

SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PERIFÉRICA E DE FUNDAÇÕES DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DAS AGÊNCIAS EM LISBOA

SOLUTIONS FOR THE RETAINING WALLS AND FOUNDATIONS OF THE AGENCIAS PUMPING STATION, IN LISBON

Pita, Xavier; *JetSJ Geotecnia, Lda., Lisboa, Portugal, xpita@jetsj.pt*

Pinto, Alexandre; *JetSJ Geotecnia, Lda., Lisboa, Portugal, apinto@jetsj.pt*

Borges, Rui; *Geo-Rumo, Tecnologia de Fundações, S.A., Braga, Portugal, rui.borges@georumo.pt*

RESUMO

No presente artigo são descritos os principais critérios de concepção e de execução adoptados nas soluções de contenção periférica e de fundações, implementadas na Estação Elevatória das Agências, a qual se enquadra no âmbito do “Sistema Elevatório das Agências e Emissários Associados da Frente de Drenagem do Terreiro do Paço”, localizando-se na em Lisboa, na margem direita do Rio Tejo.

Face aos principais condicionalismos identificados, designadamente a necessidade de realizar uma escavação com altura máxima de 12m num cenário caracterizado pela presença de materiais de fracas propriedades geomecânicas e pela presença de nível freático junto à superfície, associados ao reduzido prazo para execução da obra, verificou-se a necessidade de recorrer a uma solução de contenção periférica e de fundações indirectas recorrendo à tecnologia de CSM (Cutter Soil Mixing), a qual permitiu a realização de painéis de solo-cimento armados com perfis metálicos. A solução proposta, além de viabilizar a escavação em condições de segurança, permitiu ainda minimizar o caudal de água afluente ao interior do recinto da escavação e fundar os órgãos hidráulicos e estruturas internas, assim como ainda pregar a estrutura ao terreno de forma a acomodar devidamente as subpressões hidrostáticas.

ABSTRACT

The aim of this paper is to describe the main design and execution criteria adopted for the earth retaining structures and foundations solutions, implemented at Agências Pumping Station, located in Lisbon, on the right bank of the Tagus River.

The main constraints will be addressed, namely the 12m depth excavation in a scenario characterized by the presence of materials with weak mechanical properties and as well as the ground water table near to the surface, associated with a tight schedule for execution of work. Given this constraints, a earth retaining structure and foundations solution was designed using the CSM technology (Cutter soil Mixing), allowing the construction of soil-cement panels reinforced with steel profiles. The adopted solution not only allowed the excavation in safety conditions, as it minimized water flow into the excavation pit. It enabled the foundation of the hydraulic organs and internal structures, as well as the underpinning of the structure to accommodate the hydrostatic uplift.

1 - INTRODUÇÃO

No presente artigo são apresentadas as soluções propostas para os trabalhos de escavação e contenção periférica, adoptados para a execução da Estação Elevatória (EE) das Agências e de parte do Interceptor Gravítico, enquadrados no âmbito do “Sistema Elevatório das Agências e Emissários Associados da Frente de Drenagem do Terreiro do Paço”, localizada entre o Cais do Sodré e o Terreiro do Paço em Lisboa, junto à margem direita do rio Tejo, numa zona conquistada ao rio, como mostra a Figura 5. A escavação apresenta uma profundidade de 12,0 m, área em planta de 440 m² e perímetro de 135 m (Figura 1).

O local da construção da EE caracteriza-se por aterros heterogéneos à superfície, com espessuras de 7,5 a 9,0 m incluindo, por vezes, restos de entulho e materiais pedregosos. Sob os aterros localizam-se as formações aluvionares, de composição essencialmente argilo-lodosa e areno-lodosa, com fracas características mecânicas. A partir dos 18.0m a 20.0m de profundidade, encontram-se, por sua vez, materiais pertencentes ao Miocénico, com características de substrato, constituídos por argilas e areolas.

Associado a estas condições encontra-se a posição elevada do nível freático, coincidente com o nível da água no rio Tejo, variável com as marés.

Assim sendo, a solução de contenção periférica que se apresenta neste documento, pretendeu constituir uma alternativa que do ponto de vista económico e de compatibilidade com as restantes especialidades, a qual seria, no cenário admitido, a mais interessante para o Dono da Obra, preservando ainda, as características estruturais necessárias ao bom comportamento da estrutura interna da Estação Elevatória.

Atendendo a este enquadramento, foi proposta uma solução de escavação executada ao abrigo de uma contenção periférica constituída por painéis de solo cimento executados através da tecnologia de CSM (Cuter Soil Mixing) (Figura 2), armados com perfis metálicos e fundados no substrato Miocénico, a qual, para além de viabilizar a escavação em condições de segurança, permitiu ainda:

- Minimizar o caudal de água que afluir ao interior do recinto da escavação;
- Fundar os órgãos hidráulicos e estruturas internas, assim como pregar a estrutura ao terreno de forma a acomodar devidamente as supressões hidrostáticas.



Figura 1 – Localização da Obra. Condições de vizinhança.

2 - PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

2.1 - Geologia, Geotecnia e Hidrologia

As soluções desenvolvidas foram apoiadas no Estudo Geológico-Geotécnico, cujos resultados indicavam que as condições geológicas e geotécnicas dos terrenos de intereressados na escavação da EE e do Interceptor (Figuras 2 e 3), se caracterizam por aterros heterogéneos à superfície, com espessuras reconhecidas entre os 4,5 e os 12,0/14,0 m, mas mais frequentemente entre os 7,5 e os 9,0 m e geralmente medianamente compactos (NSPT = 10-30). Sob os aterros, foram detectadas formações aluvionares, de composição essencialmente lodosa e areno-lodosa, num estado de consistência/compacidade muito mole a medianamente consistente/muito solto a solto (NSPT = 0 - 4 e NSPT = 4-10), portanto de baixa resistência e, consequentemente, com baixa a muito baixa capacidade de carga e muito compressíveis, pelo menos nos níveis claramente lodosos (Quadros 1 e 2). Estas formações aluvionares assentavam, por sua vez, sobre terrenos de idade Miocénica, com características de substrato. Associado a estas condições encontrava-se a posição elevada do nível freático (Quadro 3).

Atendendo à caracterização geotécnica efectuada e à avaliação da informação daí resultante, foi estabelecido um zonamento geotécnico, de acordo com três zonas geotécnicas principais, a saber:

Quadro 1 – Zonamento geotécnico.

Caracterização			Descrição	NSPT
ZG1			Correspondente ao substrato Miocénico	Nspt>60
ZG2	ZG2A		Correspondente às aluviões modernas	(0<Nspt<2)
	ZG2B	Aluviões areno-lodosas soltas, eventualmente medianamente compactas		(4<Nspt<10)
	ZG2C	Aluviões areno-lodosas medianamente compactas		(15<Nspt<30)
ZG3			Aterros heterogéneos (presença de entulho e elementos rochosos)	(10<Nspt<30)

Do ponto de vista geotécnico, dentro destas zonas definiram-se sub-zonas, A, B C, atendendo, fundamentalmente, aos resultados dos ensaios SPT.

Na análise do comportamento das estruturas de contenção, foram adoptados os parâmetros mecânicos, estimados a partir dos resultados da prospecção realizada:

Quadro 2 – Parâmetros geotécnicos adoptados.

Zona Geotécnica	Formação geológica	γ' (°)	ϕ' (°)	E' (MPa)
ZG1	Miocénico	21	35	125
ZG2	Aluviões	17	30	8
ZG3	Aterro	19	30	6

Associado às condições geológico-geotécnicas, é de salientar a posição elevada do nível freático, variável com as marés.

Quadro 3 – Posição do nível freático.

Maré	Nível (em relação ao ZH)
Preia-mar máxima de águas vivas	+4,30 m
Preia-mar de águas vivas	+3,80 m
Preia-mar de águas mortas	+3,00 m
Nível médio	+2,20 m
Baixa-mar de águas mortas	+1,40 m
Baixa-mar de águas vivas	+0,60 m
Baixa-mar mínima	+0,10 m

2.2 - Condicionamentos Relativos às Condições de Vizinhança

A Estação Elevatória localiza-se na proximidade do edifício da Agência Europeia de Segurança Marítima e do Observatório Europeu da Droga e Toxicodependência, sem no entanto, haver efectiva interferência com este edifício e a obra propriamente dita (Figura 1).

O troço do Interceptor desenvolve-se entre o Terreiro do Paço e a Estação Elevatória, e apesar de em alguns troços a sua execução ser condicionada por construções existentes, no troço interessando neste estudo, não existem condicionamentos efectivos.

2.3 - Condicionamentos Estruturais e de Geometria

As soluções propostas foram estudadas de modo a permitir a correcta execução e instalação dos órgãos hidráulicos e demais estruturas, em particular a instalação do Interceptor Gravítico e a execução da Estação Elevatória.

Adicionalmente, foi ainda necessário dotar a estrutura de características de rigidez e de resistência, de modo a poder esta poder acomodar as acções horizontais devidas ao sismo, durante a vida útil da Estação Elevatória. Dado este carácter definitivo dos painéis de solo-cimento executados através da tecnologia de CSM, o dimensionamento da estrutura teve em conta os aspectos de corrosão e comportamento dos materiais num ambiente agressivo.

3 - SOLUÇÕES ADOPTADAS

Tendo em conta os condicionalismos e objectivos descritos, foi proposta a execução de uma contenção periférica constituída por uma parede de 0.60m de espessura, constituída por painéis de CSM armados com perfis metálicos, solução esta adequada para cenários com as características do descritas (Figura 2), nomeadamente no que se refere às características geomecânicas e hidrogeológicas dos solos interessados. Esta parede de contenção assumiu três funções simultâneas:

- Elemento de contenção: de forma a permitir a realização da escavação na vertical, preservando a estabilidade do maciço escavado e das infra-estruturas localizadas a tardo do perímetro da escavação;
- Elemento de fundação e de pregagem da Estação Elevatória;
- Elemento de limitação da afluência de água ao interior da escavação nas fases de construção.

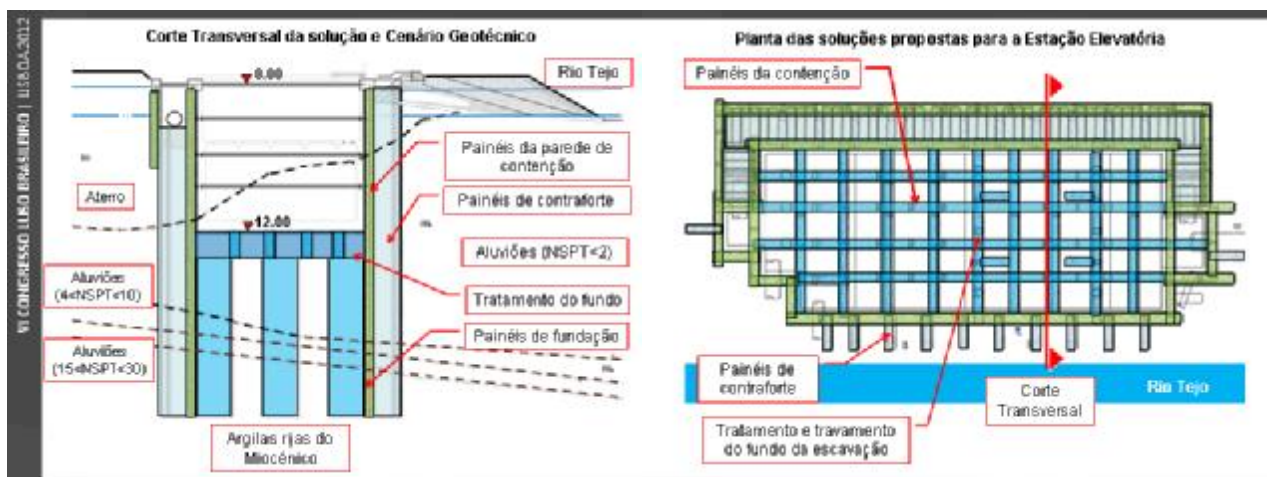


Figura 2 – Secção transversal e planta das soluções adoptadas para a EE Agência.

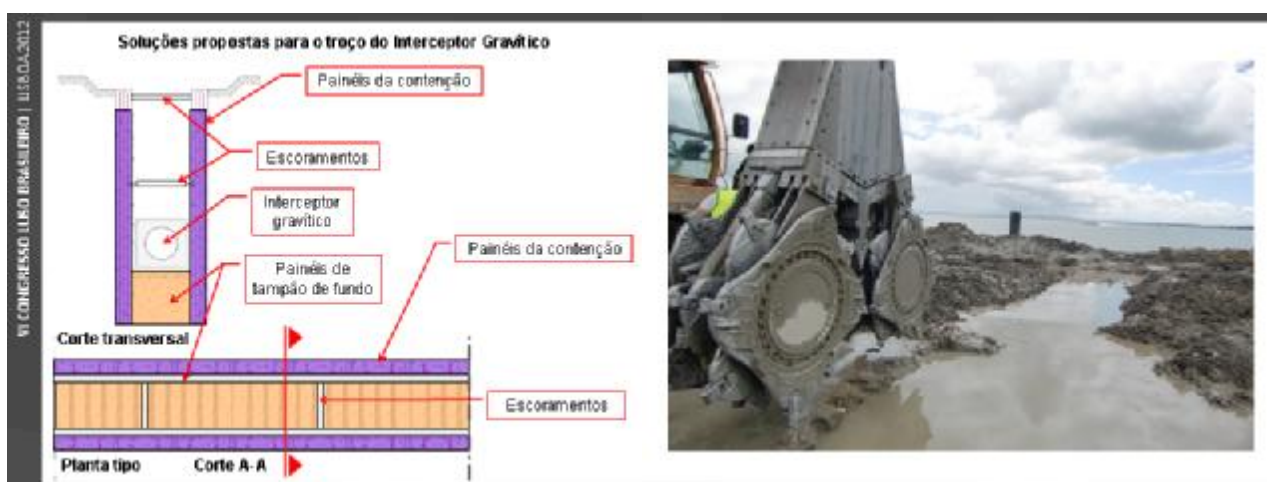


Figura 3 – Secção transversal e planta das soluções adoptadas para a vala do Interceptor. Rodas de corte “cutters” do equipamento de CSM.



Figura 4 – Execução dos painéis de CSM. Topo dos perfis metálicos introduzidos no interior dos painéis.

Refere-se de forma simplificada que a tecnologia de CSM corresponde a um sub tipo da técnica de Deep Soil Mixing, mistura mecânica de solo e cimento, em termos gerais análoga, do ponto de vista do produto final, à técnica jet grouting. Esta última, é conseguida através de uma mistura hidráulica (transformação

de energia potencial de bombagem em energia cinética), determinando, em consequência, uma maior perturbação do solo e um maior consumo de cimento.

De modo a cumprir as exigências de comportamento da estrutura interna da Estação Elevatória face a acção sísmica, a rigidez da contenção foi incrementada através da disposição de contrafortes ao longo do seu perímetro, tendo-se recorrido para tal, a módulos de CSM com 2,4 x 0,6m² colocados perpendicularmente ao alinhamento da parede de contenção. Estes módulos foram igualmente armados com um perfil tipo IPE (Figura 2 e 4).

A parede periférica formada pelos painéis e pelos perfis verticais foi encabeçada por uma viga de coroamento em betão armado, com altura de 0.80m e largura variável entre os 0.95m e 1.20m, a qual foi ligada à parede interior da estrutura da Estação Elevatória, solidarizando o conjunto, e possibilitando que a parede de contenção tenha a função de fundação desta estrutura (Figura 5).

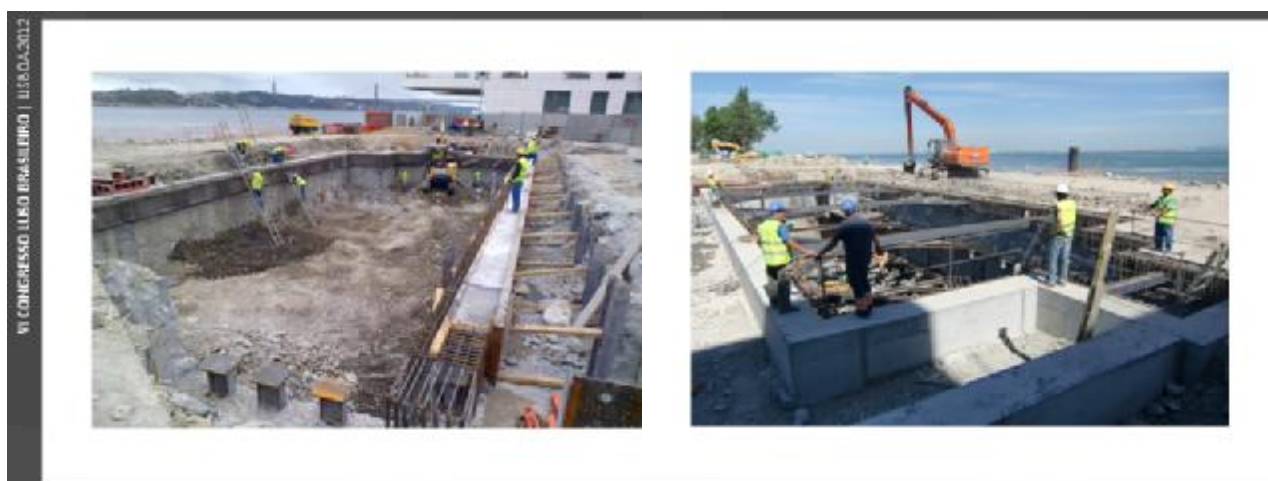


Figura 5 – Execução da viga de coroamento. Primeiro nível de escoramentos colocado ao nível da viga de coroamento.

No que toca ao travamento, este foi garantido por meio de escoramentos metálicos, instalados em vários níveis no decorrer da escavação, constituídos por vigas de distribuição HEB300 e escoras HEB200 e HEB260 (Figuras 6 e 7).

Ao nível do fundo da escavação, foi proposto um tratamento do solo através por painéis de CSM com 2.00m de altura, materializando uma grelha. Estes elementos foram ainda tidos em conta no travamento das paredes de contenção a este nível.



Figura 6 – Ligação das vigas de distribuição à contenção. Amostrador para recolha de amostras frescas dos painéis.



Figura 7 – Vistas dos vários níveis de travamento e da parede de contenção de solo-cimento.

4 - DIMENSIONAMENTO

O comportamento das estruturas de contenção, em termos de esforços e de deformações, foi analisado, para todas as fases construtivas, através do programa de elementos finitos PLAXIS V9 Professional Edition vocacionado para o efeito (Figura 8).

A análise realizada consistiu no estudo das secções representativas da contenção, com o intuito de avaliar as deformações, estados de tensão e a estabilidade do maciço a conter, bem como estimar os incrementos de deformação em estruturas vizinhas à escavação. Esta análise permitiu ainda a determinação de esforços na parede de contenção e a avaliação dos esforços a que os escoramentos metálicos provisórios estariam sujeitos.

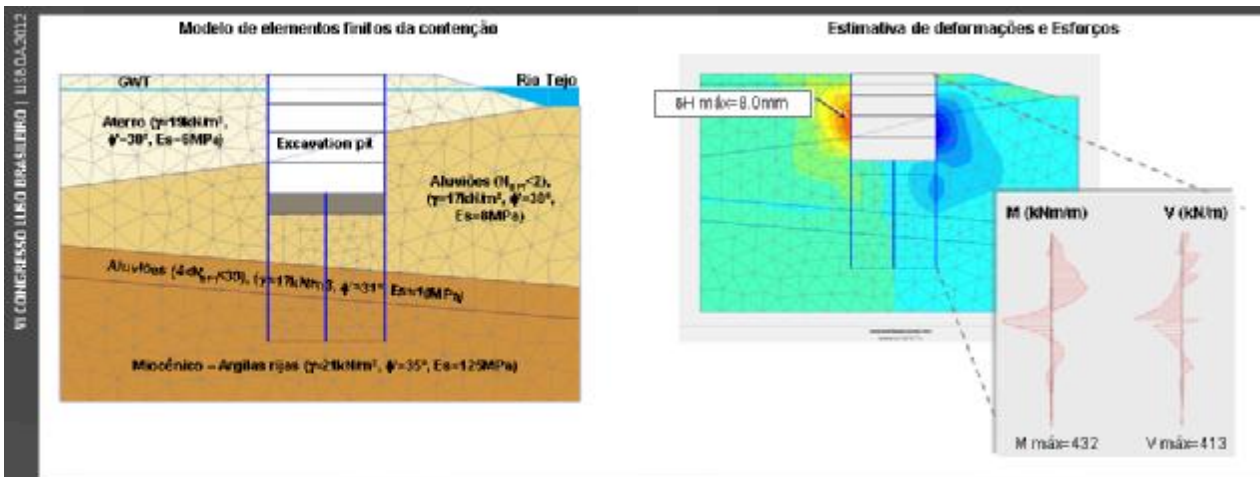


Figura 8 – Modelo de elementos finitos. Campo de deformações horizontais.

5 - INSTRUMENTAÇÃO, OBSERVAÇÃO E CONTROÇO DE QUALIDADE

Tendo por base o enquadramento da obra, bem como o tipo de soluções adoptado, foi implementado um Plano de Instrumentação e Observação com o objectivo de medir, durante os trabalhos relativos à escavação, construção das estruturas de contenção e das estruturas enterradas, os movimentos da obra. Para este efeito, foram instalados os seguintes instrumentos (Figura 7):

- 16 alvos topográficos;
- 2 inclinómetros (com 28ml cada).

O controlo das deformações da contenção foi realizado através da medição de convergências para cada nível de escavação. Os valores máximos de convergência foram medidos nas leituras entre 28 de Maio e 3 de Agosto de 2010. De salientar que os resultados negativos correspondem a aproximações, ou seja, redução na distância entre alvos (Figura 9).

Verificou-se que os de movimentos máximos registados pelos inclinómetros foram medidos entre as datas de 08-06-2010 e 18-06-2010, período em que a escavação se aproximava da sua profundidade máxima (Figura 9).

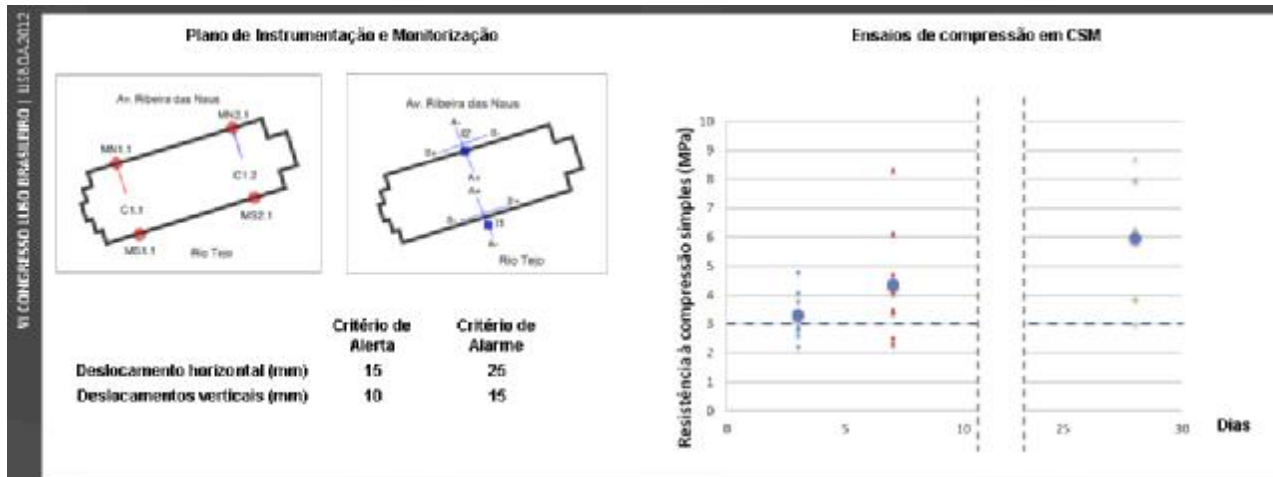


Figura 9 – Localização da Instrumentação. Resultados dos ensaios de compressão uniaxial em provetes de CSM.

Como forma de confirmação das condições da mistura de solo-cimento dos painéis, foram executados, em laboratório, ensaios de compressão simples em amostras retiradas a fresco dos painéis de solo-cimento. As amostras foram retiradas com a inserção, até determinada profundidade, do amostrador metálico que contém uma caixa que permite a extracção da mistura fresca de solo e cimento.

Os provetes foram submetidos a ensaios UCS aos 3, 14 e 28 dias, com medição de extensões, para aferição da resistência à compressão e medição do módulo de deformabilidade (Figura 10).

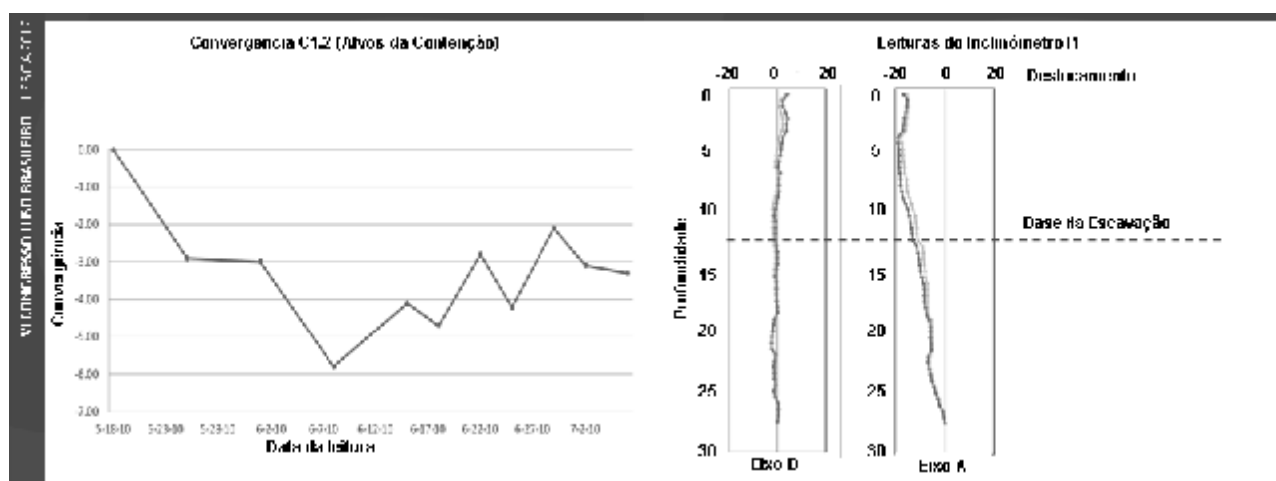


Figura 10 – Alguns resultados da instrumentação – Leituras de convergências e de inclinómetro.

PRINCIPAIS QUANTIDADES

As principais quantidades associadas aos trabalhos descritos apresentam-se em seguida no Quadro 4.

Quadro 4 - Principais quantidades da obra.

Material	Painéis de CSM (2.40x0.60)		Perfis de aço laminado de armadura de painéis	Perfis de aço laminado em travamentos	Betão	Aço
	un	m ³	kg	kg	m ³	kg
Unidades de medição	un	m ³	kg	kg	m ³	kg
Valor total	178	4061	5360	17712	154	243

6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A obra descrita foi caracterizada por uma escavação de 12.0m de profundidade máxima, num cenário de fracas característiicas geológico-geotécnicas. As soluções e a tecnologia adoptada, vieram confirmar, na sequência de realizações anteriores (Pinto, 2011), a aplicabilidade da tecnologia de CSM em diferentes tipos de soluções e de ambientes geológicos e geotécnicos.

A aplicação da tecnologia de Cutter Soil Mixing nesta obra, confirmou o potencial que a técnica apresenta na execução de paredes periféricas, bem como nos travamentos desta, quer pelo interior do recinto, como pelo seu exterior. Destaca-se ainda as características de impermeabilidade do material solo-cimento produzido, bem como a ausência de juntas entre painéis, que possibilitou a execução da obra sem constrangimentos ao nível da afluência de água ao interior da escavação, conforme já havia sido descrito em Pinto, 2010.

A tecnologia de CSM também permite ainda o reforço dos painéis com perfis metálicos, conseguindo-se assim um aumento da resistência ao corte e à flexão. A presença adicional dos perfis possibilita igualmente a interligação com outros elementos estruturais como lajes, no presente caso as vigas de distribuição.

Para finalizar, deve salientar-se a importância do controlo de qualidade do material tratado por meio da recolha de amostras de solo-ligante, em fresco ou por carotagem à posteriori, para realização de ensaios laboratoriais, de compressão uniaxial com medição do módulo de deformabilidade. No que se refere ao controlo de execução, destaca-se o apetrechamento tecnológico dos equipamentos que executam os painéis de solo-ligante, os quais permitem, em tempo real, o registo e a correcção de todos os parâmetros de execução (Fernandes, 2010).



Figura 11 – Vistas do interior da contenção e seus travamentos. Execução da laje de fundo e estrutura interior.

O grau de sofisticação do equipamento de execução garante o ajuste e correção, em tempo real, dos parâmetros de execução dos painéis assim como um registo contínuo das diferentes variáveis geométricas e construtivas de cada painel.

No entanto, com a presente empreitada, foram também identificadas algumas limitações do recurso à tecnologia de CSM. As grandes dimensões e peso do equipamento, e sobretudo a mais preponderante para o sucesso ou fracasso da estrutura final, a necessidade de um controlo de qualidade de execução muito exigente, como de resto inerente a qualquer técnica de tratamento de solos, como referido em Simon (2009).

Duma forma geral, e como base na informação recolhida até à data pela instrumentação instalada nas estruturas de suporte, as soluções implantadas têm vindo a assegurar um adequado comportamento estrutural da EE.

Como nota final, sublinha-se o papel de destaque da instrumentação como modo de aferição do comportamento das soluções e do efeito que as mesmas têm na sua envolvente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todas as entidades envolvidas no processo a autorização para a redação e publicação do presente artigo, em particular um Dono de Obra, a empresa SIMTEJO. Consideramos ainda importante sublinhar que a solução implementada resultou de ao trabalho de equipa, no âmbito do qual deve ser destacado o papel importante da empresa Lisconcebe, consultor, a empresa Consulmar, Fiscalização, a empresa SETH, empreiteiro geral e a Georumo, empreiteiro dos trabalhos de geotécnica.

REFERÊNCIAS

- Pinto, A., Tomásio, R., Peixoto, A., Pereira, D. (2010) Soluções de contenção de poços através da tecnologia de deep soil mixing – CSM, *12.º Congresso Nacional de Geotecnia*, Guimarães, Portugal, pp. 434-444.
- Pinto, A., Tomásio, R., Pita, X., Godinho, P., Peixoto, A. (2011) Ground Improvement Solutions using Cutter Soil Mixing Technology, *Proceedings of the 1st International Conference on Advances in Geotechnical Engineering*, Perth, Austrália, pp. 511 – 518.
- Simon, B. (2009) Projet national de recherche et développement. Amélioration des sols par inclusions verticales rigides. *Travaux n°862*, pp. 65-72.
- Fernandes, M. M; Peixoto, A.; Pinto, A.; Pita, A.; Gomes, A. T.; Pedro, A. (2010) A Técnica de Cutter Soil Mixing aplicada a escavações urbanas, *V Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia*, Gramado - RS, Brasil, Sessão Paralela 2 – Escavações Profundas em Áreas Urbanas, publicado em CD.