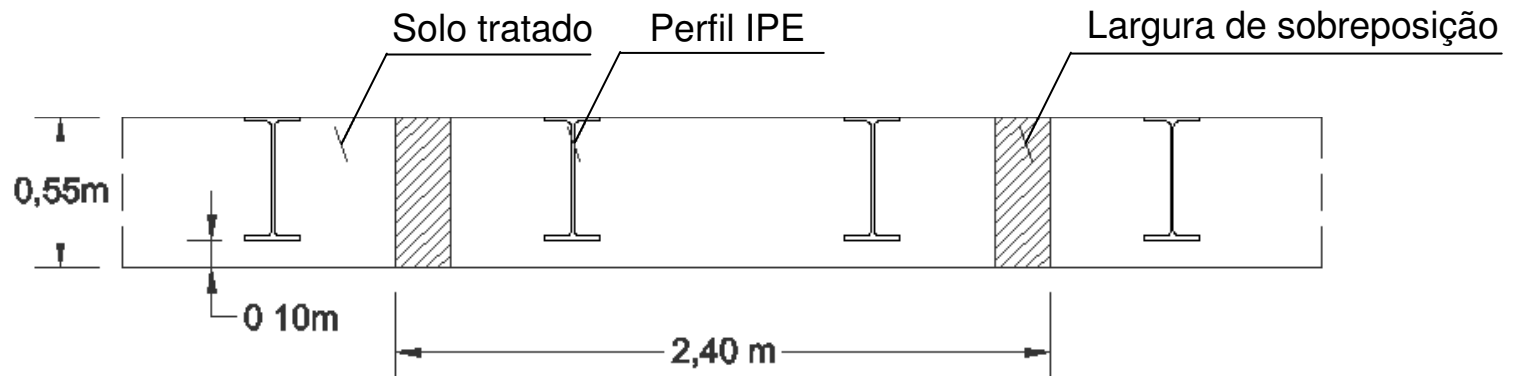
- Método "Free Earth Support"



## PRÉ-DIMENSIONAMENTO

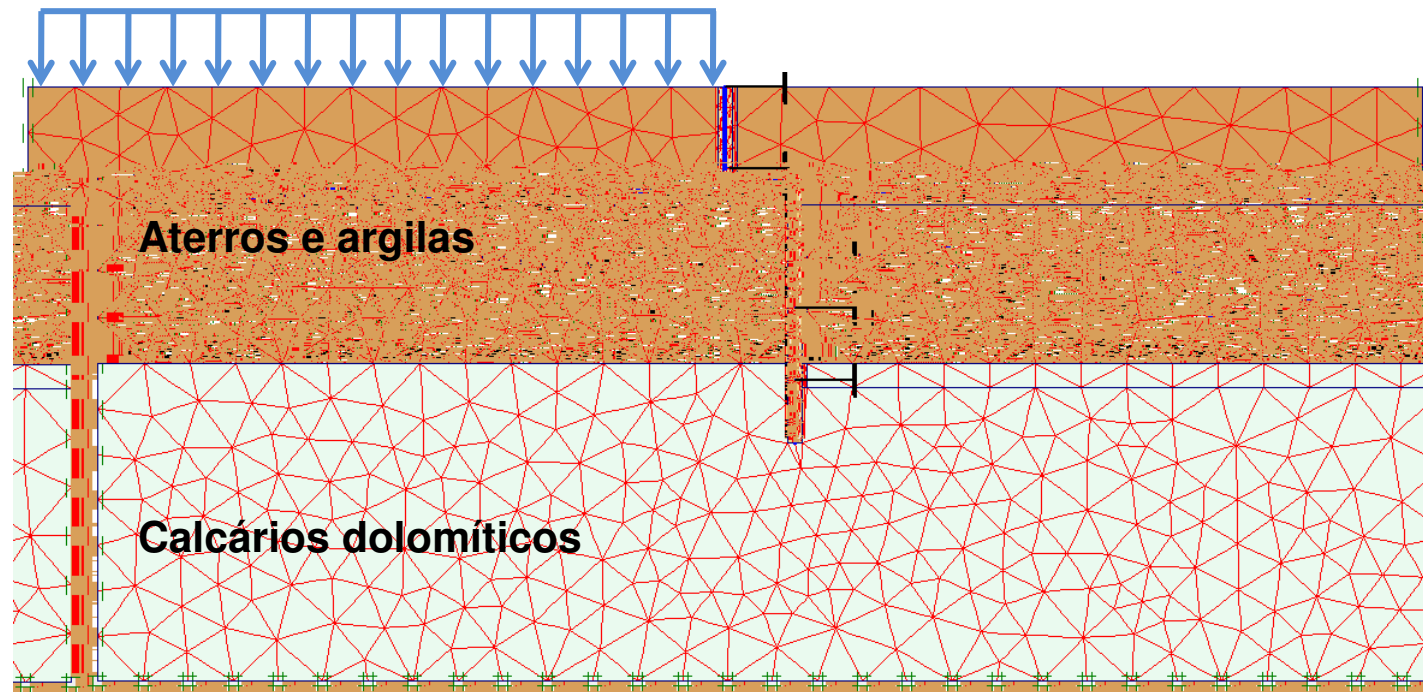
- Método “Free Earth Support”

➔ IPE 450 // 1,1 m



## ELEMENTOS FINITOS – PLAXIS

- Modelo de cálculo



## ELEMENTOS FINITOS

- Faseamento Construtivo

**Fase 1** – Escavação até 0,80 m abaixo da cota do escoramento;

**Fase 2** – Activação do escoramento;

**Fase 3** – Escavação até à cota inferior da laje de fundo;

**Fase 4** – Execução da estrutura em betão armado até à cota do escoramento;

**Fase 5** – Desactivação do escoramento;

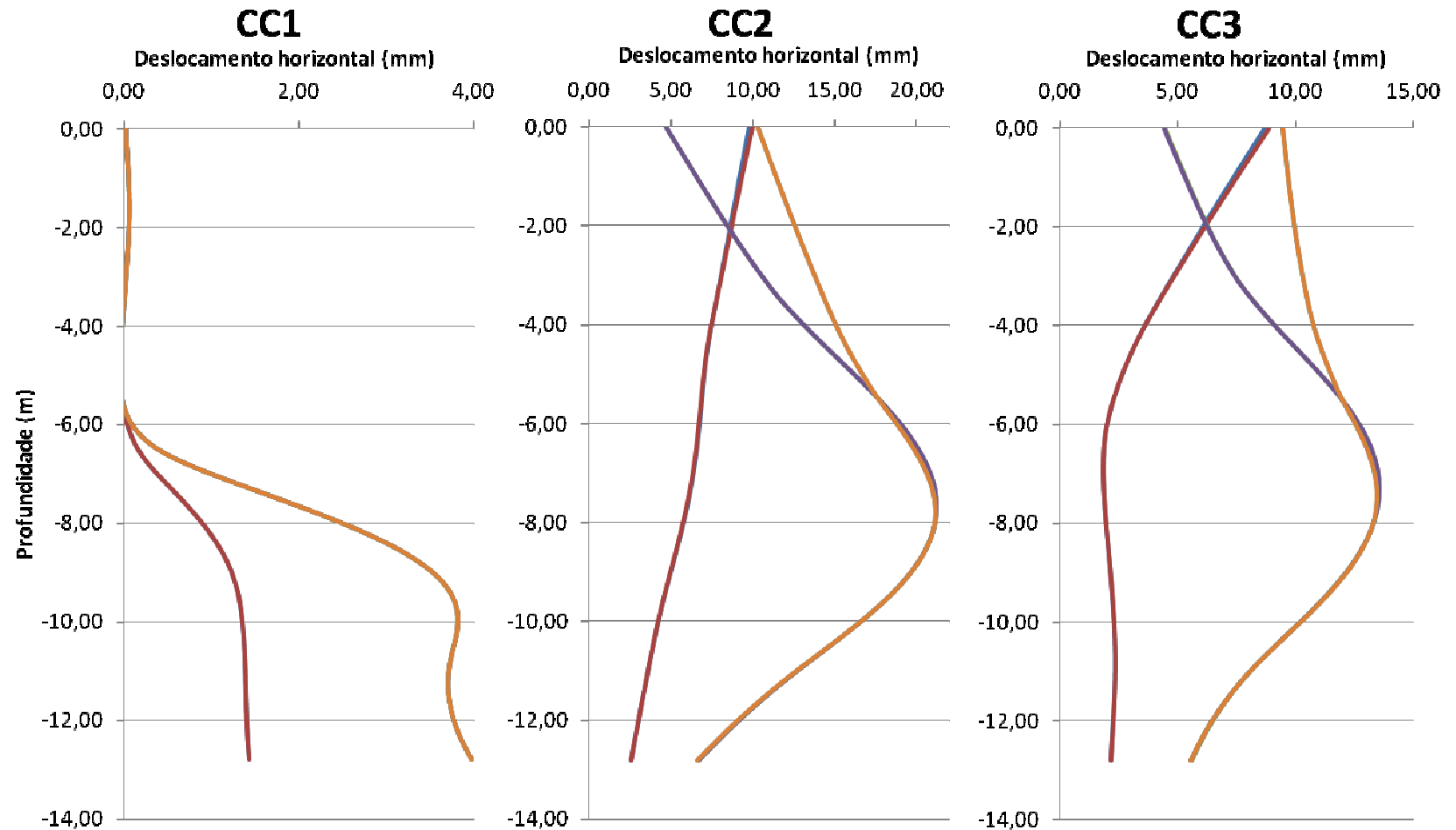
**Fase 6** – Execução da restante estrutura em betão armado.



## ELEMENTOS FINITOS

- Deslocamentos horizontais

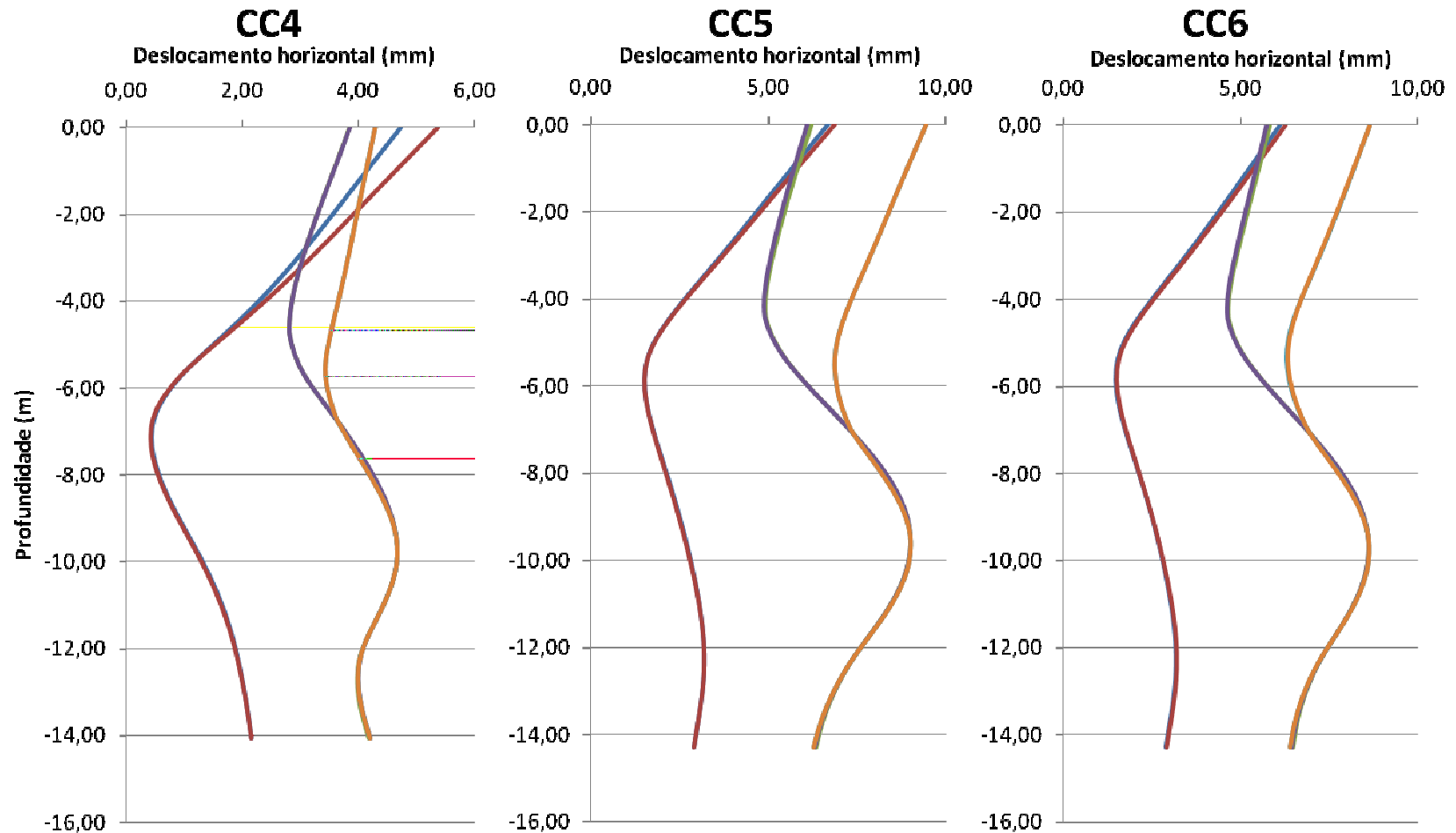
— Fase 1    — Fase 2    — Fase 3  
— Fase 4    — Fase 5    — Fase 6



## ELEMENTOS FINITOS

- Deslocamentos horizontais

— Fase 1    — Fase 2    — Fase 3  
— Fase 4    — Fase 5    — Fase 6



## VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA

- Resistência ao Corte

$$q = 132 \text{ kN/m}$$

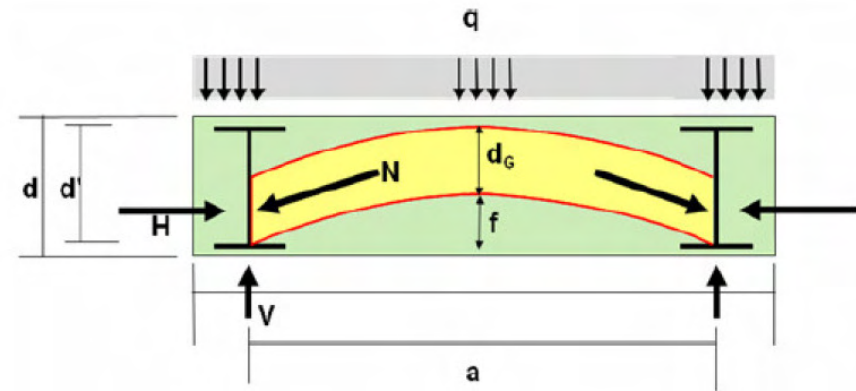
$$a = 1,1 \text{ m}$$

$$f = 0,08 \text{ m}$$

$$d_G = 0,22 \text{ m}$$

$$H = 250 \text{ kN/m}$$

$$\sigma = 1,13 \text{ MPa}$$



$$H = \frac{q \times a^2}{8 \times f}$$

Resistência de cálculo: 2 MPa

Resistência à rotura: 4 MPa

## VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA

- Capacidade de carga vertical

✓ Perfis verticais

Corte	$N_{Ed}$ [kN/m]	$M_{Ed}$ [kNm/m]	$\sigma_{Ed}$ [Mpa]	$\sigma_{Ed} < \sigma_{Rd}$
CC1	292	90,2	98,7	OK
CC2	292	246,5	213,3	OK
CC3	382	108,6	122,2	OK
CC4	369	102,4	116,5	OK
CC5	436	154	161,5	OK
CC6	376	154	154,8	OK

## VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA

- Capacidade de carga vertical
  - ✓ Capacidade de carga do solo

$$p_{le^*} = 6,12 \text{ MPa}$$

$$Q_u = A_l \times q_l + A_p \times q_p$$

$$Q_u = 7226 \text{ kN/m}$$

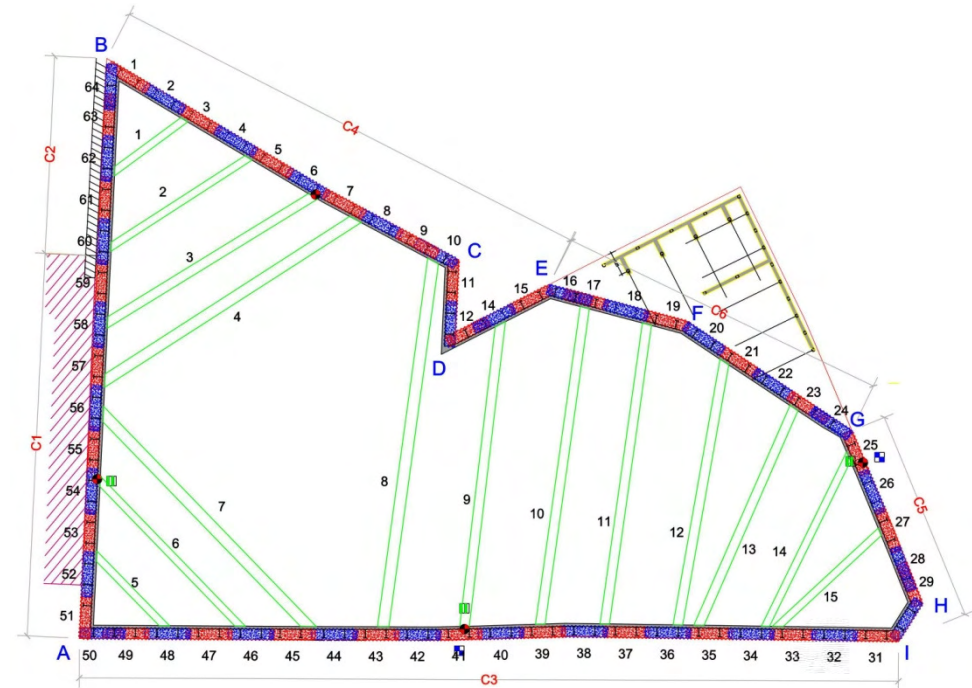
$$Q_d = 5161 \text{ kN/m}$$

## EXECUÇÃO DA OBRA





- Principais quantidades
  - 64 painéis de CSM: 1100 m<sup>3</sup> de solo tratado
  - 1573 ml de perfis metálicos IPE 450 (S 275)
  - Parede de forra em Betão Armado (e = 15 cm)
  - 15 escoras tubulares  
(Diâmetros entre 406 mm e 610 mm e espessura de 12,7 mm)

## INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

- 4 inclinómetros
- 28 Alvos topográficos
- 2 Marcas de nivelamento
- 3 Células de carga com termómetro



	<b>Deslocamentos horizontais</b>
Critério de alerta	No topo da cortina: 10 mm Ao longo da altura: 20 mm
Critério de alarme	No topo da cortina: 15 mm Ao longo da altura: 25 mm

-  Alvos topográficos
-  Inclinómetros
-  Marcas de nivelamento
-  Células de carga e termómetro



# Projecto

## “Parking Saint Nicolas”

### Cannes, França

ESTRUTURA DE CONTENÇÃO PERIFÉRICA  
EXECUTADA COM A TÉCNICA DE CSM



# PARQUE DE ESTACIONAMENTO SUBTERRÂNEO “SAINT NICOLAS” - CANNES

## APRESENTAÇÃO DA OBRA



✓ Proximidade directa de arruamentos e de edifícios existentes

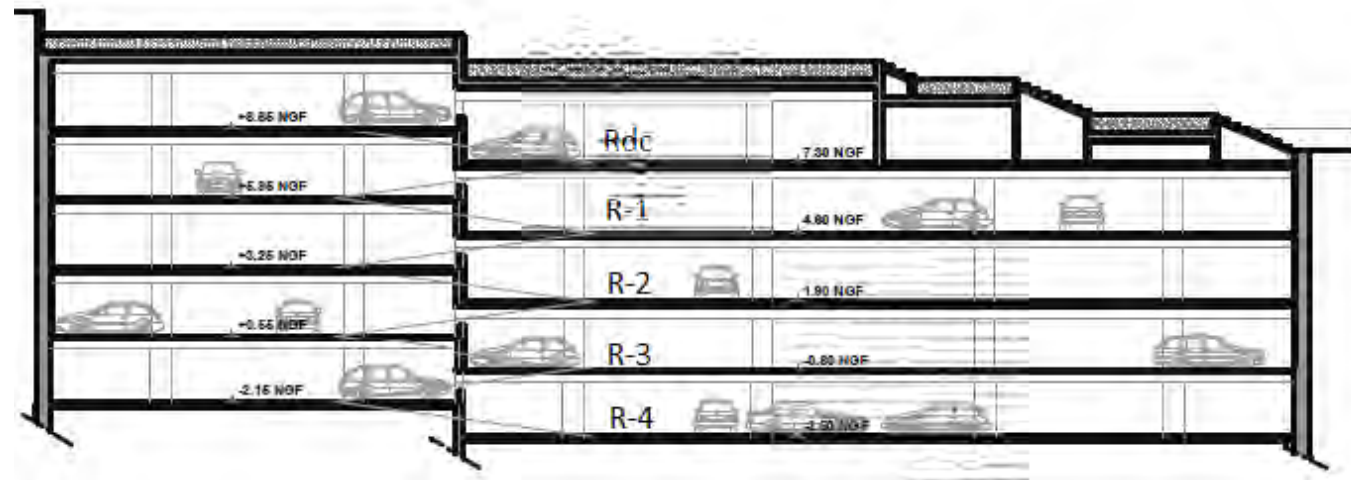
# PARQUE DE ESTACIONAMENTO SUBTERRÂNEO “SAINT NICOLAS” - CANNES

## APRESENTAÇÃO DA OBRA

Dono de Obra: **ABB**  
Alexandre Barbosa Borges, S.A.

Empreiteiro Geral: **ABB**  
Alexandre Barbosa Borges, S.A.

Projectista: **GEO-RUMO**  
TECNOLOGIA DE FUNDACÕES. SA

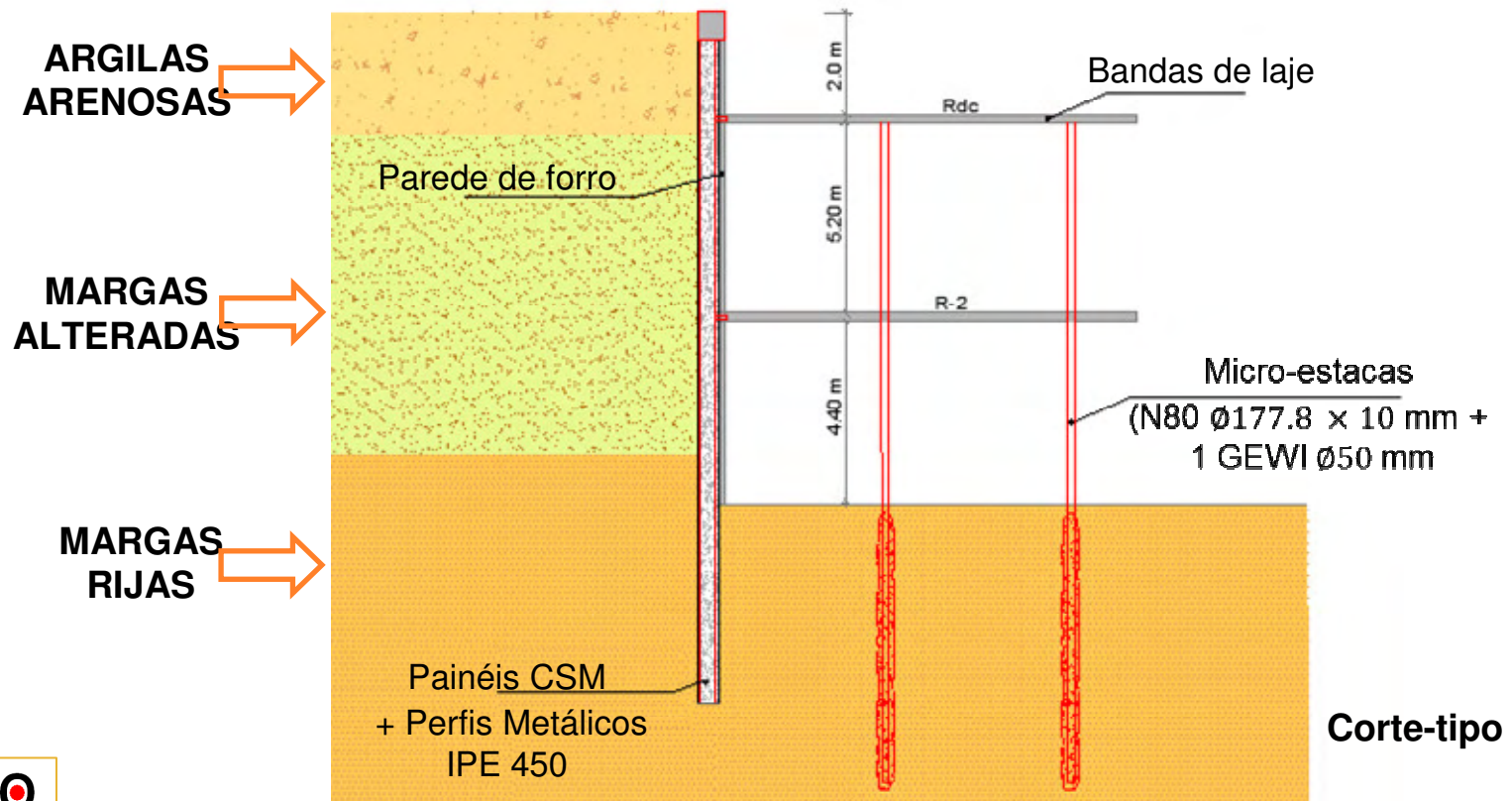


- ✓ Profundidade de escavação: 12 metros
- ✓ Área de escavação: 2640 m<sup>2</sup>
- ✓ Período de execução: 5 meses

# PARQUE DE ESTACIONAMENTO SUBTERRÂNEO “SAINT NICOLAS” - CANNES

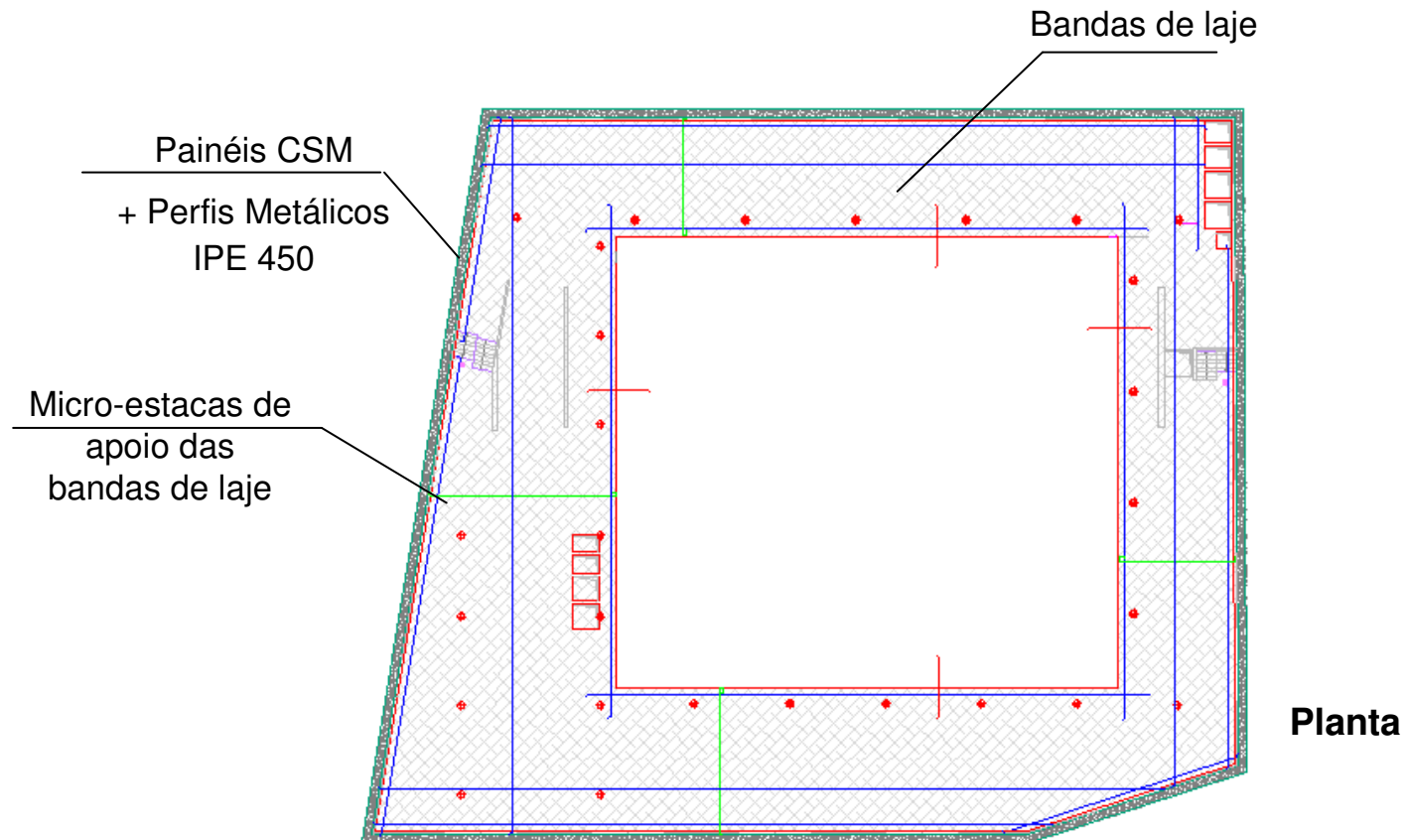
## SOLUÇÃO ESTRUTURAL ADOPTADA

- Painéis em solo-cimento (CSM): espessura=0,60 m
- 2 níveis de apoio – bandas de laje: quadro rígido fechado
- Parede de forro em betão armado: espessura=0,20 m



# PARQUE DE ESTACIONAMENTO SUBTERRÂNEO "SAINT NICOLAS" - CANNES

## SOLUÇÃO ESTRUTURAL ADOPTADA



# PARQUE DE ESTACIONAMENTO SUBTERRÂNEO "SAINT NICOLAS" - CANNES

## DADOS DE PROJECTO

PROSPECÇÃO E  
ENSAIOS *IN SITU*

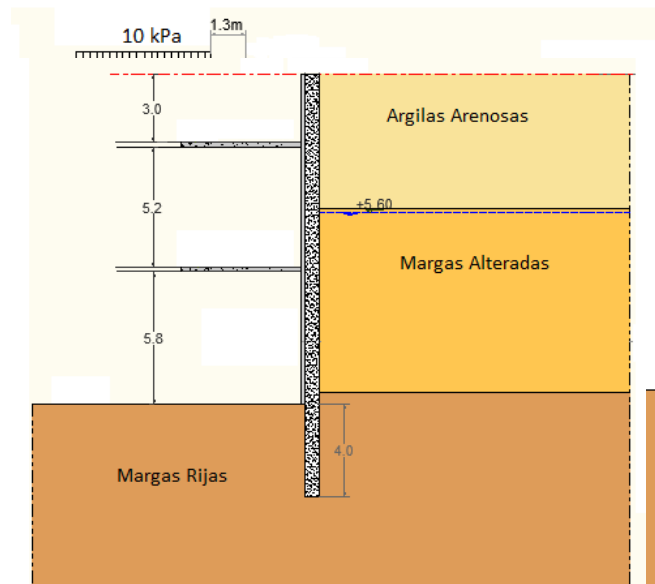


	Argilas Arenosas	Margas Alteradas	Margas Rijas
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	19	19	22
$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	10	25	70
$\phi'$ [°]	25	25	30

## SECÇÕES DE REFERÊNCIA:

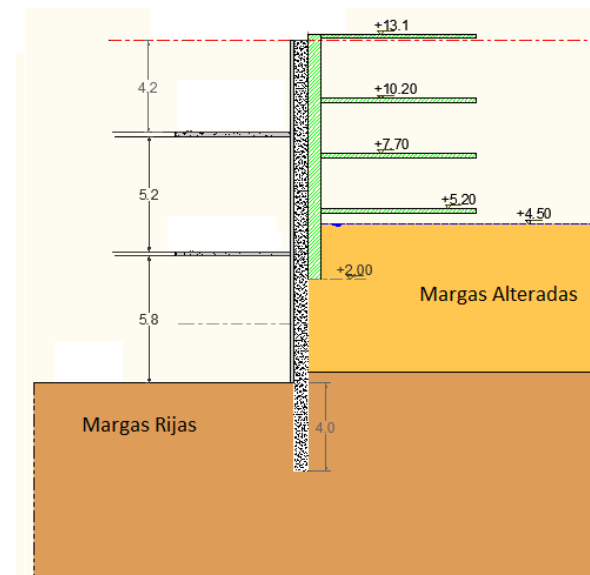
✓

✓



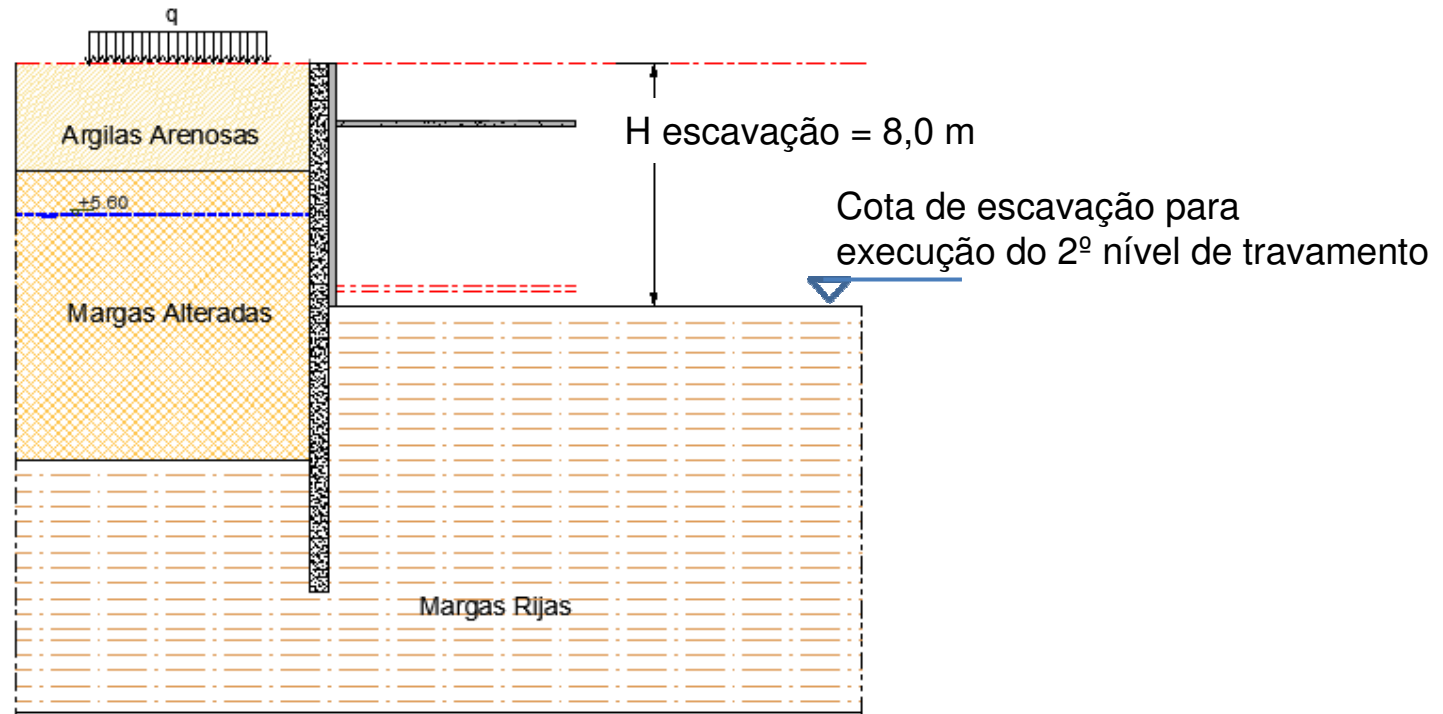
✓

✓



## PRÉ – DIMENSIONAMENTO

Método de Equilíbrio Limite - Cálculo da cortina em fase monoapoiada



- **Introdução da segurança:**

Abordagens de Cálculo 1 e 2 previstas no Eurocódigo 7 (EC7-1.1, EC7-1.2 e EC7-2)

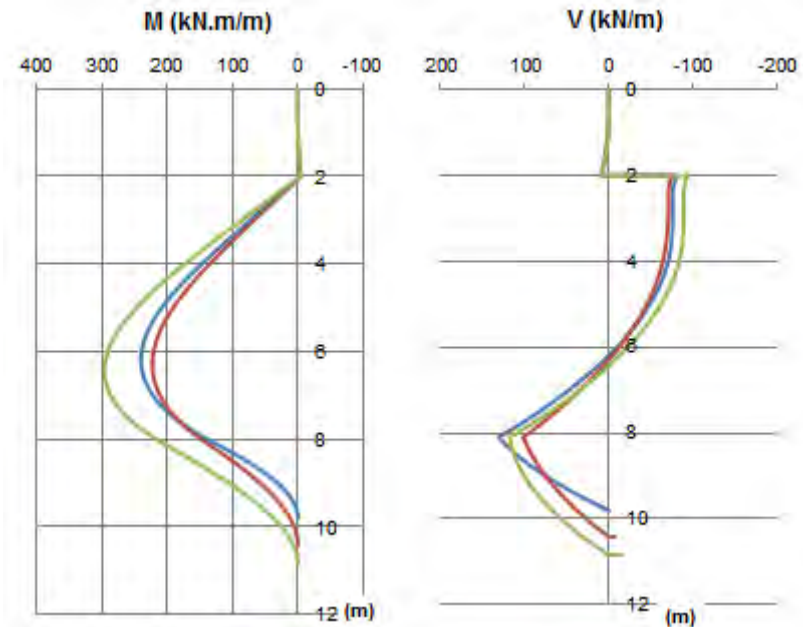
# PARQUE DE ESTACIONAMENTO SUBTERRÂNEO “SAINT NICOLAS” - CANNES

## PRÉ – DIMENSIONAMENTO

### MÉTODO DE “FREE EARTH SUPPORT”

$$M_{sd, max} = 296 \text{ kN.m/m}$$

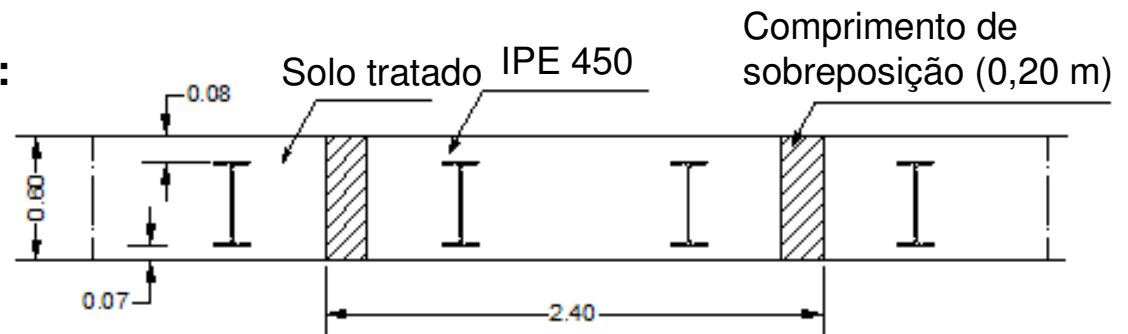
$$V_{sd, max} = 101 \text{ kN/m}$$



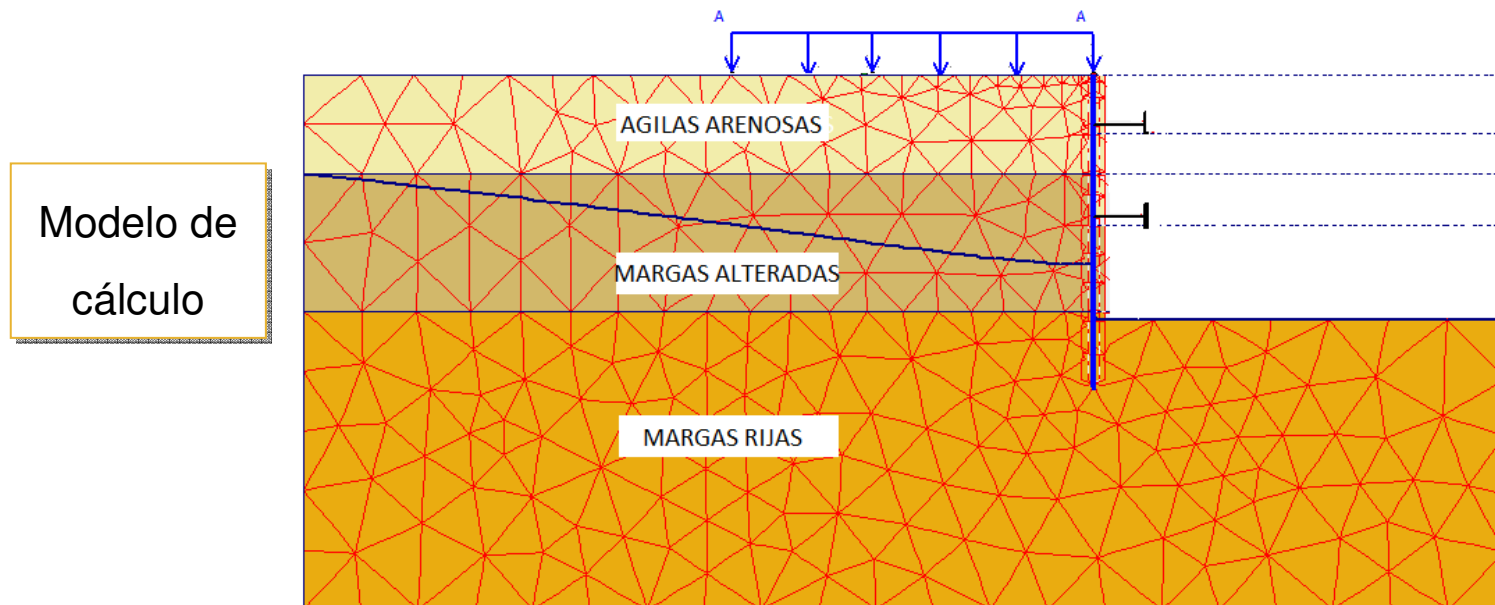
### Armadura dos painéis CSM:

IPE 450 // 1,10 m

$$M_{rd} = 375 \text{ kN./m}$$



## ELEMENTOS FINITOS



Fases de cálculo:

**Fase 1** – Escavação até 0,5 m abaixo da cota do Piso 0;

**Fase 2** – Execução das bandas de laje do Piso 0;

**Fase 3** – Escavação até 0,5 m abaixo da cota do Piso -2;

**Fase 4** – Execução das bandas de laje do Piso -2;

**Fase 5** – Escavação até à profundidade máxima.



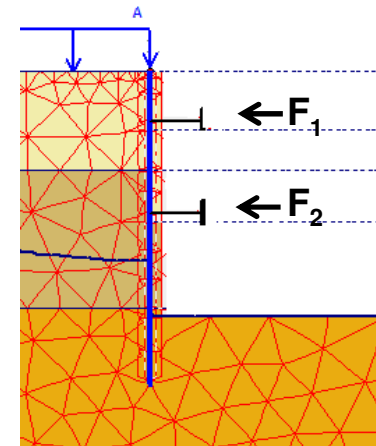
## ELEMENTOS FINITOS

### Análise em Estado Limite Último

$$M_{\max} = 200 \text{ kN.m/m}$$

$$F_{1, \max} \text{ (1º Nível de travamento)} = 140 \text{ kN/m}$$

$$F_{2, \max} \text{ (2º Nível de travamento)} = 374 \text{ kN/m}$$



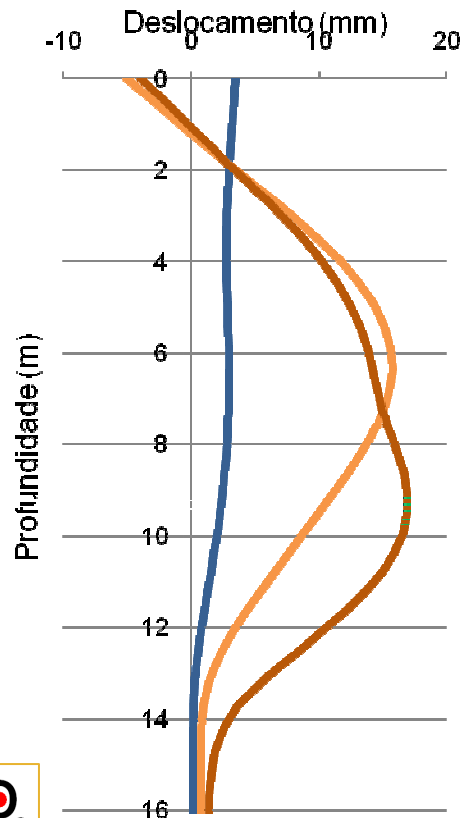
### Reforço de armadura das bandas de laje (As1 e As2)



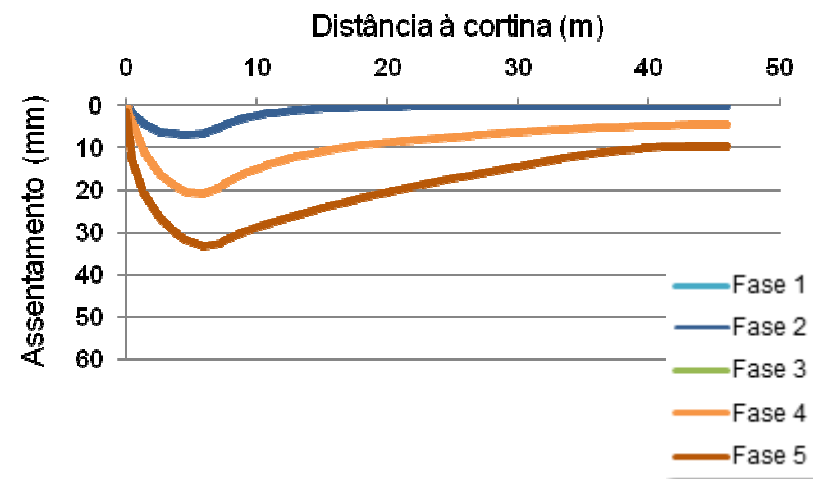
## ELEMENTOS FINITOS

Análise em Estado Limite de Utilização

### DESLOCAMENTO HORIZONTAL DA CORTINA



### ASSENTAMENTO DA SUPERFÍCIE DO TERRENO



# PARQUE DE ESTACIONAMENTO SUBTERRÂNEO “SAINT NICOLAS” - CANNES

## EXECUÇÃO DA OBRA

### Principais Quantidades

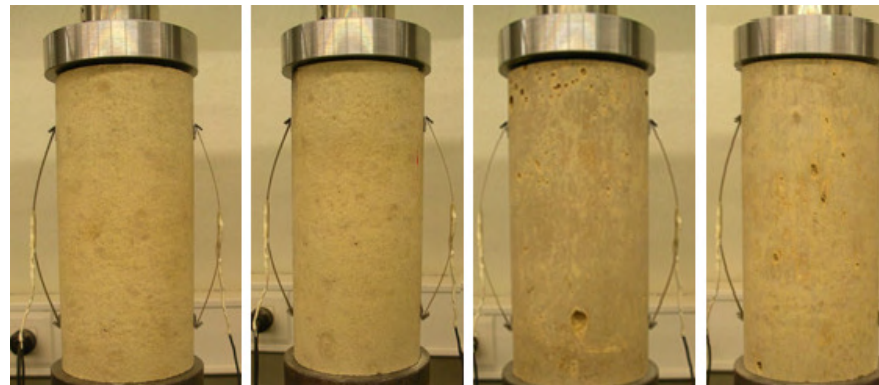
- 95 painéis de CSM: 1983 m<sup>3</sup> de solo tratado
- 2562 ml de perfis metálicos IPE 450 (S 275)
- 589 ml de micro-estacas N80  $\phi$ 177,8x10 mm
- 589 ml de varões GEWI  $\phi$ 50 mm colocados no interior das micro-estacas



## CONTROLO DOS PARÂMETROS DE EXECUÇÃO

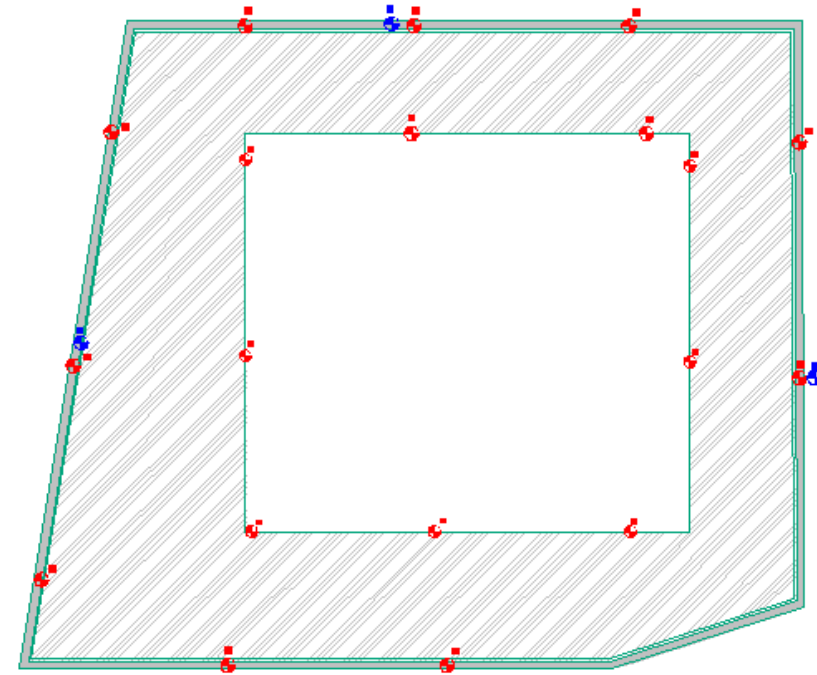
Ensaio de compressão uniaxial

	Valores médios de Resistência à compressão (Mpa)			
	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias
Série I	4,4	6,5	8,4	-
Série II	-	2,5	4,5	8,0
Série III	-	2,5	4,5	-
Série IV	-	2,5	6,0	-



## INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

- 3 inclinómetros
- 19 alvos topográficos
- deslocamentos horizontais inferiores aos limites estabelecidos até à fase final de escavação



Inclinómetros

Alvos Topográficos

	<b>Deslocamentos horizontais</b>
Critério de alerta	No topo da cortina: 10 mm Ao longo da altura: 20 mm
Critério de alarme	No topo da cortina: 15 mm Ao longo da altura: 30 mm

## CONSIDERAÇÕES SOBRE A EXECUÇÃO DA OBRA

- bom comportamento nas várias fases de escavação em termos de estabilidade e de controlo de deformações;
- solução vantajosa relativamente a soluções de travamento tradicionais:
  - incorporação de elementos da estrutura definitiva
  - dispensa a utilização do subsolo vizinho





# Parque de estacionamento subterrâneo

“FUTURLAGOS”

Frente Ribeirinha da  
cidade de Lagos

ESTRUTURA DE CONTENÇÃO  
PERIFÉRICA EXECUTADA COM A  
TÉCNICA DE CSM

## APRESENTAÇÃO DA OBRA

Estrutura provisória de suporte da escavação do Parque de Estacionamento Subterrâneo FUTURLAGOS



- Proximidade ao canal de acesso à marina de Lagos
- Proximidade directa de arruamentos, do edifício do Tribunal e da muralha da Fortaleza de Lagos



# PARQUE DE ESTACIONAMENTO SUBTERRÂNEO – LAGOS

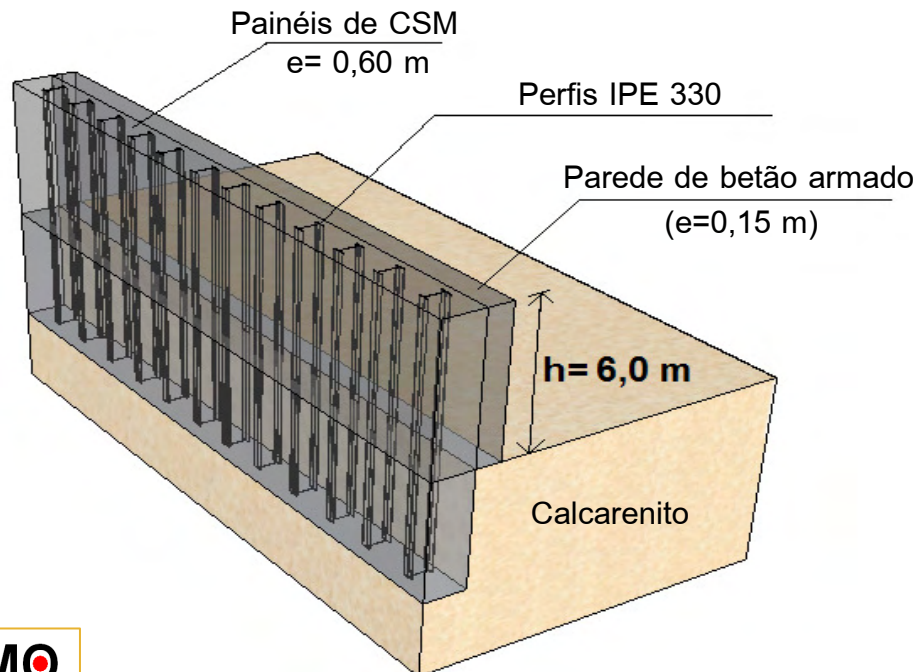
## APRESENTAÇÃO DA OBRA

**Dono de Obra:** EL – Estacionamentos de Lagos, S.A.

**Empreiteiro Geral:** Consórcio



**Projectista:**



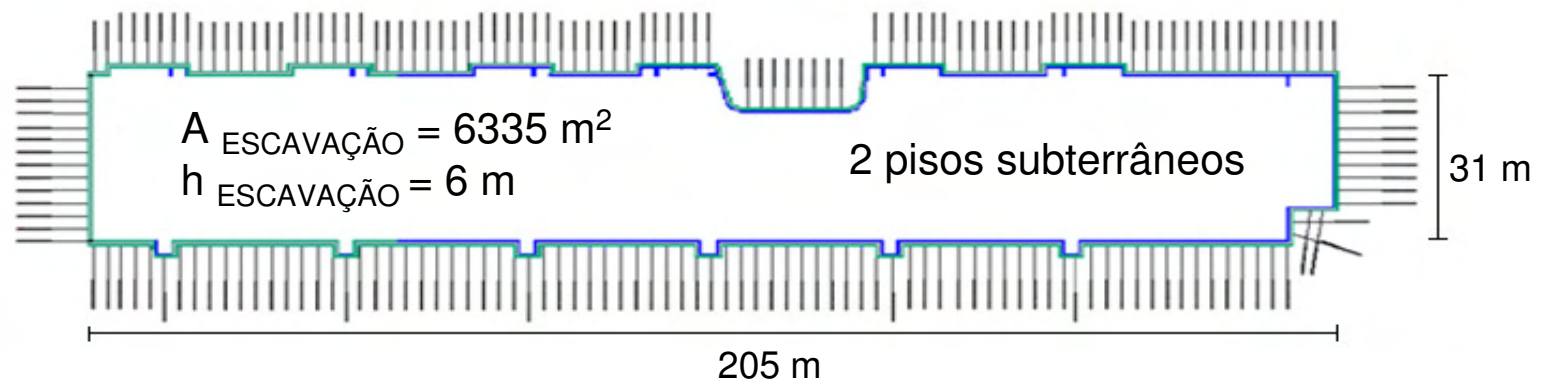
**Garantia de estabilidade  
em fase provisória**

**Elemento de  
Impermeabilização**

# PARQUE DE ESTACIONAMENTO SUBTERRÂNEO – LAGOS

## APRESENTAÇÃO DA OBRA

Prospecção e  
ensaios *in situ*



**PERÍODO DE EXECUÇÃO: 5 MESES**

# PARQUE DE ESTACIONAMENTO SUBTERRÂNEO - LAGOS

## EXECUÇÃO DA OBRA

### Principais Quantidades

- 262 painéis de CSM: 6500 m<sup>3</sup> de solo tratado
- 1944 ml de ancoragens provisórias de 600
- 480 toneladas de perfis metálicos IPE 330



# PARQUE DE ESTACIONAMENTO SUBTERRÂNEO - LAGOS

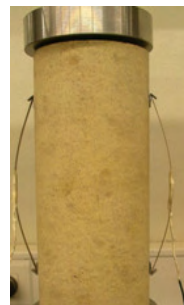
## CONTROLO DOS PARÂMETROS DE EXECUÇÃO

Ensaio de compressão uniaxial

Ensaio de compressão diametral

- 36 provetes de solo tratado ensaiados

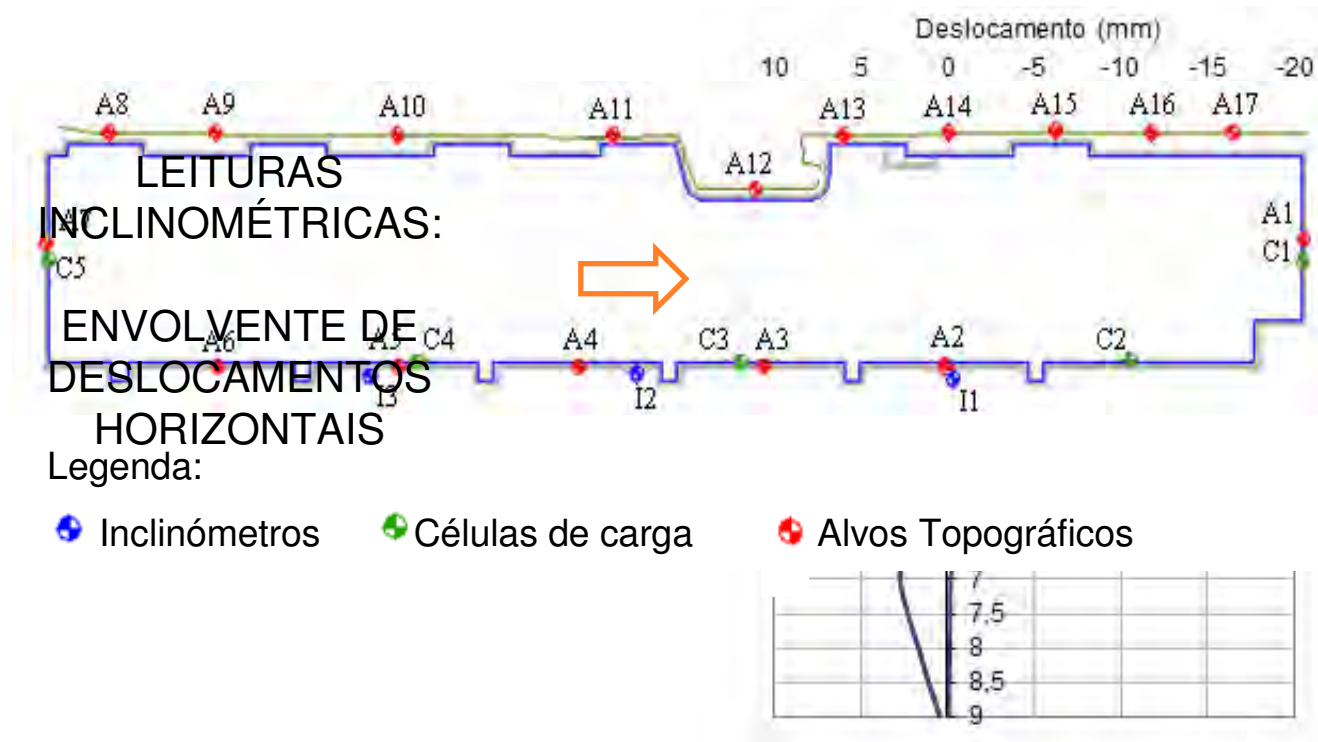
	Valores médios
Resistência à compressão	3,1 MPa
Resistência à tracção	0,3 MPa
Módulo de elasticidade	2,9 GPa



# PARQUE DE ESTACIONAMENTO SUBTERRÂNEO - LAGOS

## INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

- **5 inclinômetros**
- **5 células de carga**
- **17 alvos topográficos**



## CONSIDERAÇÕES SOBRE A EXECUÇÃO DA OBRA

- deslocamentos horizontais e verticais da cortina globalmente pequenos
- garantida a função de impermeabilização da cortina
- bom comportamento nas várias fases de escavação em termos de estabilidade e de controlo de deformações





# Execução de Poços para instalação de condutas

Margens do Rio Lima,  
Ponte de Lima

SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO DOS  
POÇOS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE CSM

## CONTENÇÃO PERIFÉRICA DE POÇOS - PONTE DE LIMA

**Contenção Periférica Provisória de Poços de Ataque e Recepção,**  
para instalação de uma conduta, em túnel, sob o leito do Rio Lima,  
integrada no Sistema de Águas de S. Jorge



- Viabilizar a escavação em condições de segurança, minimizando o caudal de água que viesse a afluir ao interior do recinto de escavação



# CONTENÇÃO PERIFÉRICA DE POÇOS - PONTE DE LIMA

## APRESENTAÇÃO DA OBRA

Dono de Obra:  **ÁGUAS DO  
MINHO E LIMA**

Empreiteiro Geral: Consórcio   **ISOLUX CORSÁN**  
ISOLUX WAT

Projectista:  **JETSJ**  
geotecnia

- **Poço de montante / margem direita:**  
diâmetro interior cerca de 15m  
profundidade de cerca de 18m
- **Poço de jusante / margem esquerda:**  
diâmetro interior de cerca de 13.5m  
profundidade de cerca de 17m

# CONTENÇÃO PERIFÉRICA DE POÇOS - PONTE DE LIMA

## APRESENTAÇÃO DA OBRA

### Condicionalismos

Litologia	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$c'$ (kPa)	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$E'$ (Mpa)
Materiais de aterro e terra vegetal	25	0	19	2
Material arenoso e cascalheiras	30	0	20	5
Xisto descomposto (W5)	30	20	21	15
Xisto muito alterado (W4)	35	40	21	40
Painéis de CSM (valores mínimos)	45	400	21	1000

- execução junto às margens do Rio Lima;
- espaço reduzido (desaconselhável a execução de plataformas de aterro);
- necessidade de limitar a contaminação do rio.

**Prazo de execução da obra: 3 meses**

# CONTENÇÃO PERIFÉRICA DE POÇOS - PONTE DE LIMA

## APRESENTAÇÃO DA OBRA



- painéis em solo-cimento (CSM) – 2,4 x 0,8 m<sup>2</sup>
- disposição global circular e sobreposição mínima entre painéis de 0,30m
- painéis armados com perfis metálicos verticais IPE 300
- ficha de 5,0 m abaixo do fundo de escavação para limitar a afluência de água

# CONTENÇÃO PERIFÉRICA DE POÇOS - PONTE DE LIMA

## EXECUÇÃO DA OBRA

### Principais Quantidades

- 2055 m<sup>3</sup> de solo tratado
- 1100 ml Perfis Verticais IPE300



# CONTENÇÃO PERIFÉRICA DE POÇOS - PONTE DE LIMA

## CONTROLO DOS PARÂMETROS DE EXECUÇÃO

Recolha de amostras frescas de solo-cimento e carotes dos painéis CSM, para realização de ensaios compressão uniaxial



Obra:	DH-0007 Travessias Rio Vez, Rio Lima e Rio Couros		
Peça betonada:	Painel nº 4 - Prof. 3m		

N.º do provete	18	19	20
----------------	----	----	----

Idade do provete (dias)	3	7	28
Tipo de provete	cubo	cubo	cubo

Dimensões do provete	Comp./Diâm. (mm)	150	150	150
	Larg. (mm)	150	150	150
	Alt. (mm)	150	150	150

Condições do provete	saturado	saturado	saturado
Condição da superfície	seca	seca	seca
Peso do provete (kg)	5,98	6,04	5,94
Massa volumica (kg/m <sup>3</sup> )	1770	1790	1760
Carga máxima de rotura (kN)	90.8	145.6	183.1
Tensão de rotura (MPa)	4,0	6,5	8,0

# CONTENÇÃO PERIFÉRICA DE POÇOS - PONTE DE LIMA

## INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

- 12 alvos topográficos;
- 3 inclinómetros, a tardoza da contenção em CSM

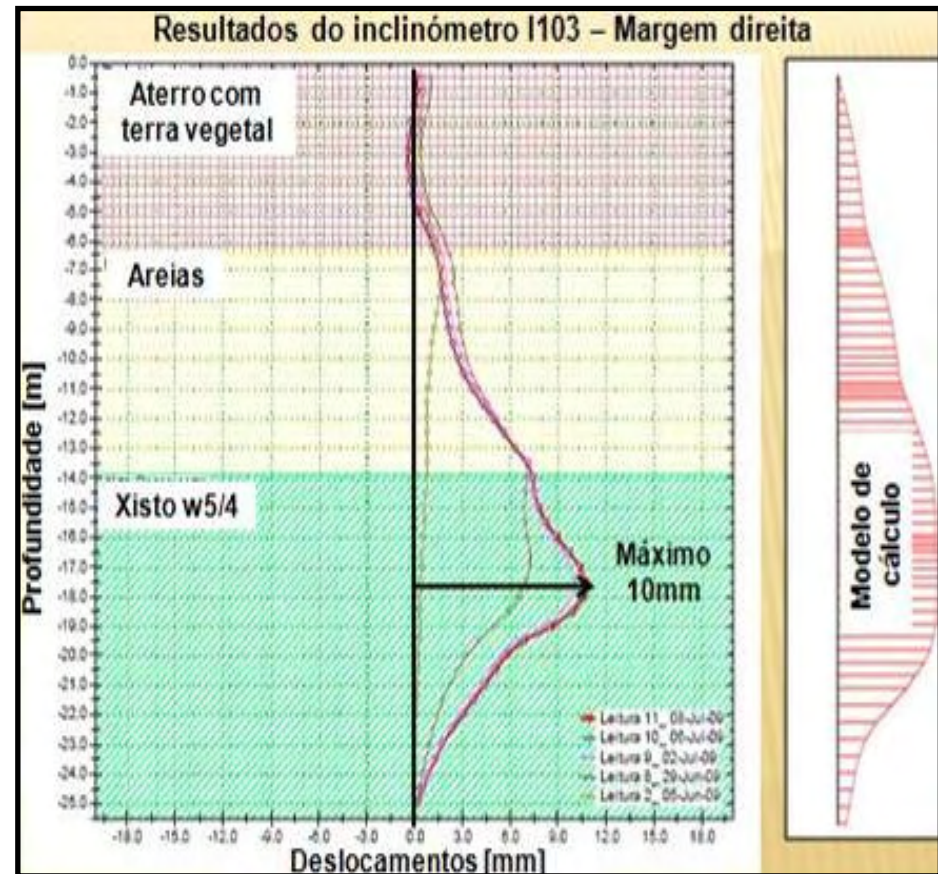
Leituras com periodicidade semanal durante a escavação e construção da estrutura interna.



# CONTENÇÃO PERIFÉRICA DE POÇOS - PONTE DE LIMA

## INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

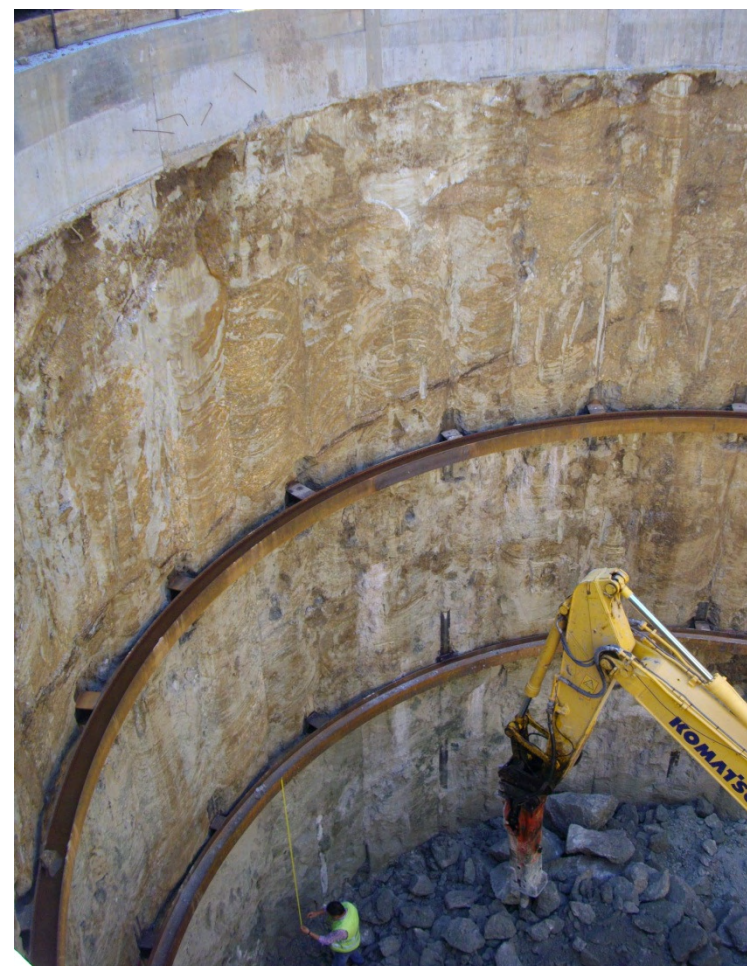
- Deslocamento horizontal não excedeu os 10mm, tendo ocorrido na fase final da escavação;
- Deslocamentos praticamente coincidentes com o estimado em fase de Projecto.



# CONTENÇÃO PERIFÉRICA DE POÇOS - PONTE DE LIMA

## CONSIDERAÇÕES SOBRE A EXECUÇÃO DA OBRA

- boa estanqueidade (situação difícil de conseguir com soluções clássicas de contenção periférica);
- vantagens económicas e de prazo;
- reduzidas deformações.







# Colégio Pedro Arrupe

Parque das Nações,  
Lisboa

SOLUÇÕES DE FUNDAÇÃO ATRAVÉS  
DA TÉCNICA DE CSM

# Colégio Pedro Arrupe – Parque das Nações – LISBOA

## APRESENTAÇÃO DA OBRA

Dono de Obra:   
ALVES RIBEIRO

Empreiteiro Geral:   
ALVES RIBEIRO

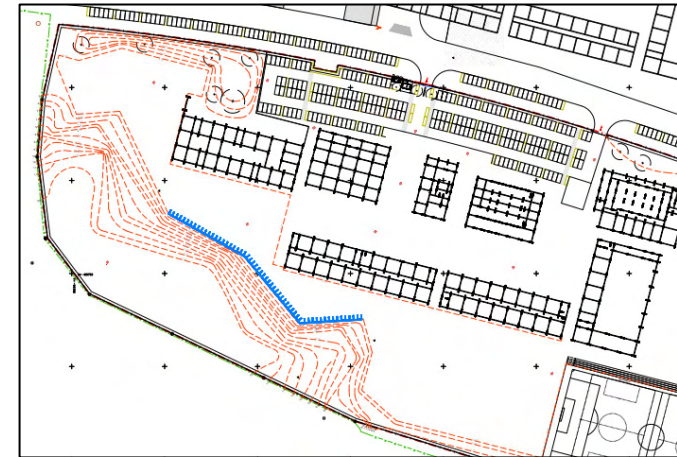
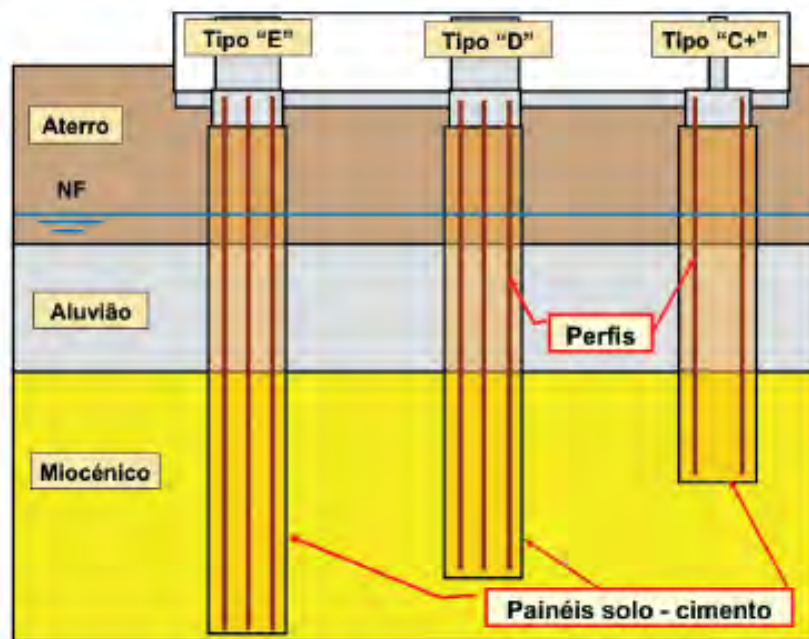
Projectista:  JETSJ  
geotecnia



## APRESENTAÇÃO DA OBRA

### Condicionamentos Geotécnicos:

- Antigas fundações e depósitos de aterro no subsolo
- Aluvião lodosa
- Miocénico



Execução de fundações através de painéis de CSM com introdução de perfis metálicos HEB e de estacas cravadas

## EXECUÇÃO DA OBRA

**Período de execução:** 2 meses

**Principais quantidades:**

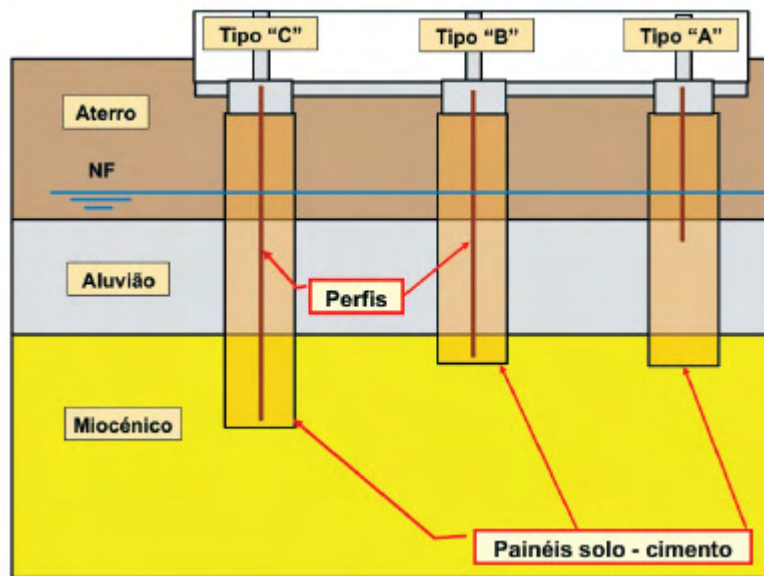
- 3900 m<sup>3</sup> CSM;
- 540 m<sup>3</sup> de Jet;
- 1800 ml estacas cravadas;
- 218000 kg de perfis HEB120 e HEB160.



## CONTROLO DOS PARÂMETROS DE EXECUÇÃO

Recolha de amostras frescas dos painéis de solo-cimento:

- Resistência à Compressão Simples – 3MPa aos 28 dias
- Módulo de deformabilidade – 0,8 GPa aos 28 dias





# Interceptor do Rio Ave

Guimarães

SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO ATRAVÉS  
DA TÉCNICA DE CSM

# INTERCEPTOR DO RIO AVE - GUIMARÃES

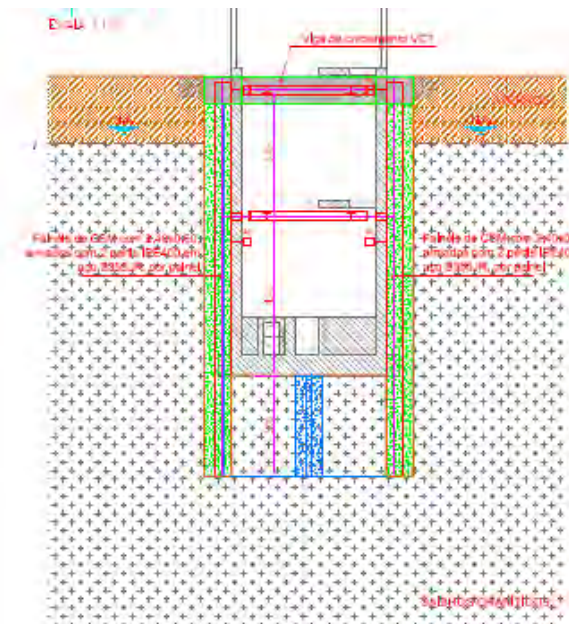
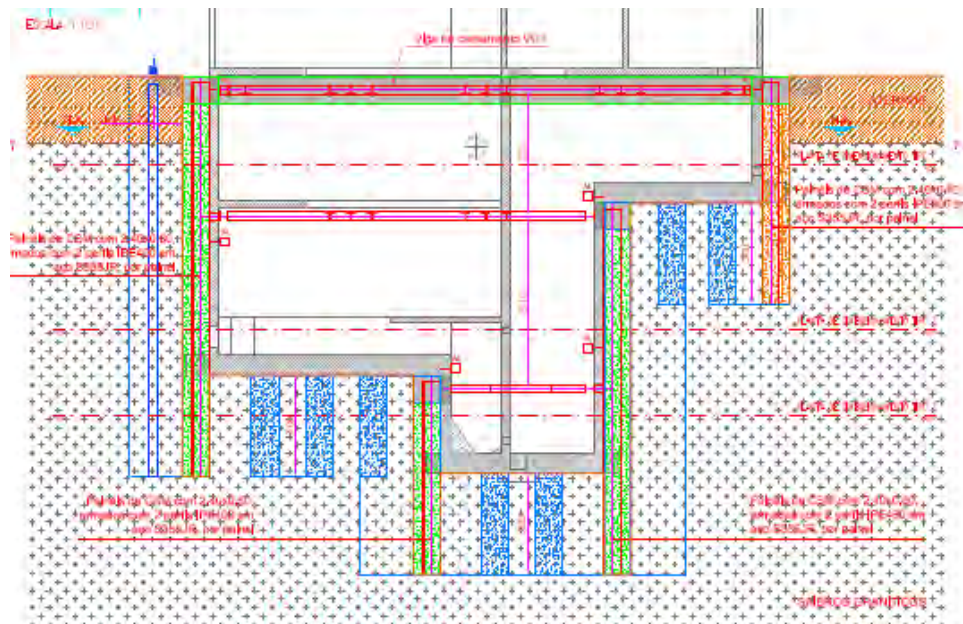
## APRESENTAÇÃO DA OBRA

Dono de Obra: ÁGUAS DO NORDESTE, S.A.

Empreiteiro Geral:



Projectista:



Corte transversal e longitudinal da estrutura de contenção da estação elevatória

### APRESENTAÇÃO DA OBRA

Os trabalhos executados consistiram na execução de uma estrutura de contenção periférica através da execução de painéis CSM armados com perfis metálicos IPE400.



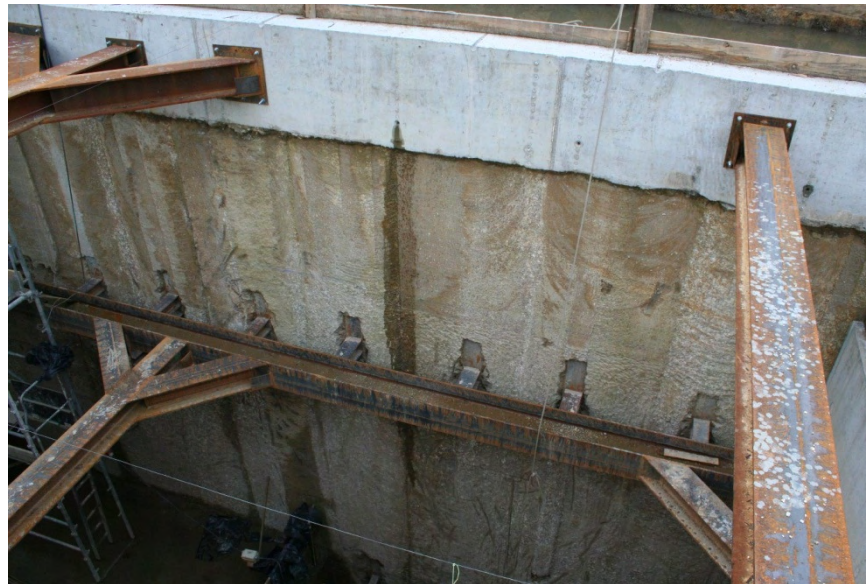


## APRESENTAÇÃO DA OBRA

### Condicionamentos Geotécnicos:

- Camada superficial de terra vegetal
- Saibros graníticos, de grão médio a grosseiro, resultantes da alteração do maciço granítico em profundidade.

**Período de execução:** Setembro a Outubro de 2009



## EXECUÇÃO DA OBRA

### Principais Quantidades:

- 749 m<sup>3</sup> de solo tratado
- 73 toneladas de perfis metálicos IPE400



## INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

### Recolha de amostras frescas de solo-cimento:

- determinação da resistência à rotura por compressão simples  
4,8 a 8,7 Mpa





# Edifício Sede do Grupo Azinor

Parque das Nações,  
Lisboa

ESTRUTURA DE CONTENÇÃO  
PERIFÉRICA EXECUTADA COM A  
TÉCNICA DE CSM

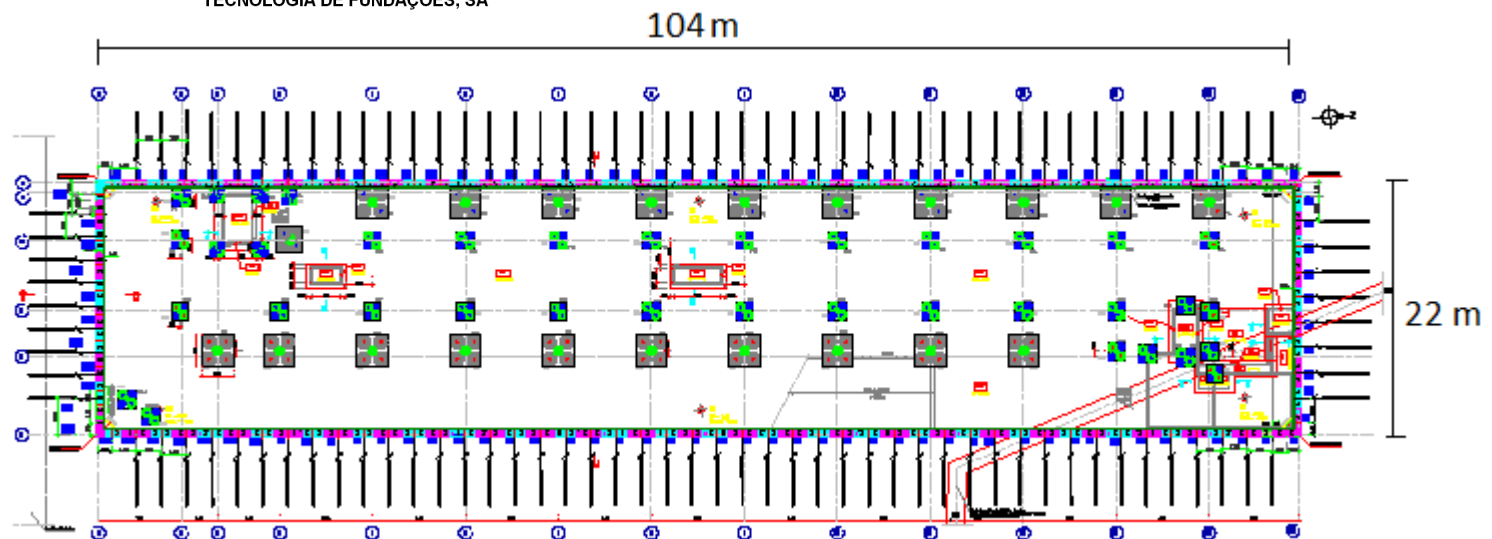
## APRESENTAÇÃO DA OBRA

Dono de Obra: GRUPO SANA

Empreiteiro Geral:



Projectista: **GEO-RUMO**  
TECNOLOGIA DE FUNDAÇÕES, SA



Estrutura de contenção periférica ancorada provisoriamente, constituída por painéis de CSM e por uma parede de forro em betão armado com 0,15 m de espessura.

## EXECUÇÃO DA OBRA

### Condicionamentos Geotécnicos

- Aterros
- Lodos
- Argilas e arenitos desagregados
- Calcarenitos e Arenitos (Miocénico)

Existência do nível freático a 4,40 metros

**Período de execução: 3 meses**



## Controlo dos Parâmetros de Execução

- **Ensaio De Compressão Simples**

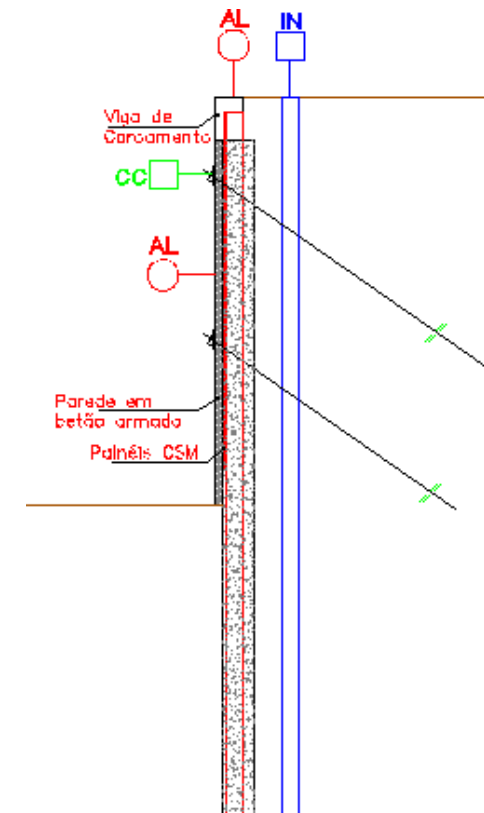
Resistência à compressão simples dos painéis nos lodos (28 dias) → valor médio de 4 Mpa

Resistência à compressão simples dos painéis no aterro (28 dias) → valor médio de 5,8 Mpa

Modulo de deformabilidade → valor médio de 0,85 Mpa

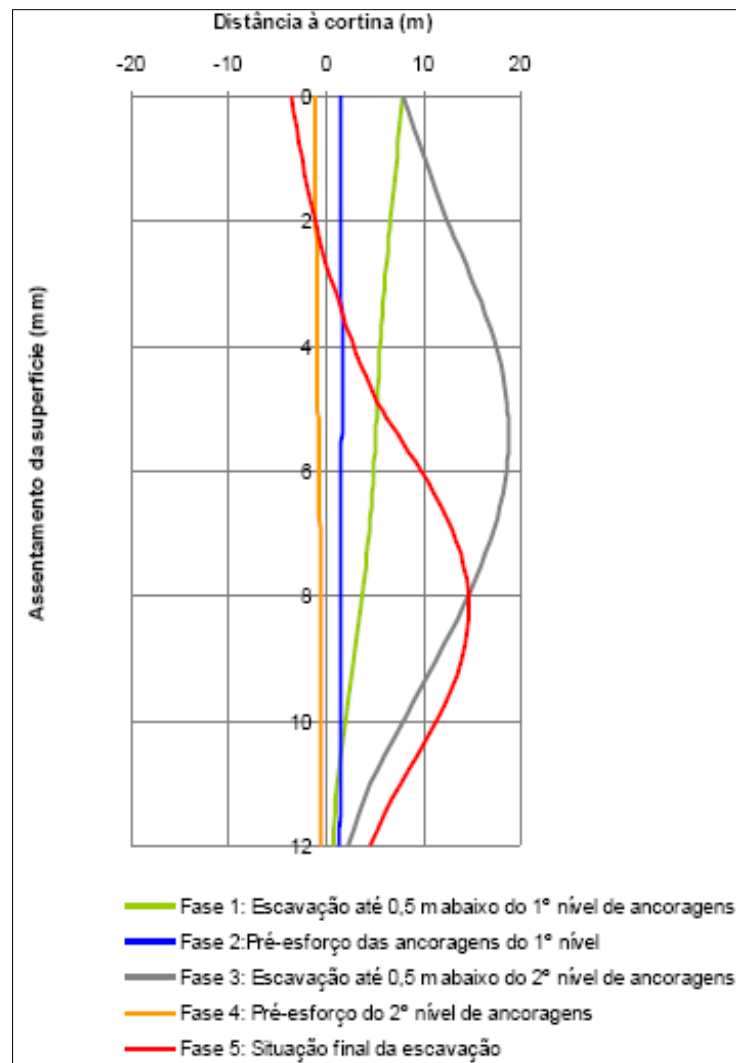
## INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

- 4 inclinómetros
- 32 Alvos topográficos instalados na estrutura de contenção em dois níveis
- 3 Alvos topográficos instalados no Edifício Havana, localizado na proximidade da obra
- 4 Células de carga





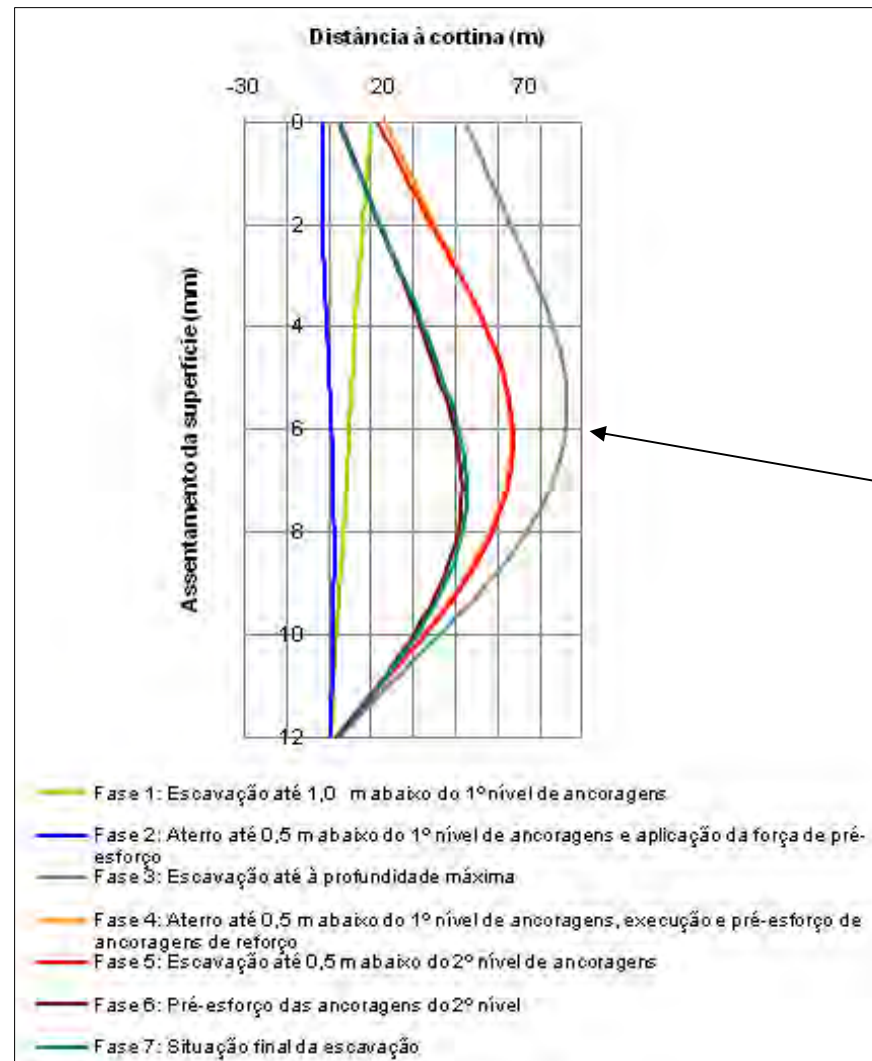
## DESLOCAMENTO HORIZONTAL DA CORTINA FASEAMENTO ADOPTADO EM PROJECTO



EXECUÇÃO DA OBRA



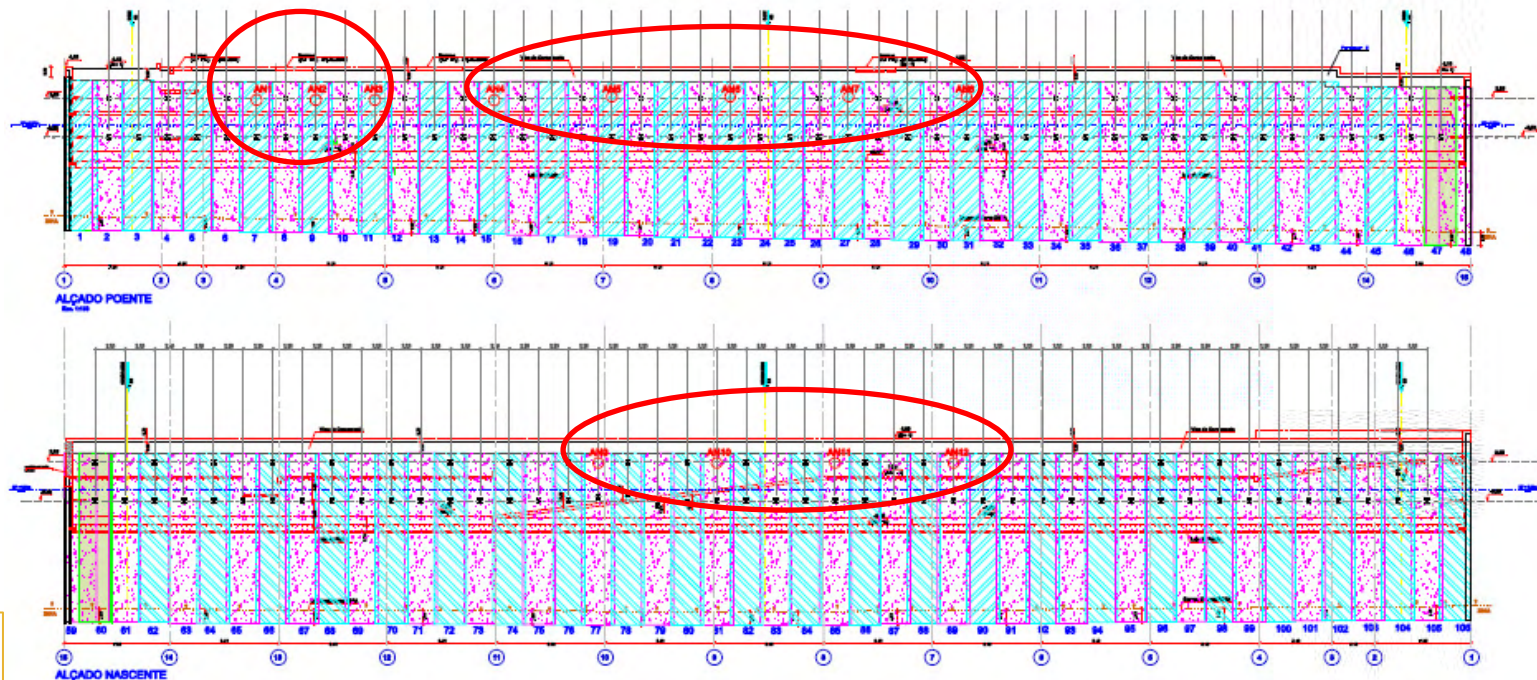
## DESLOCAMENTO HORIZONTAL DA CORTINA FASEAMENTO ADOPTADO EM OBRA



Deslocamento horizontal máximo registado na Fase 3, superior ao limites de alarme definidos no Plano de Instrumentação e Observação.

## APLICAÇÃO DE MEDIDAS DE CONTINGÊNCIA

- Aterro imediato até 0,5 m abaixo do 1º nível de ancoragens;
- Execução de 12 ancoragens de reforço no 1º nível;
- Escavação até 0,5 m abaixo da cota das ancoragens do 2º nível e respectiva execução;
- Escavação até à profundidade máxima.



EXECUÇÃO DA OBRA



### CONCLUSÃO

- Os deslocamentos da estrutura de contenção atingiram valores significativamente superiores aos expectáveis devido ao faseamento de escavação adoptado diferir do preconizado em projecto.
- No final e através da instrumentação verificou-se que as medidas de contingência aplicadas permitiram garantir a segurança da estrutura até à fase final de escavação, tendo sido possível a recuperação do deslocamento máximo de:
  - **58,9 mm para 26,8 mm.**



# Interceptor Terreiro do Paço

Parque das Nações,  
Lisboa

SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO E  
FUNDAÇÃO ATRAVÉS DA TÉCNICA DE  
CSM

# Interceptor Terreiro do Paço - Cais do Sodré - LISBOA

## APRESENTAÇÃO DA OBRA

Dono de Obra:



Empreiteiro Geral:



Projectista:



- Estrutura de contenção e fundações para execução do Interceptor



## APRESENTAÇÃO DA OBRA

### Condicionamentos Geotécnicos

**Depósitos de aterro** quer antigos (terramoto de 1755)  
quer recentes (“perré” de protecção contra as vagas)

**Aluviões modernas**

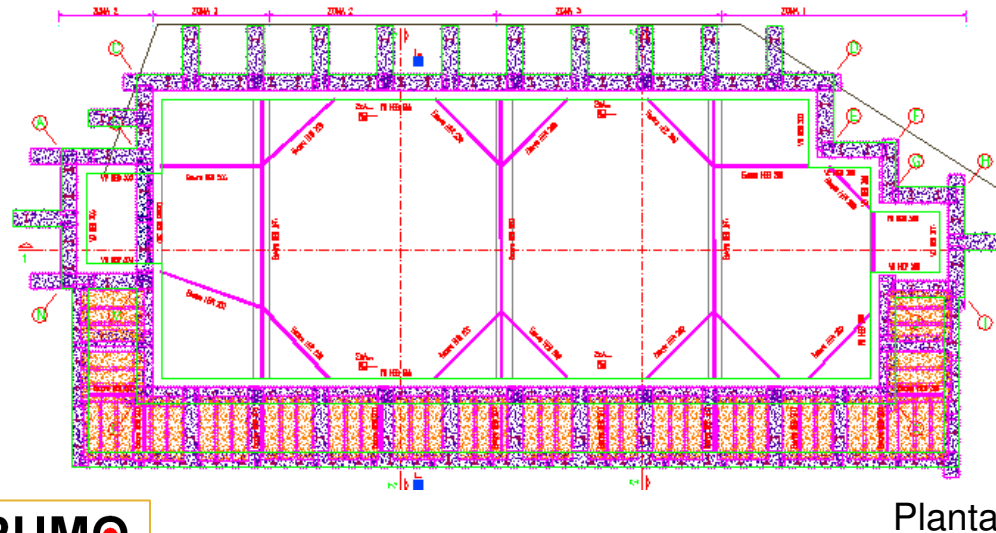
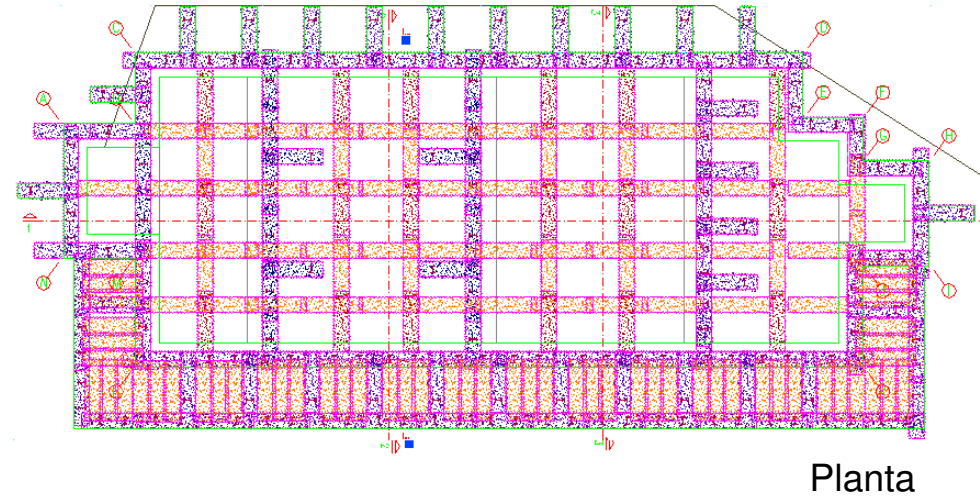
**Miocénico**

- Proximidade da obra com a frente marítima

**Período de execução:** 5 meses

## SOLUÇÃO ESTRUTURAL ADOPTADA

- Estrutura de contenção: Painéis CSM armados (2,40 x 0,60 m<sup>2</sup>);
- Painéis CSM de fundação (2,40 x 0,60 m<sup>2</sup>);
- Ficha de 16 m abaixo do fundo de escavação para penetração no substrato Miocénico.



- Disposição de contrafortes ao longo do perímetro da contenção para incremento da rigidez
- Travamento por meio de escoramento metálico

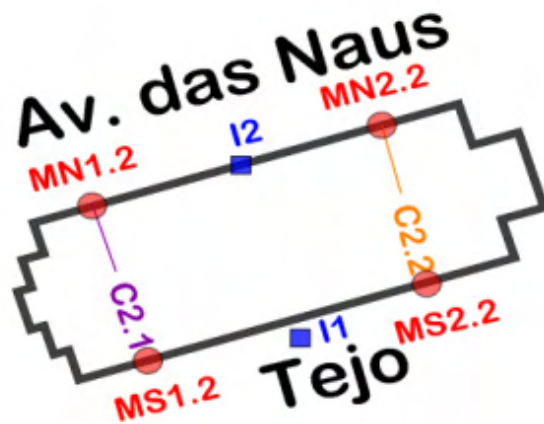
## EXECUÇÃO DA OBRA



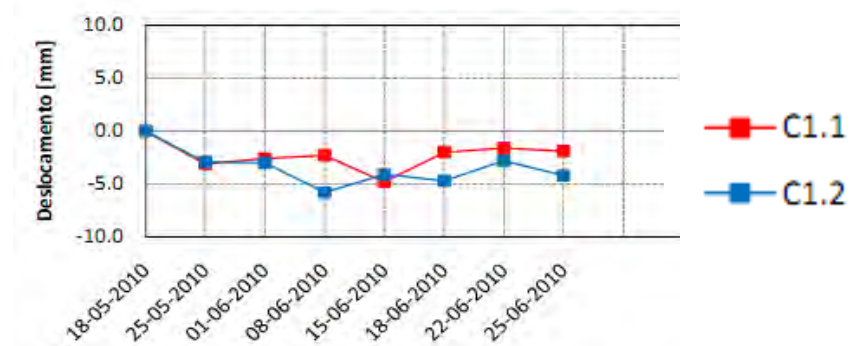
### Principais quantidades

- 5822 m<sup>3</sup> de solo tratado (CSM)
- 198 574 kg perfis metálicos verticais IPE 300

## INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO



- 64 alvos topográficos distribuídos em 4 níveis
- 2 Inclínómetros



- Deslocamentos globalmente pequenos ao longo da execução da obra

### Controlo dos parâmetros de execução:

- Resistência à Compressão Simples – 6 MPa aos 28 dias
- Módulo de Deformabilidade – 0,95 Gpa aos 28 dias



# Auto-Estrada do Marão

Lanço A4/IP4  
Amarante / Vila Real

Sublanço  
Geraldes/padronelo

SOLUÇÕES DE FUNDAÇÃO ATRAVÉS  
DA TÉCNICA DE CSM

## APRESENTAÇÃO DA OBRA

**Dono de Obra:** AUTO-ESTRADA DO MARÃO, S.A.

**Empreiteiro Geral:** INFRATÚNEL, S.A.

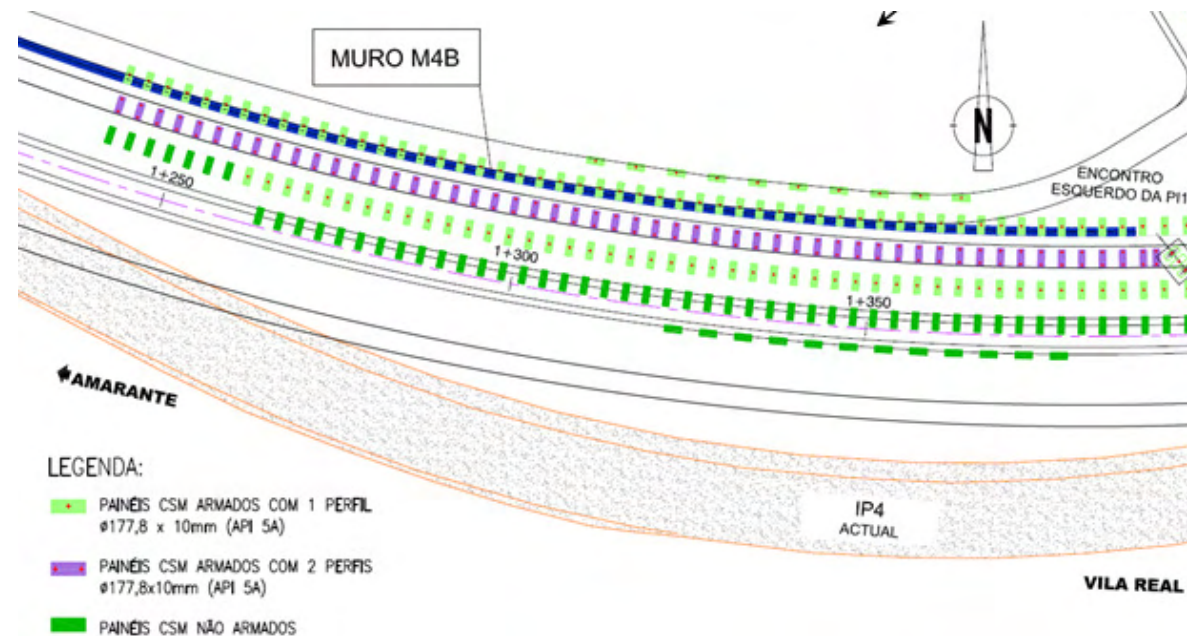
**Projectista:**  **JETSJ**  
geotecnia



Fotografia da zona onde foi realizado o tratamento do maciço de fundação do muro de suporte de terra armada

## APRESENTAÇÃO DA OBRA

Os trabalhos executados consistiram no tratamento, através da execução de painéis CSM, do maciço de fundação de um muro de suporte do tipo de terra armada

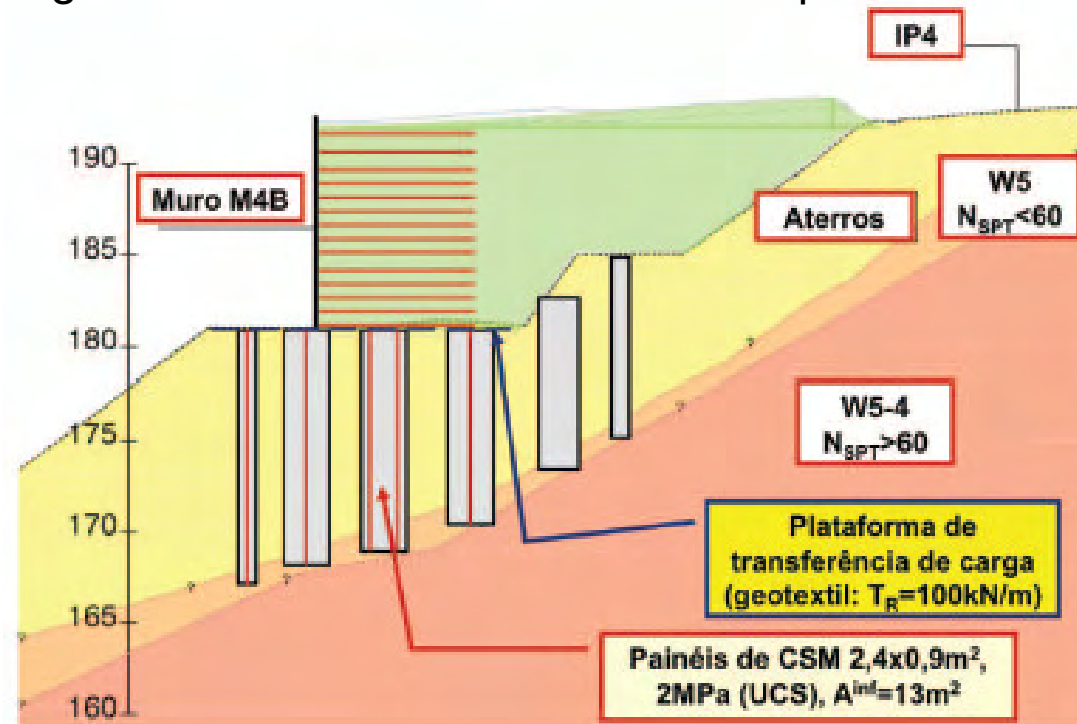


Malha de painéis CSM adoptada

## APRESENTAÇÃO DA OBRA

### Condicionamentos Geotécnicos:

- Aterros não controlados;
- Formações graníticas muito alteradas a decompostas.



Corte transversal tipo

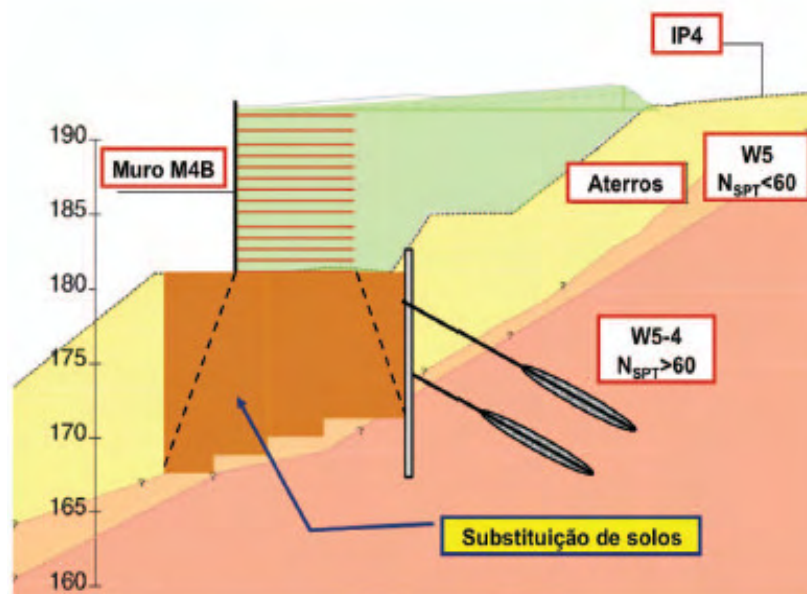


## EXECUÇÃO DA OBRA

**Período de execução:** Setembro a Outubro de 2009

**Principais Quantidades:**

- 4203 m<sup>3</sup> de solo tratado
- 1939 ml de perfil tubular N80  $\varnothing 177,8 \times 10$  mm



## CONTROLO DOS PARÂMETROS DE EXECUÇÃO

### Recolha de amostras frescas de solo-cimento:

- determinação da resistência à rotura por compressão simples;
- determinação do módulo de deformabilidade.



### INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

#### Caroteamento de painéis CSM:

- determinação da resistência à rotura por compressão simples;
- determinação do módulo de deformabilidade.



Valores médios obtidos aos 28 dias

- Resistência à rotura por compressão simples – 7,67 Mpa
- Módulo de deformabilidade – 4,81 Gpa



# Auto-Estrada A8

Loures

Sublanço CRIL / Loures

SOLUÇÕES DE FUNDAÇÃO ATRAVÉS  
DA TÉCNICA DE CSM

# ATERRO DE ALARGAMENTO DA AUTO-ESTRADA A8 - LOURES

## APRESENTAÇÃO DA OBRA

Dono de Obra: AUTO-ESTRADAS DO ATLÂNTICO, S.A.

Empreiteiro Geral:



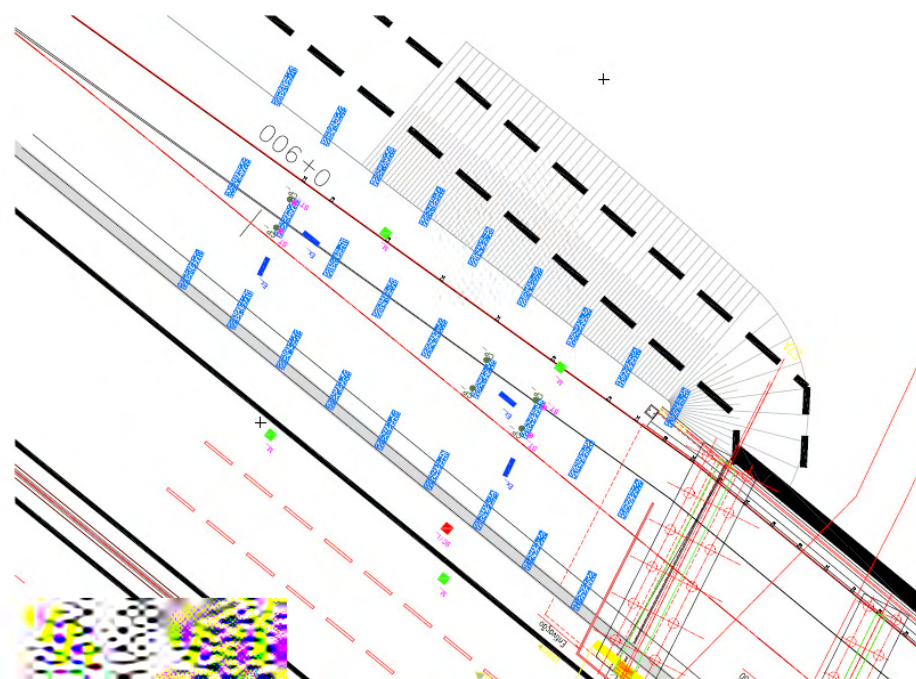
Projectista:



Identificação da localização da obra

## APRESENTAÇÃO DA OBRA

Solução de fundação indirecta, recorrendo à execução de painéis de solo-cimento, materializados através da tecnologia CSM, para execução do aterro de alargamento da plataforma da auto-estrada A8, na zona de transição com uma obra de arte.

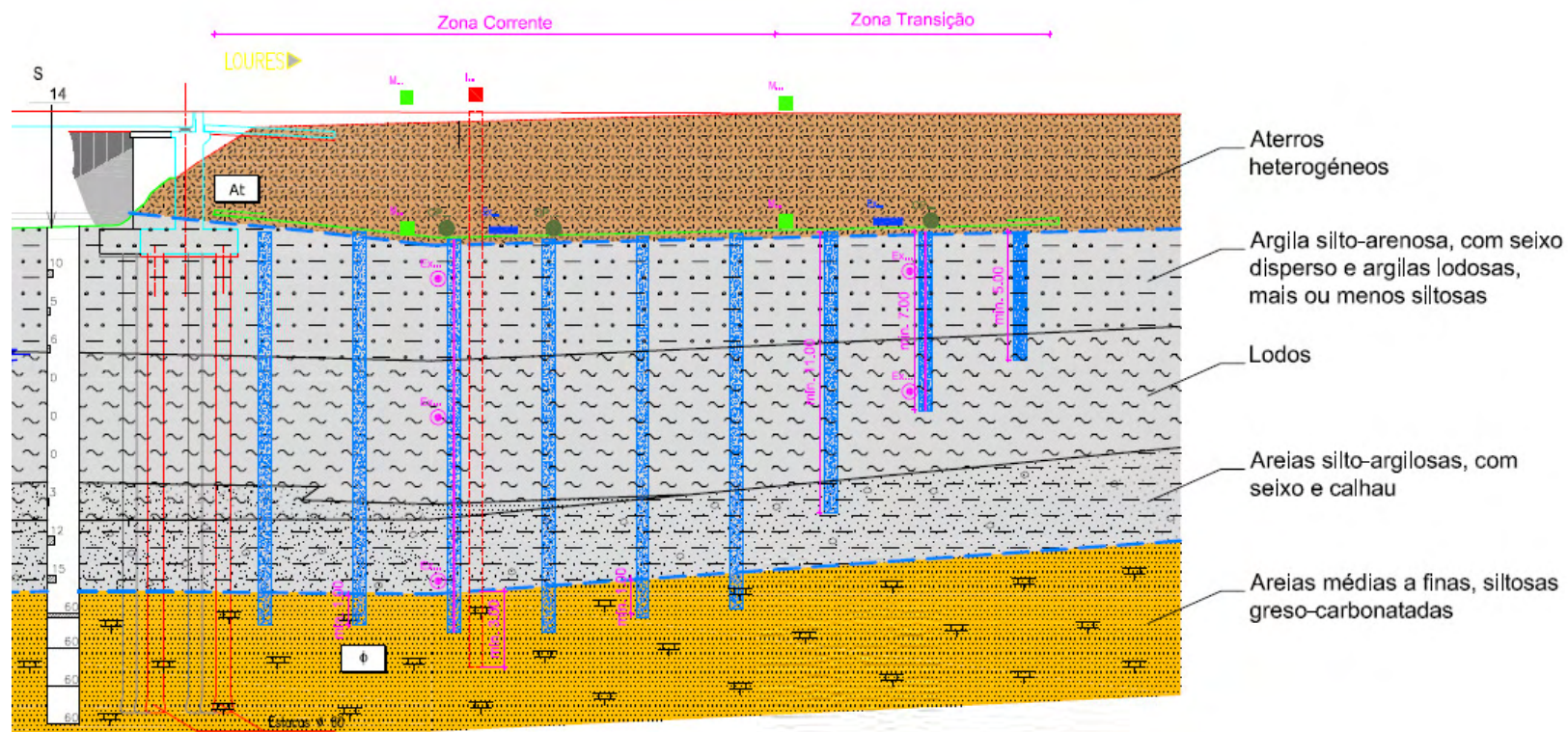


Malha de painéis CSM adoptada

# ATERRO DE ALARGAMENTO DA AUTO-ESTRADA A8 - LOURES

## APRESENTAÇÃO DA OBRA

### Condicionamentos Geotécnicos



Representação das várias formações interessadas pela execução da obra

## EXECUÇÃO DA OBRA

**Período de execução:** Junho de 2010

**Principais Quantidades:**

- 428 m<sup>3</sup> de solo tratado



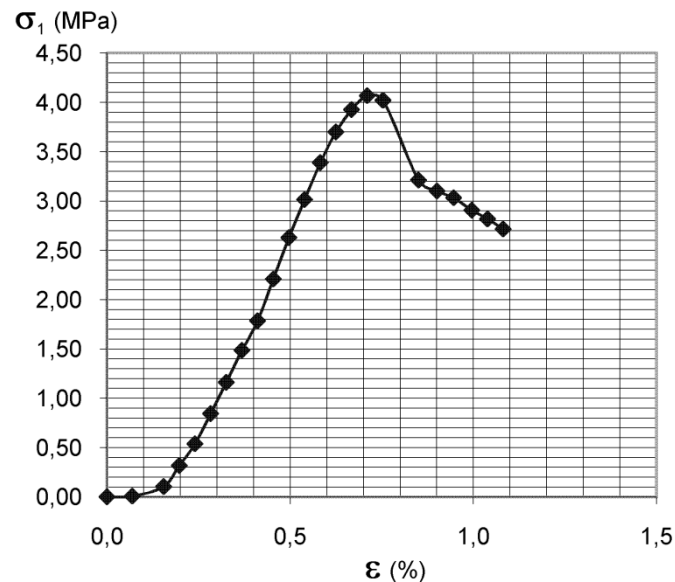
Fotografia da frente de obra durante a execução dos trabalhos



## INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

### Caroteamento de painéis CSM:

- determinação da resistência à rotura por compressão simples - 3 a 4 Mpa;
- determinação do módulo de deformabilidade – 0,8 a 1,0 Gpa



## INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

### Células de carga de corda vibrante:

- Evolução da tensão efectivamente transmitida aos painéis CSM durante e após a execução do aterro.



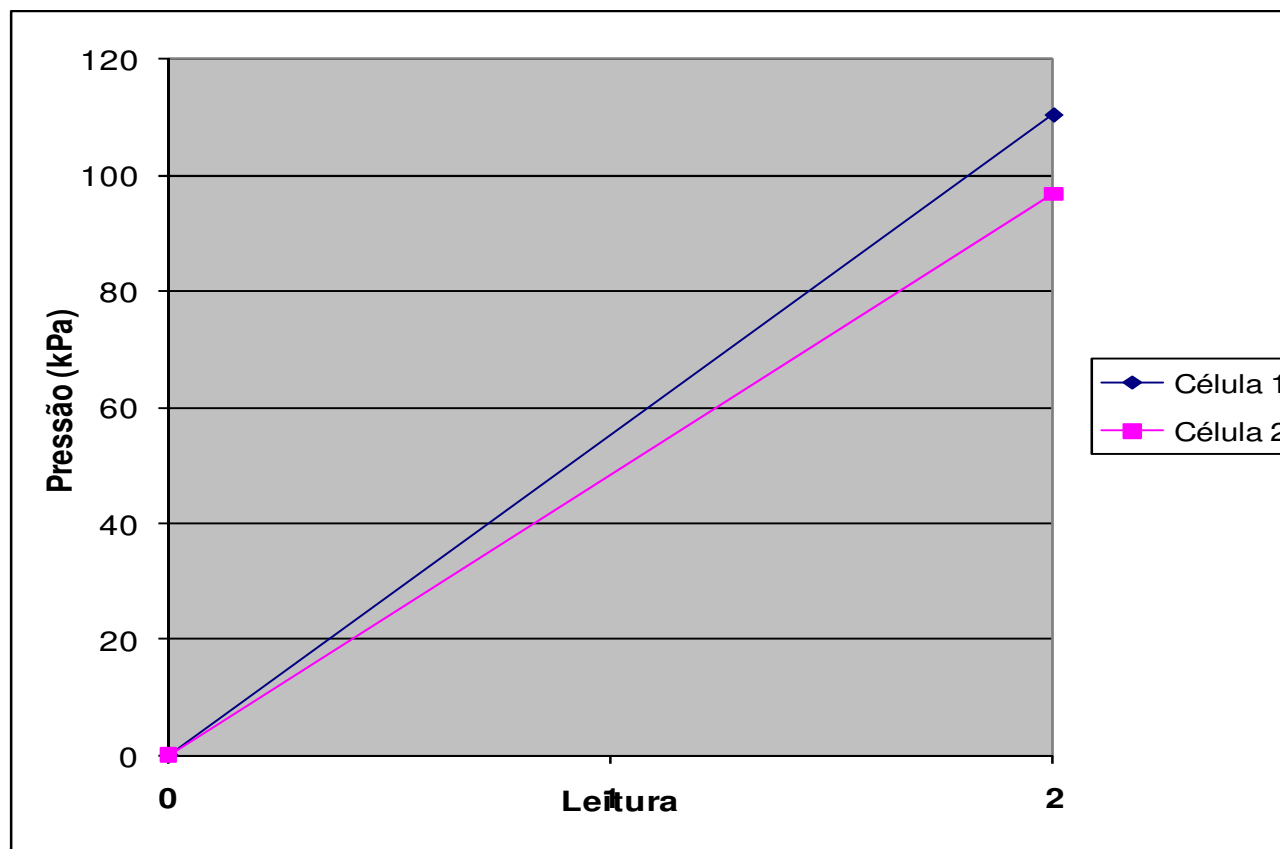
# ATERRO DE ALARGAMENTO DA AUTO-ESTRADA A8 - LOURES

## INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

### Valores da pressão obtidos através das células de carga de corda vibrante

Data	14 Julho 2010		17 Setembro 2010		
Leitura	0		1		
Observações	Instalação (Leitura de referência)		1ª leitura		
Célula	Célula 1	Célula 2	Célula 1	Célula 2	
T [ $\mu\text{m}$ ]	330,6	320,4	331,7	321,2	
t [ $^{\circ}\text{C}$ ]	36,1	36,9	25,8	25,6	
Pressão	[ $\text{kg}/\text{cm}^2$ ]	15,793	16,593	16,682	17,049
	[kPa]	1548,73	1627,17	1635,91	1671,97
$\Delta$ Pressão	[ $\text{kg}/\text{cm}^2$ ]	0,000	0,000	1,127	0,988
	[kPa]	0,000	0,000	110,546	96,888

## INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO





# Projecto de Alta Velocidade

Linha do Norte/Linha de cintura

Troço Areeiro-Sacavém

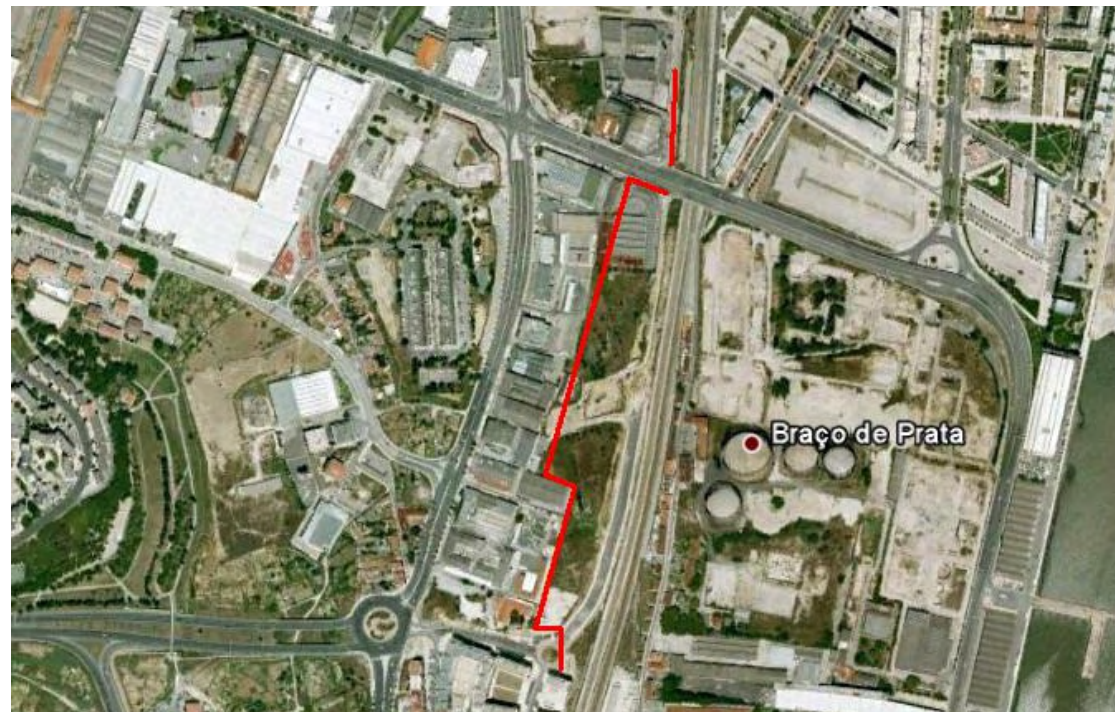
SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO ATRAVÉS DA TÉCNICA DE CSM

## APRESENTAÇÃO DA EMPREITADA – PROJECTO BASE

**Dono de Obra:** REFER, EPE

**Empreiteiro Geral:** OBRECOL, Obras e Construções, SA

**Projectista:** PROFICO, Projectos, Fiscalização e Consultadoria, Lda. / FERBRITAS



## APRESENTAÇÃO DA EMPREITADA – PROJECTO BASE

### Descrição da *Solução Base*

Contenção tipo “Berlim” em betão armado de 0.40 / 0.45 m de espessura ancorada definitivamente.

### Condicionamentos Geotécnicos:

A obra desenvolve-se no seguinte ambiente geológico geotécnico:

**Aterros** – É a camada mais superficial, foi definida em todas as sondagens e apresenta espessura variável entre os 2,00m e os 6,50m ;

**Areolas** – Camada constituída por areias muito finas e siltes greso-carbonatadas, levemente argilo-margosa, com passagens de “cascão” fossilífero, variando em profundidade de medianamente compactas a compactas.

## APRESENTAÇÃO DA EMPREITADA – PROJECTO BASE

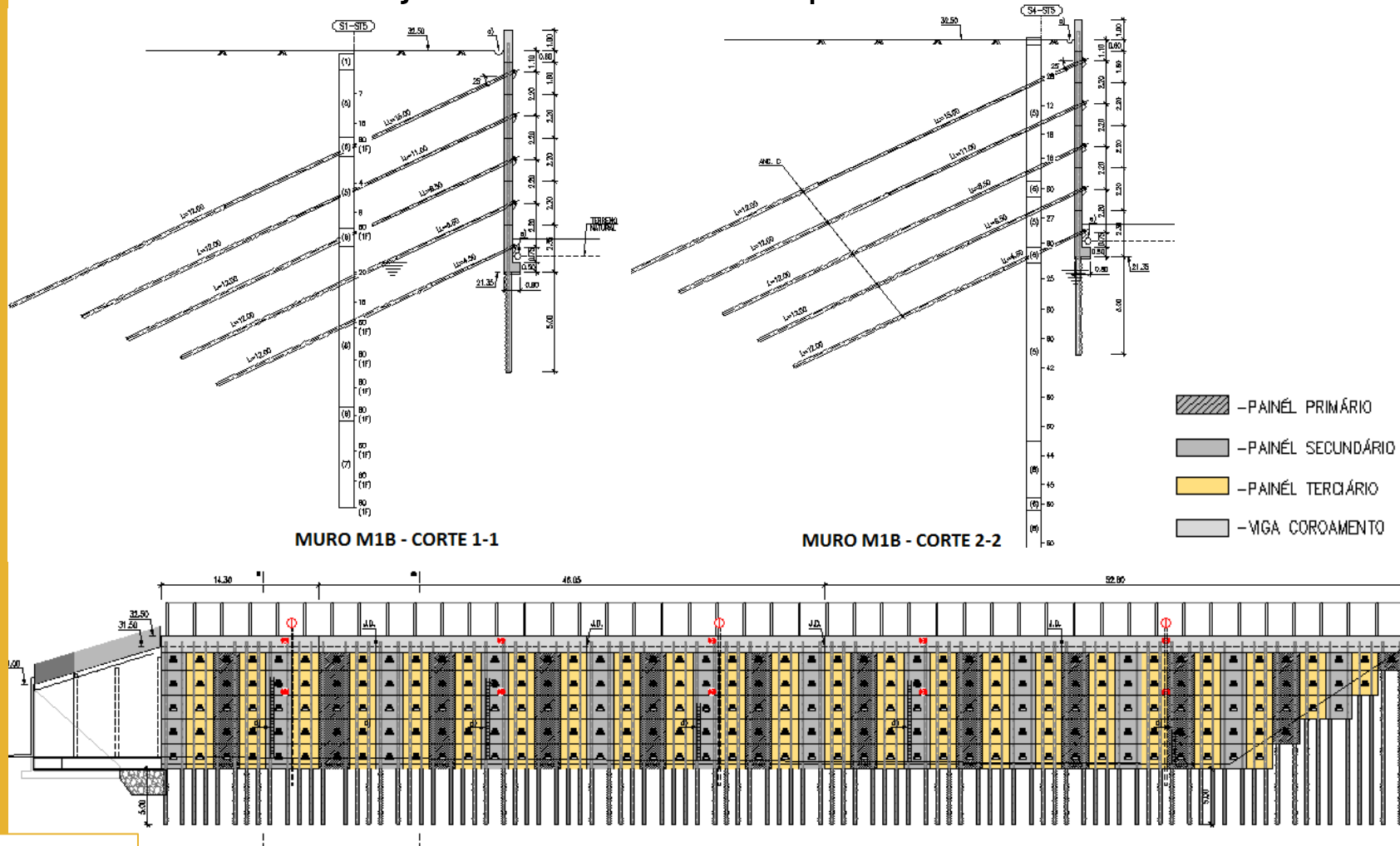
### Contenção tipo “Berlim” em betão armado:

- Perfis metálicos verticais tipo HEB 160 em Aço S355 JR;
- Ancoragens definitivas com pré-esforço até 533 KN em aço de alta resistência afastadas 2,40 m;
- Consoante o tipo de altura de muro foi previsto de 1 a 4 níveis de ancoragens;
- Execução de painéis em betão armado (C30/37 XC4; Aço A500 NR-SD) com dimensões tipo de 2,4x2,4 m<sup>2</sup>.



## APRESENTAÇÃO DA EMPREITADA – PROJECTO BASE

### Elementos do Projecto Base – Muro Tipo



## APRESENTAÇÃO DA EMPREITADA – PROJECTO ALTERNATIVO

**Dono de Obra:** REFER, EPE

**Empreiteiro Geral:** OBRECOL, Obras e Construções, SA

**Projectista:** JETSJ GEOTECNIA (Prof. Alexandre Pinto; Eng<sup>o</sup> Rui Tomásio) /  
GEO-RUMO, Tecnologia de Fundações, SA.

### Descrição da ***Solução Alternativa – CSM***

Execução de cortina em CSM armada, capeamento em betão armado de 0,20 m de espessura e vigas de distribuição para ancoragens definitivas.

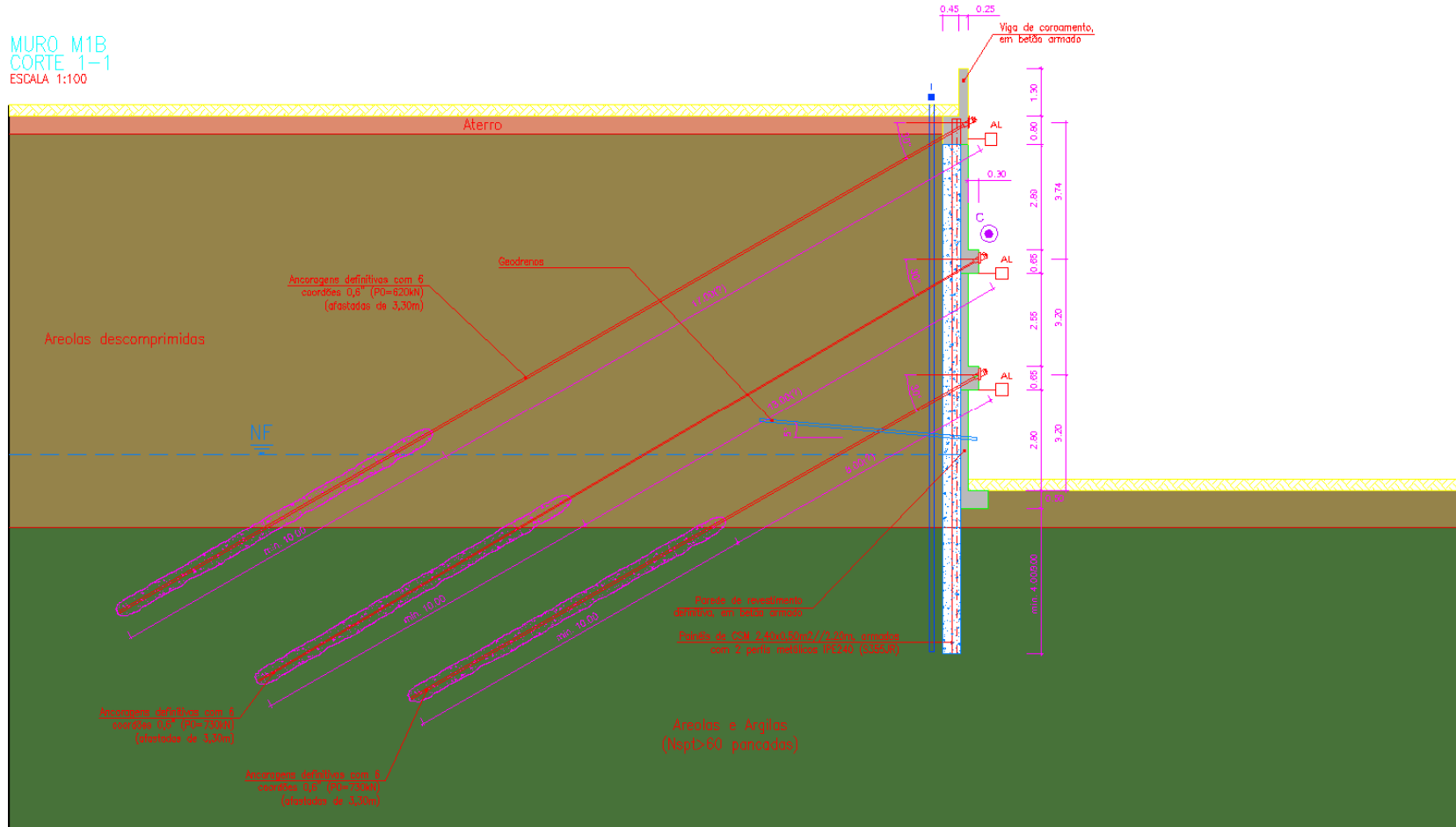
### EXECUÇÃO DA OBRA – CSM

- Tratamento solos em CSM de 0,50 m de espessura:  
Resistência Compressão Simples do tratamento de 4MPa  
Módulo de Deformabilidade de 1GPa;
- Perfis Metálicos Verticais tipo IPE 240 em Aço S355 JR;
- Ancoragens definitivas com pré-esforço até 730 KN em aço de alta resistência afastadas 3,30 m;
- Consoante o tipo de altura de muro foi previsto de 1 a 3 níveis de ancoragens;
- Capeamento em betão armado (C30/37 XC4; Aço A500 NR-SD) com 0,20 m de espessura;
- Vigas de distribuição (0,20+0,30)x0,65 m<sup>2</sup> para as ancoragens.



## EXECUÇÃO DA OBRA – CSM

MURO M1B  
CORTE 1=1  
ESCALA 1:100



## INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Em ambas as soluções foi prevista a monitorização dos muros ancorados:

- Alvos topográficos;
- Inclínómetros;
- Células de carga de cordas vibrantes.

EXECUÇÃO DA OBRA – PROJECTO ALTERNATIVO – CSM



**OBRIGADO PELA ATENÇÃO DISPENSADA**