

# **ESTRUTURA DE CONTENÇÃO PERIFÉRICA EXECUTADA COM A TECNOLOGIA DE CUTTER SOIL MIXING NO "PARQUE DE ESTACIONAMENTO DO LARGO DO AMBIENTE" EM LUANDA - ANGOLA**

## **SOLUTION OF EARTH RETAINING STRUCTURE USING CUTTER SOIL MIXING TECHNOLOGY AT THE "LARGO DO AMBIENTE UNDERGROUND PARKING" IN LUANDA - ANGOLA**

Peixoto, Artur; *Artur Peixoto, Consultores Geotecnia Lda, Braga, Portugal, artur.peixoto@apeotecnia.pt*  
Gomes, Pedro; *Artur Peixoto, Consultores Geotecnia Lda, Braga, Portugal, pedro.gomes@apeotecnia.pt*  
Baptista, Marco; *A400, Projetistas Consultores Engenharia Lda, Porto, Portugal, marco.baptista@a400.pt*

### **RESUMO**

O presente artigo descreve os aspetos mais relevantes ao nível da conceção e da execução da estrutura de contenção periférica implementada no "Parque de Estacionamento Largo do Ambiente", localizado em Luanda, Angola. A estrutura de suporte para a construção de dois a cinco pisos subterrâneos consistiu numa cortina contínua de painéis de solo-cimento executados através da tecnologia de *Cutter Soil Mixing* (CSM), reforçados com perfis metálicos verticais. Face aos condicionamentos relativos às condições de vizinhança, nomeadamente a confrontação direta de edifícios e de arruamentos existentes, optou-se por realizar o travamento da estrutura de contenção por meio de dois a cinco níveis de bandas de laje a construir para o efeito durante a escavação e a incorporar na estrutura dos pisos do parque de estacionamento, constituindo quadros de travamento rígidos dos quatro alçados. Esta solução dispensou o recurso a ancoragens provisórias de grande comprimento e à consequente ocupação do subsolo vizinho, tendo-se mostrado bastante vantajosa do ponto de vista económico. Neste artigo são apresentados os principais resultados da instrumentação, da observação e do controlo de qualidade da obra.

### **ABSTRACT**

This paper presents the most relevant design and execution aspects of a peripheral retaining structure for the construction of "Largo do Ambiente Underground Parking", an underground parking lot located at Luanda, Angola. The retaining wall to the construction of two to five underground floors was executed through soil-cement panels by the application of Cutter Soil Mixing (CSM) technology, reinforced with vertical steel piles. Taking in account the constrains related to the urban surrounding, including the proximity of buildings and streets, two to five levels of reinforced concrete slab bands were implemented, creating a rigid support system of the four elevations. The slab bands were incorporated on the final structure of the building and with this solution the execution of ground-anchors with big lengths that would lead to the occupation of the neighbour underground was dispensed. Furthermore, this solution brought some economic benefits, especially due to the incorporation of elements used in the final structure at the preliminary stage of the work. The main objectives of the retaining wall were allowing the vertical excavation assuring simultaneously the stability of nearby structures and infrastructures, and also reduce the inflow of water into the interior of the excavation during the construction. The main results of modelling, instrumentation, monitoring and quality control of the work are also presented.

### **1 - INTRODUÇÃO**

O presente artigo pretende dar a conhecer o caso de obra da estrutura de suporte das escavações necessárias para a execução do "Parque de Estacionamento do Largo do Ambiente", um parque de estacionamento subterrâneo construído na cidade de Luanda, em Angola. O parque de estacionamento, com capacidade para 525 lugares de estacionamento automóvel, desenvolve-se em dois a cinco pisos subterrâneos, correspondendo a uma altura de escavação variável de 8,0 a 17,4 m. O recinto de escavação confronta diretamente com edifícios e arruamentos existentes e dispõe uma geometria em planta retangular com uma área de aproximadamente 4.735 m<sup>2</sup> (Figura 1).

A estrutura de suporte foi realizada ao abrigo da tecnologia de *Cutter Soil Mixing* (CSM), através da execução de painéis contínuos de solo-cimento com secção transversal retangular, semelhantes aos painéis das paredes moldadas, preconizando-se o travamento horizontal por dois a cinco níveis de bandas de laje maciça, em betão armado. Esta solução envolveu ainda a execução de estacas de fundação que, em conjunto com a parede de contenção, garantiram o suporte das bandas de laje em fase provisória.

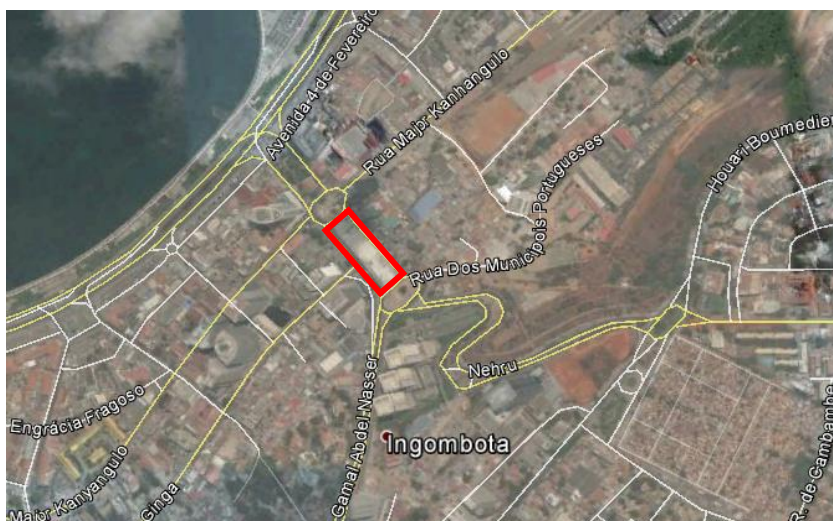


Figura 1 – Vista aérea da localização da obra

Durante a execução da obra apresentada uma das principais preocupações foi a garantia de funcionamento em condições de segurança dos arruamentos e edifícios vizinhos, pelo que toda a periferia da obra foi alvo de uma instrumentação cautelosa.

A tecnologia de CSM deriva da tecnologia de Deep Soil Mixing e tem por base a mistura do solo *in situ* com agentes estabilizadores (geralmente calda de cimento), formando paredes contínuas constituídas por painéis de solo tratado de melhoradas características de resistência e de deformabilidade, recorrendo para tal a uma hidrofresa. Os painéis de CSM são realizados por ação mecânica de rodas de corte que giram em torno de eixos horizontais (Figura 2), promovendo a desagregação do solo e a sua mistura com os ligantes adicionados simultaneamente (Fiorotto et al., 2005; Matos Fernandes et al., 2010).



Figura 2 – Pormenor da ferramenta de corte (à esquerda) e aspeto geral do equipamento de execução dos painéis CSM (à direita)

## 2 - PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

O estudo geológico-geotécnico consistiu na realização de 8 sondagens mecânicas à rotação com trado oco, com comprimentos de 44,5m, durante as quais foram realizados ensaios de penetração dinâmica – SPT, a cada 1,5m.

De acordo com o disposto neste estudo, os terrenos ocorrentes na área de intervenção apresentam os seguintes materiais:

- Terrenos do *Holocénico* de génese antrópica e/ou aterros, areias de praia de duna. **Solos arenosos de granulometria variável**, cor castanho claro a escuro. Os valores de SPT variam entre 1 e 31 pancadas;
- Formação *Pliocénica*, constituída por **areias heterogéneas por vezes com silte**. Estes solos encontram-se subjacentes aos solos do *Holocénico*, com valores de SPT que variam entre 0 e 60 pancadas.

No sentido de simplificar o modelo geotécnico para o estudo da escavação, agruparam-se os estratos de características geológico-geotécnicas semelhantes, em zonas geotécnicas. Consideraram-se cinco zonamentos em função da decrescente compactidade das areias. Desta forma, a Zona Geotécnica 1 (ZG1) corresponde a areias muito compactas e a Zona Geotécnica 5 (ZG5) a areias muito soltas.

No Quadro 1 apresentam-se os parâmetros geomecânicos das zonas geotécnicas consideradas.

Quadro 1 – Principais características das zonas geotécnicas consideradas.

Zona Geotécnica	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	E (MPa)
ZG5	18,0	0	27,5	3
ZG4	18,5	0	30,0	10
ZG3	19,5	0	31,0	20
ZG2	20,5	0	33,0	40
ZG1	21,5	0	35,0	60

De acordo com a informação disponível no momento da elaboração do Projeto de Execução, previu-se que durante os trabalhos de escavação a interceção do nível freático se efetuasse à profundidade de cerca de 12,0m, na zona mais elevada do terreno e a 3,50m na zona mais baixa, pelo que, a parede de CSM teria uma segunda função de impermeabilização relativamente à água existente na sua face tardoz.

Com base nos ensaios de bombagem e de recuperação (*Método de Cooper-Jacob* e de *Theis*) realizados no local, estimou-se que os coeficientes de permeabilidade dos solos ocorrentes deveriam variar de média a alta, encontrando-se no intervalo de valores compreendido entre  $1,5 \times 10^{-3}$  e  $4,5 \times 10^{-4}$  m/s.

### 3 - DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO ADOPTADA

No contexto descrito, a estrutura de contenção das escavações necessárias para a realização dos pisos subterrâneos do parque de estacionamento consistiu numa cortina contínua de painéis de CSM.

O princípio de aplicação da tecnologia de CSM consiste na desagregação e mistura do solo com agentes estabilizadores de forma a obter painéis de solo-cimento com os valores de resistência e de deformabilidade exigidos em projeto (Arnold et al., 2011).

Tendo por base os esforços resultantes do impulso hidrostático, do impulso do terreno e das sobrecargas à superfície, cada painel CSM foi armado com dois perfis verticais do tipo IPE 400 a IPE 270, dependendo da altura de escavação, em aço S 275 JR, posicionados com um espaçamento entre si de 1,10 m. O facto dos perfis se localizarem no interior dos painéis de CSM permite garantir o seu confinamento, evitando fenómenos de encurvadura.

A ferramenta de corte utilizada na aplicação da tecnologia de CSM permitiu obter painéis de solo-cimento com secção transversal retangular de dimensões 2,40 m x 0,60 m, executados sequencialmente por painéis primários e secundários, com um comprimento de sobreposição entre si de 0,20 m de modo a assegurar uma boa ligação entre painéis adjacentes em profundidade, como apresentado na Figura 3.

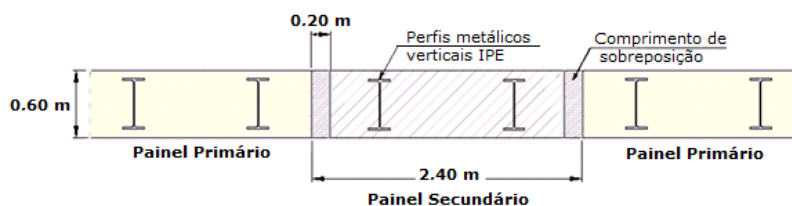


Figura 3 – Painéis primários e secundários da cortina de contenção em CSM

De forma a controlar a afluência de água ao interior do recinto de escavação e a garantir a segurança da mesma em termos de estabilidade hidráulica e de estabilidade global, propôs-se um comprimento total da cortina de 30,0m na parte mais alta e 20,0m na mais baixa, encastrada no estrato ZG1/ZG2.

Os painéis de CSM e os respetivos perfis verticais foram solidarizados no topo por meio de uma viga de coroamento em betão armado.

O travamento da parede de CSM foi materializado por dois a cinco níveis de bandas de laje executadas de forma compatibilizada com os trabalhos de escavação e posteriormente incorporadas na estrutura dos pisos, constituindo quadros de travamento rígidos dos quatro alçados. Nas zonas de pequenas aberturas

da laje e nas zonas das caixas de escadas, recorreu-se a escoramentos metálicos localizados. O apoio provisório das bandas de laje foi garantido por meio estacas de fundação de 800mm de diâmetro.

As bandas de laje são ligadas à parede de CSM por meio de perfis metálicos horizontais do tipo HEA soldados diretamente aos perfis verticais dos painéis CSM e posteriormente embebidos na laje.

Preconizou-se ainda a execução de uma parede de revestimento em betão armado com 0,20 m de espessura, realizada à medida que a escavação foi avançando.

Atingida a cota do fundo de escavação, a estrutura em betão armado é construído de forma ascendente, sendo no final demolidos os troços das estacas que serviram de apoio entre as lajes.

É de referir que, na situação particular da obra apresentada, caso se optasse pelo travamento da parede de contenção por meio de escoramentos metálicos, as dimensões do recinto de escavação obrigariam à utilização de escoras de elevado comprimento e diâmetro e, dada a existência de confrontações diretas de edifícios, a utilização de ancoragens não seria viável. Pelas razões apresentadas, a utilização de bandas de laje como meio de travamento da parede de contenção foi a opção considerada técnica e economicamente mais vantajosa, tendo como vantagem principal a incorporação de elementos da estrutura definitiva para o travamento em fase provisória.

#### **4 - MODELO DE ANÁLISE DA ESTRUTURA DE CONTENÇÃO**

Na análise da estrutura de contenção foram definidas sete secções representativas dos quatro alçados da obra em estudo, consideradas como condicionantes para o dimensionamento da contenção periférica.

O comportamento das secções estudadas foi analisado recorrendo ao programa de elementos finitos Plaxis<sup>®</sup>. Através do referido programa de cálculo foram modeladas todas as fases do processo construtivo, de forma a maximizar a aproximação entre a modelação numérica e a situação real, tendo-se procedido ao estudo do comportamento do maciço e da própria estrutura de contenção em termos de esforços e de deformações. Para a modelação do terreno em profundidade foram considerados os parâmetros geomecânicos estimados com base nas campanhas de prospeção realizadas, indicados no ponto 2, tendo-se recorrido ao modelo de comportamento *Hardening Soil*.

A análise realizada, para as secções representativas de cada alçado da contenção, teve como intuito avaliar as deformações, estados de tensão e a estabilidade do maciço a conter, bem como estimar os incrementos de deformação em estruturas vizinhas, durante o processo de escavação. Esta análise permitiu ainda a determinação de esforços na parede de contenção e a avaliação das cargas nas várias bandas de laje durante todo o processo construtivo.

Para a análise da estrutura em Estado Limite Último, introduziu-se a segurança segundo a Abordagem 1 nas suas combinações 1 e 2, preconizadas no EC7.

Foi também realizada a análise em Estado Limite de Utilização (condições de serviço), considerando-se os valores característicos dos parâmetros do terreno e das sobrecargas aplicadas à superfície.

Os painéis de solo-cimento foram dimensionados para acomodar uma tensão de compressão em serviço não superior a 2,0 MPa, e para dispor de um valor do módulo de deformabilidade não inferior a 1,0 GPa.

O estudo do travamento da parede de contenção foi efetuado tendo em conta a interação entre a cortina em CSM e as bandas de laje que constituem o travamento.

Neste sentido, foram introduzidos apoios elásticos no modelo de análise da contenção periférica, a rigidez dos quais pretende simular a rigidez do quadro fechado constituído pelos troços de laje de travamento.

A rigidez introduzida no modelo de elementos finitos da contenção periférica foi determinada por via da análise do modelo do quadro fechado. Na Figura 4 pode ver-se o modelo utilizado, tendo-se aplicado ao mesmo, para determinação da rigidez do mesmo, uma carga distribuída de 1000kN/m.

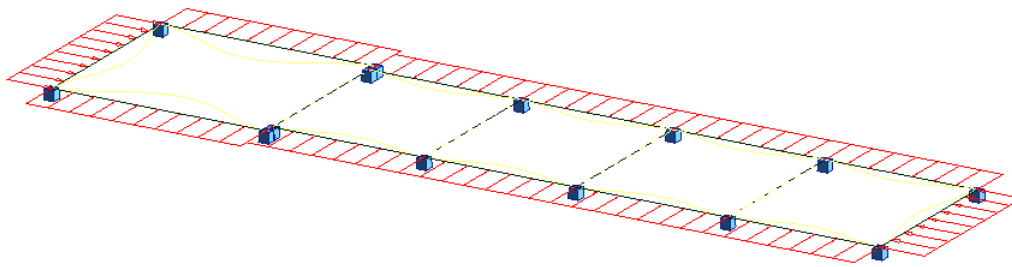


Figura 4 - Avaliação da rigidez axial das bandas de laje

A avaliação da deformação do modelo para a referida carga, resultou numa deformação a meio vão dos troços de laje de 0,010m (deformação máxima), permitindo a determinação da rigidez mínima do sistema estrutural de travamento:

$$K = (1000\text{kN/m}) / 0,010\text{m} \approx 1 \times 10^5 \text{ kN/m/m}$$

Esta rigidez foi atribuída aos apoios elásticos do modelo da contenção, que pretendem simular os troços de laje, reproduzindo desta forma a rigidez dos quadros fechados formados por estes.

Na Figura 5 apresenta-se o modelo de cálculo da secção representativa 1 que corresponde à zona mais alta do terreno, resultando por sua vez na maior profundidade de escavação de aproximadamente 17,35m. Nesta secção o nível freático encontra-se a 12,0m da superfície do terreno.

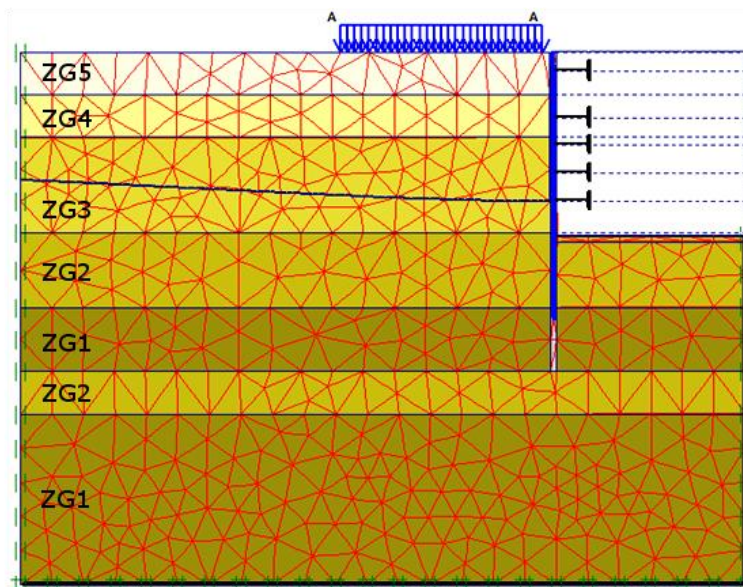


Figura 5 - Secção representativa 1

Na figura seguinte apresenta-se a secção representativa 7, que corresponde à zona mais baixa do terreno e a profundidade de escavação é de aproximadamente 8,0m. O nível freático encontra-se a 3,5m da superfície do terreno.

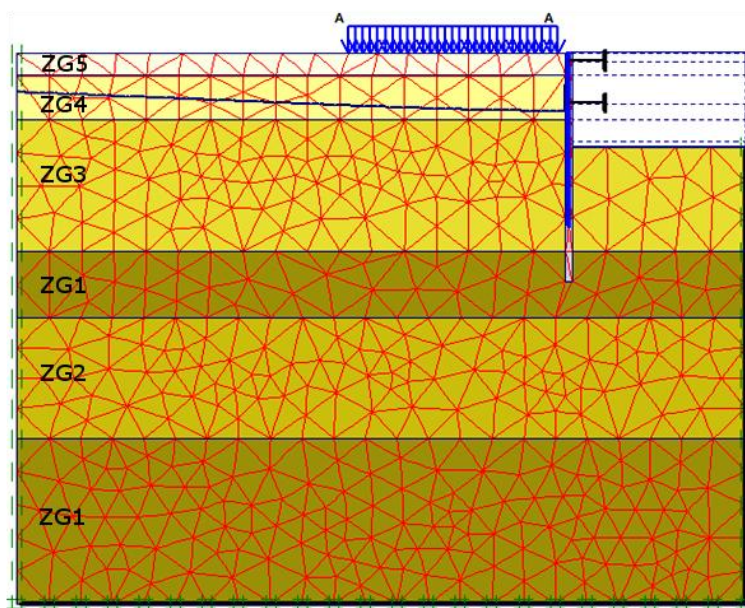


Figura 6 – Secção representativa 7

A simulação do processo construtivo inicia-se com a execução da estrutura de contenção, seguindo-se a simulação do primeiro nível de escavação, até uma profundidade de 0,5 m abaixo da cota do 1º nível de bandas de laje de travamento e a introdução de um apoio elástico à cota do 1º nível de bandas de laje. As fases seguintes continuam do mesmo modo para os restantes níveis das bandas de laje, escavando 0,5 m abaixo da cota destas, aplicação do apoio elástico e escavação para o nível seguinte, até à profundidade máxima de escavação. É de salientar que, por se tratar de uma simulação em estado plano de deformação, o faseamento construtivo longitudinal da obra não é contemplado.

No Quadro 2 são apresentados os valores dos esforços (ELU) e deslocamentos horizontais máximos (ELS) da cortina obtidos na análise numérica das duas secções referidas.

Quadro 2 – Deslocamentos horizontais máximos da cortina obtidos nas análises numéricas: Secções 1 e 7

	Secção 1	Secção 7
Momento fletor (kNm/m)	252,50	85,06
Esforço transversal (kN/m)	300,51	75,35
Deslocamento máximo (mm)	43,4	21,76

Para as restantes secções representativas, os valores de esforços e deformações calculados encontram-se compreendidos entre os valores apresentados para a secção de maior escavação (secção 1) e para a secção de menor escavação (secção 7).

Os painéis de CSM foram dimensionados para uma tensão de compressão em serviço não superior a 2 MPa, com um fator de segurança de 2, o que implicou definir o valor mínimo de 4 MPa para a tensão de rotura dos provetes de solo-cimento submetidos a ensaios de resistência à compressão uniaxial (UCS Tests - Unconfined compressive strength tests). O valor mínimo do módulo de deformabilidade exigido nos ensaios laboratoriais foi de 1,0 GPa.

Como referido, estimou-se que os coeficientes de permeabilidade dos solos ocorrentes deveriam variar entre  $1,5 \times 10^{-3}$  e  $4,5 \times 10^{-4}$  m/s.

Procedeu-se ao estudo do caudal que afluiria ao interior da escavação. De notar que a secção representativa 1 será a mais condicionante, com um rebaixamento do nível de água de cerca de 5,35 m.

Os cálculos foram efetuados com o programa comercial *PHASE2* desenvolvido pela Rocscience Inc. Este programa baseia-se no Método dos Elementos Finitos (MEF) e está adaptado para o estudo de problemas de percolação em maciços terrosos.

Na figura seguinte apresenta-se a rede de percolação e assinala-se o caudal a bombear para garantir o regime permanente, por metro de desenvolvimento do edifício para a situação com coeficiente de permeabilidade de  $1,5 \times 10^{-3}$  m/s.

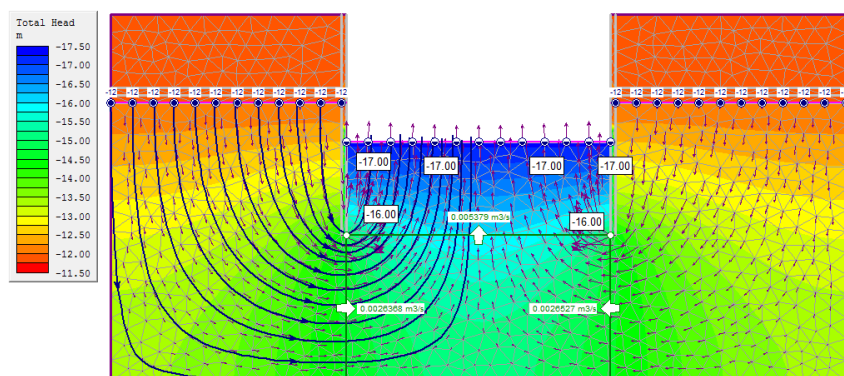


Figura 7 – Situação  $k_s = 1,5 \times 10^{-3}$  m/s

O caudal a bombar será de  $0,00539 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$  ( $19,4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ ). Como o edifício tem uma extensão de cerca de 140 m, estimou-se que o caudal que surgiria no interior da escavação seria  $0,755 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $2.716 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

Na análise da percolação foi também avaliado o fenómeno de rotura hidráulica por erosão interna, também conhecido como "piping", este fenómeno de rotura está associado a elevados gradientes hidráulicos junto a base da escavação.

Continuando a análise para a secção representativa 1 e tendo em conta que para as areias saturadas médias/grossas o peso volúmico varia entre  $18$  e  $22 \text{ kN}/\text{m}^3$ , pode concluir-se que  $i_{cr}$  oscilará entre  $0,8$  e  $1,2$ , pelo que considerou-se um valor intermédio de  $1,0$ .

A partir do programa de cálculo obteve-se o valor do gradiente hidráulico máximo de jusante de  $0,18$ , apresentado na Figura 8, e consequentemente um FS de  $5,6$ .

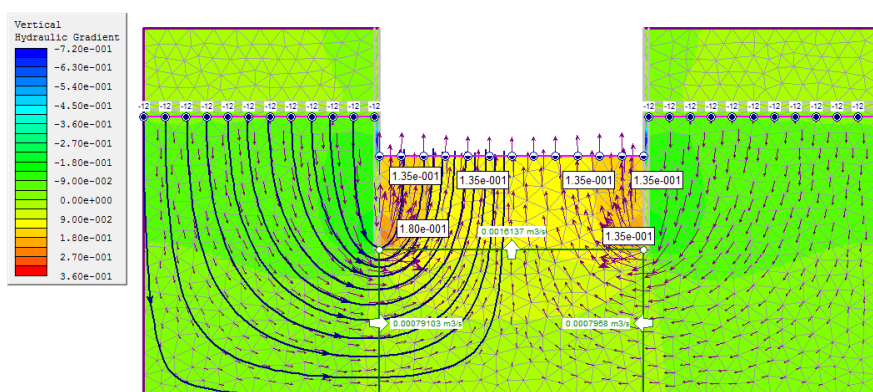


Figura 8 – Gradiente hidráulico vertical - situação  $k_s = 1,5 \times 10^{-3}$  m/s

## 5 - EXECUÇÃO DOS TRABALHOS

A realização de um painel CSM envolve duas etapas fundamentais: a fase de corte e a fase de extração e mistura. Na primeira fase, a ferramenta de corte é conduzida verticalmente até à profundidade pretendida, desagregando o terreno por ação das rodas dentadas. Durante esta fase vai sendo adicionado o ligante hidráulico (em geral, calda de cimento) à medida que a ferramenta de corte avança em profundidade. Na fase de extração e mistura, o sentido de rotação das rodas de corte é invertido e procede-se à adição da restante quantidade de calda de cimento preconizada, sendo simultaneamente homogeneizada a mistura à medida que a ferramenta de corte é conduzida novamente até à superfície.

A execução dos trabalhos na obra apresentada iniciou-se com a implantação dos painéis de CSM, procedendo-se simultaneamente à execução de painéis de teste, de forma a permitir a calibração dos parâmetros de execução. Efetuou-se a recolha de provetes de solo-cimento do painel de teste para posteriormente submeter a ensaios de resistência à compressão uniaxial com medição do módulo de deformabilidade. A partir dos resultados obtidos nesses primeiros ensaios, foi possível calibrar o equipamento e ajustar todos os parâmetros para que nos painéis da estrutura de contenção se garantissem os parâmetros de resistência e de deformabilidade do solo-cimento exigidos em projeto. O painel de controlo existente no equipamento de execução permite ao manobrador o controlo em tempo real de parâmetros como a profundidade da ferramenta de corte e os respetivos desvios relativamente à posição inicial, o caudal e a pressão da calda de cimento adicionada, a pressão exterior do tratamento, a velocidade de furação, entre outros (Bringiotti et al., 2009).

Após a fase inicial de calibração do equipamento, procedeu-se à realização dos painéis de CSM da estrutura de contenção. Imediatamente após a execução de cada painel e antes do endurecimento do solo-cimento procedeu-se à introdução dos perfis IPE previstos. Foram também instalados nesta fase os inclinómetros preconizados para controlo dos movimentos horizontais no tardo da estrutura de contenção.

Devido à grande possança das areias, foram encontradas algumas dificuldades na estabilização destas durante a execução dos painéis de CSM, tendo o Cutter ficado preso nas areias por duas vezes. Em ambas as situações, com dificuldade, o Cutter foi recuperado, sendo que em um dos casos, o Cutter esteve preso cerca de um mês.

A fase seguinte consistiu na realização das estacas de fundação que também serviram de apoio provisório das bandas de laje.

Para garantir a solidarização dos painéis de CSM e dos respetivos perfis metálicos verticais foi executada uma viga de coroamento antes do início dos trabalhos de escavação. Na Figura 9 é possível observar a viga de coroamento e estacas executadas nesta fase dos trabalhos.



Figura 9 – Fotografia do início da execução da laje de cobertura

Após a execução da viga de coroamento, procedeu-se à escavação até 0,5 m abaixo da cota prevista para o 1º nível de travamento (laje da cobertura). Após a execução do 1º nível de escavação foram soldados aos perfis verticais IPE da estrutura de contenção os perfis metálicos HEA horizontais que viriam a garantir posteriormente a ligação entre a estrutura de contenção e as bandas de laje (Figura 10).



Figura 10 – Fotografia dos perfis HEA de ligação da laje à parede CSM

Procedeu-se em seguida à execução do 1º nível de bandas de laje, de forma a obter um quadro rígido de travamento da estrutura de contenção, instalando-se em seguida os alvos topográficos previstos.

A fase seguinte consistiu na escavação até 0,5 m abaixo da cota prevista para o 2º nível de travamento. A figura seguinte mostra uma fotografia da obra durante esta fase.



Figura 11 – Fotografia da execução da segunda banda de laje

Após a realização das bandas de laje do 2º nível de travamento, executou-se a escavação para o nível de laje seguinte, continuando o faseamento até ao fundo de escavação. É de salientar que os painéis de CSM foram executados até uma profundidade que permitiu minimizar a afluência de água ao recinto de escavação, o que facilitou todo o processo de escavação. Nas figuras seguintes são apresentadas fotografias da execução dos vários níveis de bandas de laje.



Figura 12 – Fotografia da execução da terceira banda de laje



Figura 13 – Fotografia da execução da quarta banda de laje



Figura 14 – Fotografia da execução da quinta e última banda de laje

Uma vez atingida a profundidade máxima de escavação foi executada a laje de fundo e a estrutura definitiva interior do parque de estacionamento, tendo sido demolidas as estacas de apoio provisório. Na Figura 15 pode observar-se o aspeto geral na fase final da obra.



Figura 15 – Aspeto final da obra

## 6 - CONTROLO DE QUALIDADE E OBSERVAÇÃO DA OBRA

O controlo de qualidade na obra em estudo foi realizado a vários níveis. Numa primeira fase, durante a execução dos painéis de CSM, através do controlo dos parâmetros de execução efetuado em tempo real pelo manobrador do equipamento e numa segunda fase, através de ensaios laboratoriais de provetes recolhidos dos painéis da estrutura de contenção. Na Figura 16 apresentam-se tarolos extraídos dos painéis CSM por carotagem para ensaio. Paralelamente efetuou-se a observação da obra ao longo da execução da escavação, tendo-se realizado leituras dos aparelhos de monitorização instalados de acordo com o Plano de Observação e Instrumentação previsto.



Figura 16 – Tarolos de painéis CSM

A Figura 17 e Figura 18 mostram a localização dos aparelhos de monitorização implementados em obra no âmbito do Plano de Instrumentação e Observação preconizado. Foram instalados 10 inclinómetros na estrutura de contenção, 38 alvos topográficos na estrutura de contenção e nas bandas de laje e 9 alvos topográficos na envolvente da obra.

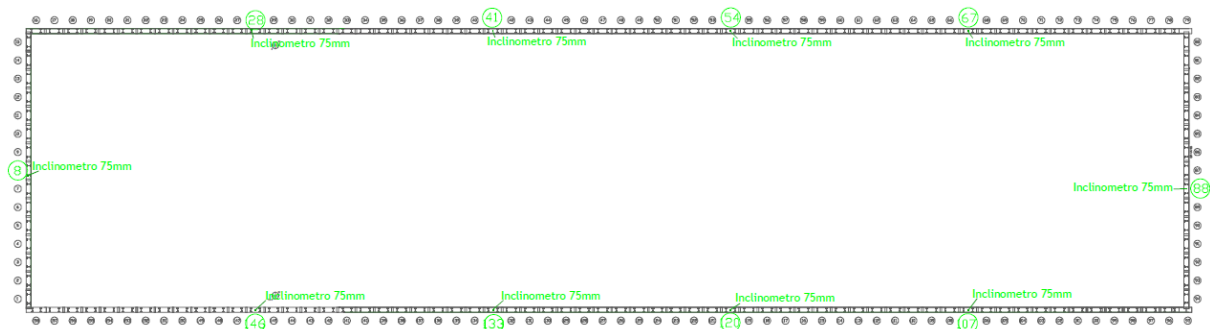


Figura 17 – Distribuição dos inclinómetros instalados

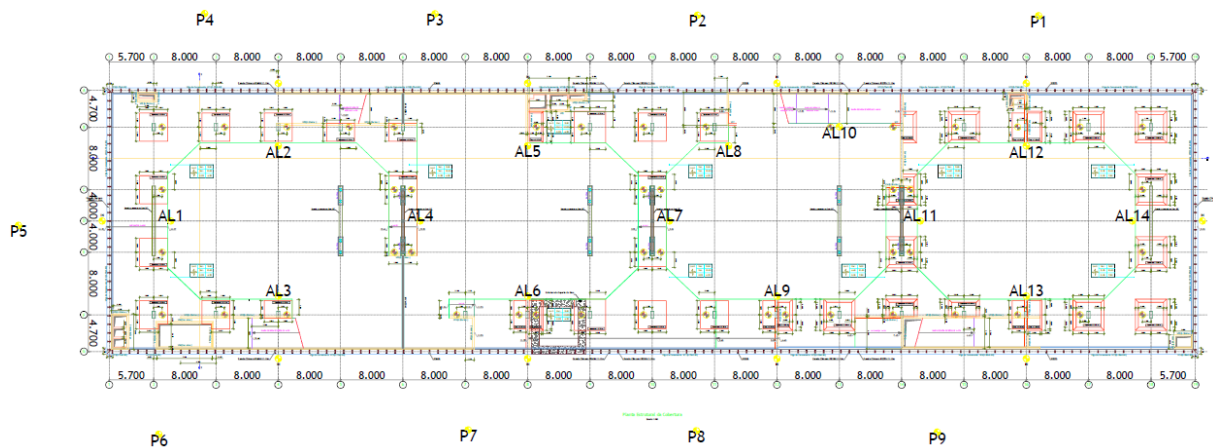


Figura 18 – Distribuição dos alvos topográficos instalados

Na generalidade, os resultados obtidos por via da instrumentação corresponderam aos valores previstos através das modelações numéricas efetuadas. Como seria de esperar, na direção paralela à estrutura de contenção não se verificou praticamente a ocorrência de deslocamentos horizontais e, na direção perpendicular à estrutura de contenção, ocorreram deslocamentos horizontais com algum significado, ainda que inferiores aos valores definidos como critérios de alerta e próximos dos valores esperados.

Na Figura 19 apresenta-se um exemplo da medição de um inclinómetro.

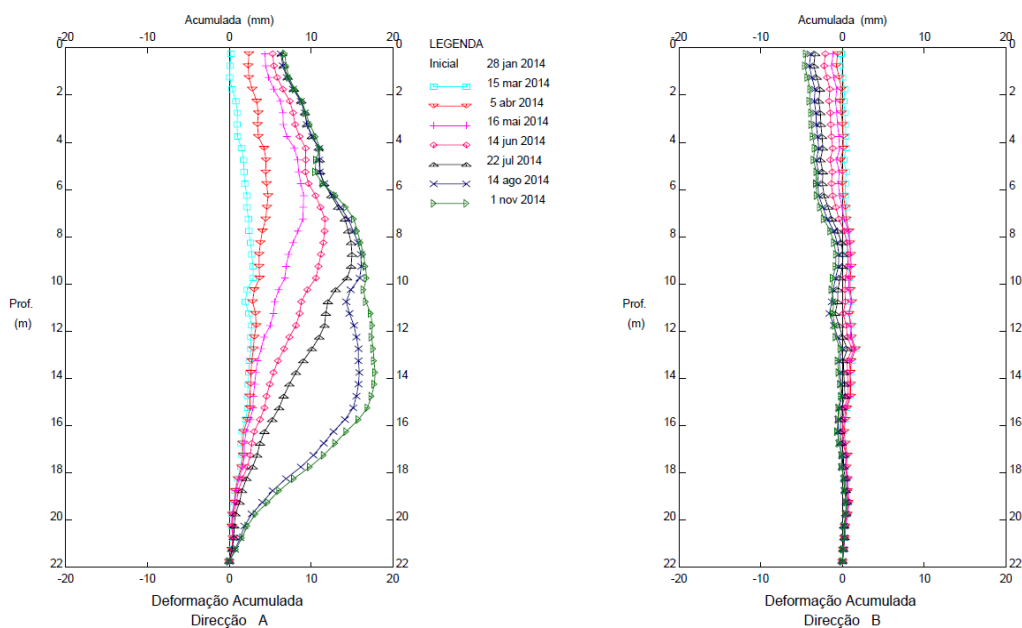


Figura 19 – Leituras do inclinómetro instalado no painel 28

É de salientar a importância do controlo e monitorização da obra como ferramenta imprescindível ao nível da gestão do risco da obra e do seu meio envolvente, permitindo antecipar problemas e a tomada de medidas de prevenção atempadamente, em especial quando se trata de intervenções em meio urbano.

## 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A solução adotada permitiu responder, de uma forma geral, aos objetivos pretendidos contornando os condicionamentos existentes, tendo-se efetuado em condições de segurança a escavação de face vertical com uma altura variável entre 8,0 e 17,4 m, garantido em simultâneo a limitação da afluência de água ao interior da escavação.

O recurso a travamentos horizontais por meio de bandas de laje constitui uma das vantagens mais significativas da solução apresentada, uma vez que permite integrar em fase provisória elementos da estrutura definitiva, tirando o máximo partido dos mesmos e evitando gastos adicionais em elementos de travamento horizontal provisório como ancoragens ou escoras metálicas. Em relação a uma solução alternativa com ancoragens pré-esforçadas, a solução de travamento por meio de bandas de laje apresenta as vantagens de não ocupação dos terrenos vizinhos e o facto de permitir ultrapassar a dificuldade de realização de ancoragens abaixo do nível freático, por vezes associada a fenómenos de erosão interna. O caso de estudo apresentado constitui um exemplo de uma solução de contenção para uma escavação em meio urbano bastante interessante do ponto de vista técnico e económico.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Geo-Rumo, Tecnologia de Fundações, S.A. e à empresa A400, Projetistas e Consultores de Engenharia, Lda. as fotografias cedidas e a autorização para redação e publicação do presente artigo.

## REFERÊNCIAS

- Arnold, M., Beckhaus, K. and Wiedenmann, U. (2011). Cut-off wall construction using Cutter Soil Mixing: a case study. *Geotechnik*, volume 34: pages 11-21.
- Bringiotti, M., Dossi, M. and Nicastro, D. (2009). Miscelazione profonda dei terreni: metodi classici e tecnologie innovative – CSM by BAUER. *Geofluid 2009*.
- Fiorotto, R., Schöpf, M. and Stötzer, E. (2005). Cutter Soil Mixing (CSM) An innovation in Soil mixing for creating Cut-off and Retaining walls. In: *16 ICSMGE: International Conference on soil mechanics and geotechnical engineering*, Osaka-Japan.
- Matos Fernandes, M., Peixoto, A., Pinto, A., Pita, X., Topa Gomes, A. e Gomes Pedro, A. (2010). Cutter Soil Mixing aplicada a escavações urbanas. *COBRAMSEG 2010: Engenharia Geotécnica para o desenvolvimento, inovação e sustentabilidade. COBRAMSEG 2010 - Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, 2010, Gramado, Brasil.