

SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO DE POÇOS ATRAVÉS DA TECNOLOGIA DE DEEP SOIL MIXING – CSM

EARTH RETAINING SOLUTIONS OF SHAFTS USING DEEP SOIL MIXING TECHNOLOGY - CSM

Pinto, Alexandre, *JetSJ Geotecnia Lda., Lisboa, Portugal, apinto@jetsj.pt*
Tomásio, Rui, *JetSJ Geotecnia Lda., Lisboa, Portugal, rtomasio@jetsj.pt*
Artur Peixoto, *Georumo – Tecnologia de Fundações S.A., artur.peixoto@georumo.pt*
David Pereira, *DST S.A., David.Pereira@dstsgps.pt*

RESUMO

No presente artigo são descritos os principais critérios de concepção e de execução adoptados nas soluções de contenção periférica provisória de dois poços de ataque realizados nas margens do Rio Lima, de forma a permitir a instalação, por microtunelagem, de uma conduta Ø700mm sob o leito do mesmo Rio, em Ponte de Lima, no âmbito dos trabalhos do Subsistema de Águas de S. Jorge, promovidos pela empresa “Águas do Minho e Lima”. Os principais condicionamentos encontravam-se associados à geometria dos poços e, sobretudo, ao dispositivo geológico e geotécnico desfavorável, caracterizado, pela presença de nível freático junto à superfície, assim como pela necessidade de escavação de aterros heterogéneos, de materiais arenosos com cascalheiras e do maciço xistoso. No enquadramento descrito, foram adoptadas soluções suficientemente versáteis, recorrendo a painéis de solo – cimento, realizados através da tecnologia de deep soil mixing, em particular recorrendo ao cutter soil mixing (CSM), armados com perfis metálicos. Por último, são apresentados e analisados os principais resultados da instrumentação e observação das obras.

ABSTRACT

The aim of this paper is to present the main design and execution criteria for the temporary earth retaining solutions adopted for two shafts at the Lima River banks, at Ponte de Lima, in order to allow the installation under the River bed, using microtunneling technology, of a Ø700mm water pipe, included on the works for the S. Jorge water supply systems, managed by “Águas do Minho e Lima” company. The main constraint was the complex geological scenario, with the groundwater level close to the surface and intersecting top layers of very heterogeneous fills, resting over sandy and gravel materials and the schist weathered bed rock. The geological scenario, along with the geometrical requirements of the shafts, led to the design and execution of a versatile earth retaining solution, which consisted on soil – cement panels, reinforced with steel profiles, performed through the deep soil mixing technology, cutter soil mixing (CSM). The main results of the monitoring and survey plan are also pointed out.

1 INTRODUÇÃO

No presente artigo são apresentadas as soluções propostas e executadas para os trabalhos de escavação e contenção periférica provisória, necessários à construção dos dois poços de ataque e respectivas estruturas hidráulicas interiores, no âmbito da instalação de uma conduta, em túnel sob o leito do Rio Lima, em Ponte Lima, integrado no Subsistema de Água de S. Jorge (figura 1).

Tendo por base a necessidade de compatibilização com o traçado em planta e em altimetria da conduta a instalar sob o leito do Rio Lima, o poço de montante, localizado na margem direita, deveria apresentar uma profundidade média da ordem dos 18,0m e um diâmetro interior de cerca de 15,0m. O poço de jusante, situado na margem esquerda, deveria apresentar uma profundidade média da ordem dos 17,0m e um diâmetro interior de cerca de 13,5m.

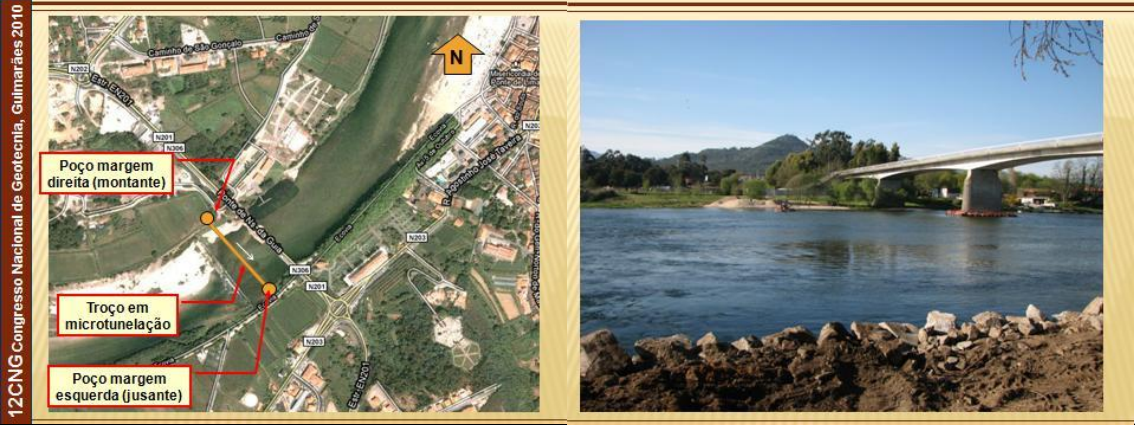


Figura 1 – Vista aérea do local da obra e do local dos dois poços, a partir da margem esquerda

Os principais objectivos das soluções estudadas e implementadas foram orientados no sentido de viabilizar a escavação, em condições de segurança, para a ligação da conduta aos órgãos hidráulicos a instalar no interior dos poços, podendo, assim, ser destacadas as seguintes funções:

- a) Contenção dos terrenos a escavar;
- b) Minimização do caudal de água que viesse a afluir ao interior do recinto da escavação.

2 PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

2.1 Geologia e geotecnia

O cenário geológico e geotécnico foi aferido antes do início dos trabalhos através da realização de uma campanha de prospecção geológica e geotécnica. De acordo com a mesma, o referido cenário era constituído, a partir da superfície, por aterros muito heterogêneos, por areias e cascalheiras, repousando sobre xistos, em geral, com acentuado grau de alteração, mas decrescente em profundidade. O nível da água coincidia com o do Rio Lima (figuras 2 e 3).

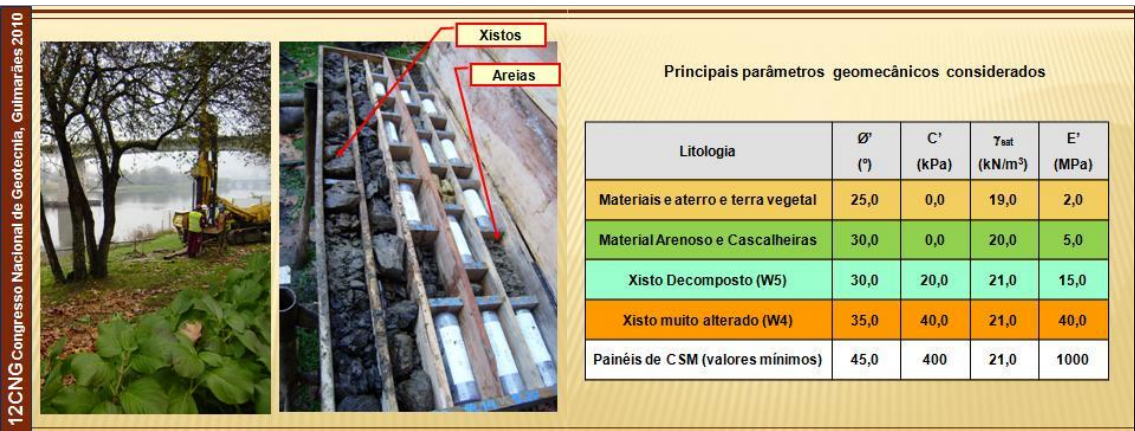


Figura 2 – Vista da execução de sondagens, incluindo caixa com amostragem e valores estimados para os principais parâmetros geomecânicos considerados na modelação do comportamento do solo e das contenções

2.2 Condições de vizinhança

Os poços foram realizados junto às margens do Rio Lima, pelo que se considerou como desaconselhável a execução de plataformas de aterro que invadissem excessivamente o leito do mesmo rio. Igualmente importante, era o recurso a técnicas que limitassem a contaminação do leito do rio com os materiais incluídos no âmbito da respectiva implementação.

2.3 Compatibilização com os trabalhos de microtunelação e órgãos hidráulicos

Os poços foram realizados com uma geometria cilíndrica, que deveria ser compatível com os trabalhos de microtunelação, em particular com as cotas altimétricas e planimétricas da conduta a instalar sob o leito do Rio Lima, com diâmetro Ø700mm. A geometria e a capacidade resistente dos poços, em particular do localizado a montante, deveria ainda ser compatível com a execução de maciços de reacção onde, por sua vez, apoiariam os macacos hidráulicos que iriam empurrar os vários segmentos que materializavam a conduta. No interior de ambos os poços deveria ainda ser possível a execução da estrutura interna, em betão armado, que iria acomodar os órgãos hidráulicos a instalar no interior dos mesmos poços.

2.4 Prazo de execução da obra

A obra dispunha de um prazo de execução de cerca de 8 meses, devidamente compatibilizado com a execução dos restantes trabalhos incluídos no Subsistema de Águas de S. Jorge, pelo que as soluções propostas e implementadas deveriam permitir a consecução deste importante objectivo, pois os eventuais atrasos traduzir-se-iam em custos por perda de exploração elevados.

3 PRINCIPAIS SOLUÇÕES

3.1 Contenção periférica

Tendo por base o cenário geológico do local da obra, assim como a amplitude e o tipo de cargas a acomodar pelas paredes dos poços, foi proposta e implementada a realização de uma solução de contenção provisória por painéis de solo - cimento, executados através da tecnologia de CSM, derivada do deep soil mixing, armados com perfis metálicos em aço laminado, do tipo IPE300, dispostos na vertical. Estes elementos acomodam a totalidade dos impulsos e eram encabeçados por uma viga em betão armado e contraventados, em profundidade, por três vigas metálicas com geometria anelar, obrigatoriamente solidarizadas aos perfis verticais (figura 3).

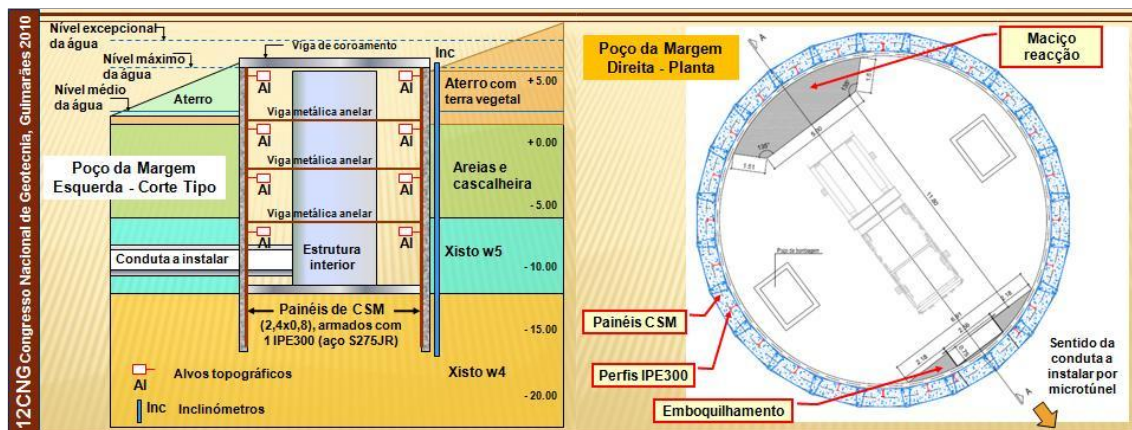


Figura 3 – Corte tipo e planta das soluções estudadas e implementadas



Figura 4 – Vista da execução dos painéis de CSM no poço da margem esquerda

A parede de contenção periférica, constituída por painéis de solo - cimento armados, foi assim executada previamente, a partir da superfície, antes de qualquer trabalho de escavação, através de um conjunto de módulos rectos de $2,4 \times 0,8\text{m}^2$, com disposição global circular e sobreposição mínima de $0,30\text{m}$ (figuras 3 e 4). A ficha mínima dos painéis abaixo do fundo da escavação foi de $5,0\text{m}$, de forma a limitar a afluência de água através do fundo da mesma escavação. Volta-se a sublinhar o facto dos painéis de solo - cimento terem sido armados verticalmente com perfis em aço laminado, do tipo IPE300, afastados de cerca de $2,1\text{m}$, posicionados com o banzo interior junto à face interior dos painéis, de forma a facilitar a solidarização às vigas metálicas anelares de cintagem. Nas zonas de entrada e de saída da micro tuneladora, o referido afastamento foi ajustado, de forma a facilitar os trabalhos de furação. Os perfis foram cravados no interior dos painéis, logo após a conclusão dos mesmos, com recurso a vibrador (figura 5). Como já referido, a parede periférica formada pelos painéis de solo - cimento, foi cintada a vários níveis: à superfície por uma viga de coroamento em betão armado, com secção de $0,8 \times 0,8\text{m}^2$, e, em profundidade e interiormente, a três níveis, por vigas de cintagem anelares, constituídas por perfis laminados, do tipo HEB200. Esta modelação permitiu que os painéis de solo - cimento acomodassem os impulsos dos terrenos e da água e os transmitissem aos perfis verticais, os quais, por sua vez, eram cintados pela viga de coroamento em betão armado e pelas vigas anelares metálicas (figuras 5, 6 e 9). Os painéis de solo - cimento foram assim dimensionados para acomodar uma tensão de compressão, para cargas de serviço, não superior a $2,0\text{MPa}$, e para dispor de um valor do módulo de deformabilidade não inferior a $1,0\text{GPa}$. Atendendo à agressividade do terreno foi adoptado cimento pozolânico.



Figura 5 – Vista da cravação dos perfis metálicos no interior dos painéis e do sistema de cintagem dos mesmos painéis

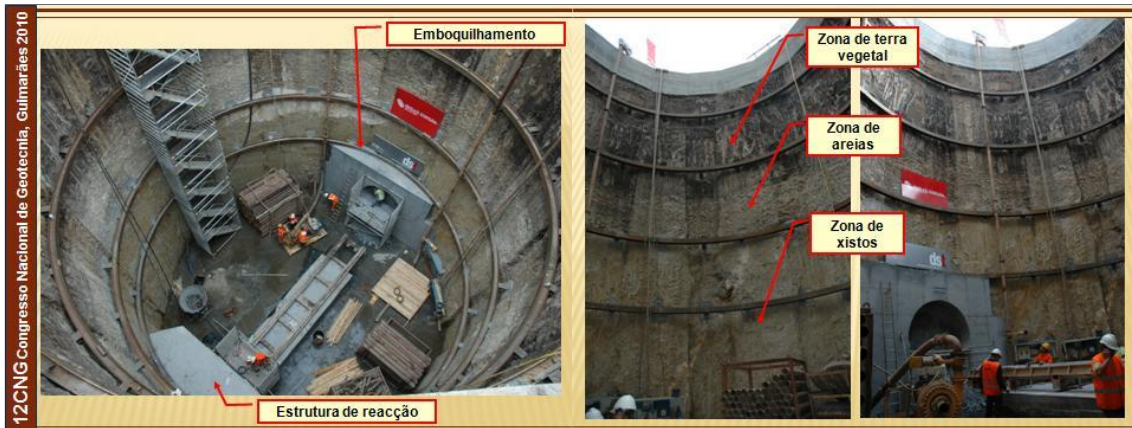


Figura 6 – Vistas do interior do poço da margem direita após a conclusão dos trabalhos de escavação

Como já referido, os painéis foram armados com perfis metálicos, os quais foram, por sua vez, dimensionados para acomodar os principais esforços resultantes dos impulsos provocados pelo terreno e pela água. Pese embora se tratar de uma obra de natureza provisória, o facto dos perfis se localizarem no interior dos painéis, permitiu incrementar o respectivo confinamento, assim como a sua protecção contra eventuais fenómenos de encurvadura e de corrosão, estes últimos determinados pela agressividade do terreno envolvente.

No que se refere à tecnologia CSM, pode ser referido de forma resumida que esta consiste, basicamente, numa mistura mecânica entre o solo e o ligante, em geral cimento, mas também brita, cal ou outros produtos, adequados aos objectivos específicos de natureza resistente e química de cada obra (figura 7). A ferramenta de furação, corte e mistura é análoga à adoptada na tecnologia de execução de paredes moldadas com recurso a hidrofresa, sendo constituída por, no mínimo, duas rodas de corte com eixo horizontal (cutter), especialmente vocacionadas para a escavação em solos moles heterogéneos e maciços rochosos com grau de alteração não inferior a w3 (Wheeler, 2009), (Simon, 2009). Como principais vantagens da tecnologia de CSM podem ser destacadas:

- Aplicação a todos os tipos de solos e a maciços rochosos alterados e fracturados, com o mínimo de refluxo;
- Simultaneidade de tratamento e descontaminação dos terrenos in situ, com grandes vantagens ambientais;
- Aplicação em obras de estruturas de contenção, incluindo cortinas de estanqueidade, e de fundações, com possibilidade de armar com elementos metálicos em posição centrada ou não centrada com o eixo dos painéis.

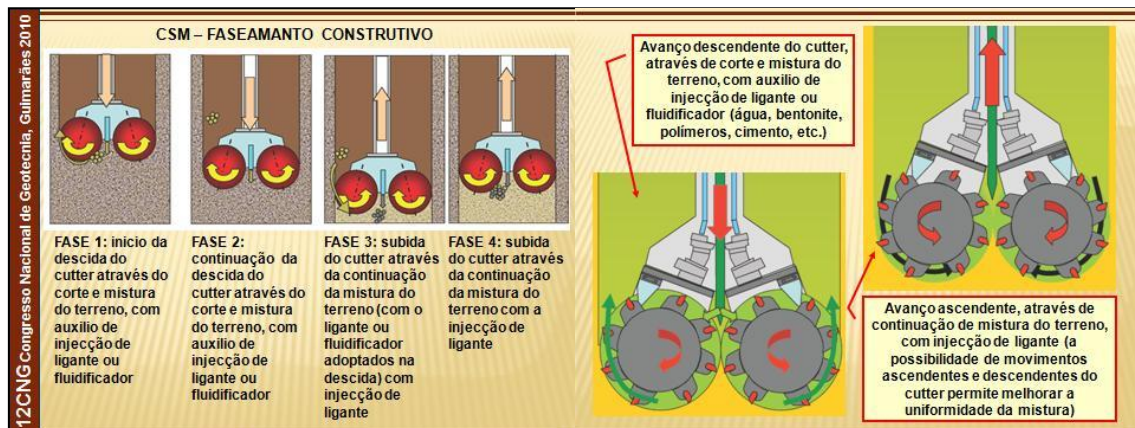


Figura 7 – Principais conceitos associados à tecnologia de CSM

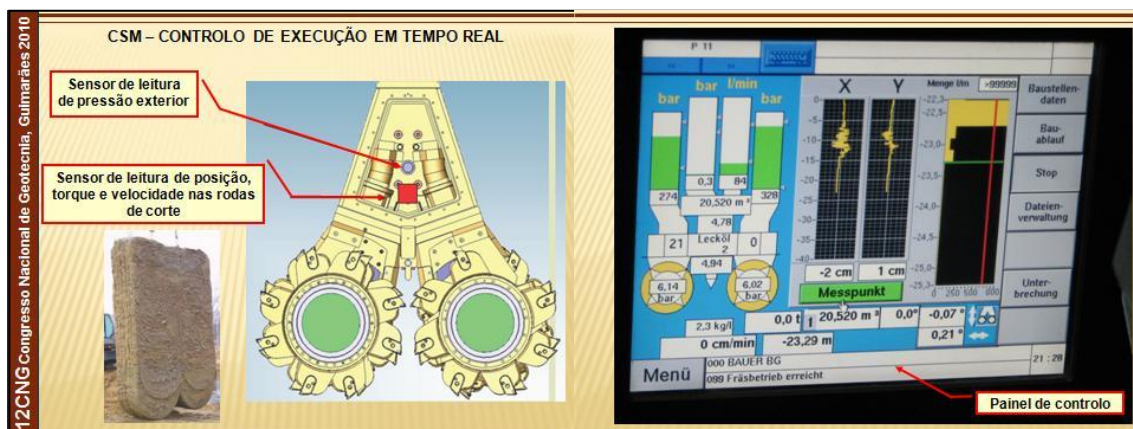


Figura 8 – Controlo de execução, em tempo real, associado à tecnologia de CSM

Ainda no âmbito da tecnologia de CSM destaca-se a capacidade de controlo de execução rigoroso por parte do equipamento, o qual permite monitorizar e corrigir, em tempo real, parâmetros como o avanço das rodas de corte, a injeção do ligante e a verticalidade do painel, caso haja algum desvio durante a execução deste. A referida monitorização é possível em qualquer fase das operações de avanço das rodas de corte, dispondo o manobrador do equipamento de um completo painel de instrumentos, o qual permite um controlo automático de todos os parâmetros de furação, injeção de fluidos e mistura do ligante (figura 8).

Refere-se que como forma de controlo da qualidade da execução, em particular a confirmação dos parâmetros de resistência e de deformabilidade dos painéis de solo - cimento, foram recolhidas amostras destes imediatamente após a sua execução e carotes durante a escavação interior dos poços, as quais serviram para a realização de ensaios que confirmaram, em geral, a obtenção dos parâmetros definidos na fase de projecto.

3.2 Fundações dos órgãos hidráulicos interiores

As fundações dos órgãos hidráulicos construídos no interior dos poços foram materializadas por uma laje de fundo em betão armado, com espessura de 0,35m, solidarizada nos bordos à cortina periférica de painéis de solo – cimento armados, e que funcionou igualmente como elemento de fundação dos sistemas de apoio à microtunelacção (figura 9). A eventual necessidade de pregar esta laje ao maciço de fundação não se veio a confirmar, em virtude da reduzida afluência de água ao interior da escavação, controlada através de dispositivos de bombagem convencionais.

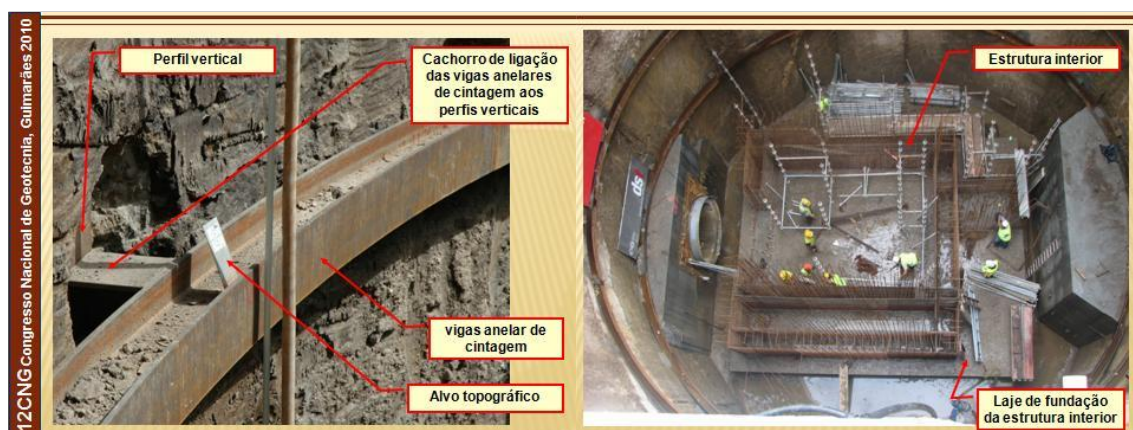


Figura 9 – Ligação das vigas de cintagem aos perfis verticais e vista da execução da estrutura interior

4 DIMENSIONAMENTO

O comportamento de todos os elementos integrantes das estruturas de contenção dos poços, em termos de esforços e de deformações, foi analisado, para todas as fases construtivas, através de programas de elementos finitos vocacionados para o efeito e devidamente interligados entre si.

Com o objectivo de avaliar as deformações e os esforços previstos para os elementos verticais da estrutura de contenção proposta, assim como a estimativa do caudal de água afluente ao interior do recinto da escavação, recorreu-se à modelação da geometria prevista, num programa de elementos finitos não lineares, especialmente concebido para este tipo de aplicações e que respeita o critério de rotura de Mohr-Coulomb, Plaxis Professional V9.02. Face à geometria circular dos poços, optou-se por um modelo axissimétrico, de forma a considerar devidamente o efeito das compressões circunferenciais nas estruturas de contenção dos poços (figura 10). Os terrenos interessados foram modelados a partir dos parâmetros já apresentados (figura 2).

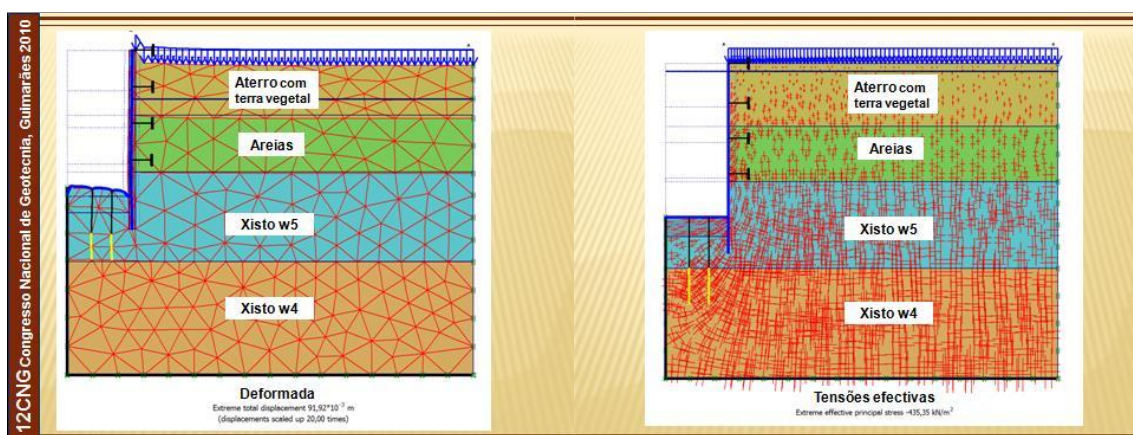


Figura 10 – Modelo de cálculo da contenção dos poços e principais resultados obtidos através do programa Plaxis Professional V9.02

De modo a avaliar o eventual desenvolvimento de esforços de flexão e/ou esforços de corte, ao nível das vigas de cintagem, devido à transmissão da carga circunferencial não ser realizada de forma contínua ao longo de toda a extensão das vigas, mas de forma discreta, ao nível dos diversos pontos de solidarização entre as referidas vigas e os perfis verticais existentes no interior dos painéis de solo – cimento (figura 9), realizou-se um modelo de cálculo complementar, recorrendo ao programa SAP2000 V.14, em que as cargas foram aplicadas de forma discreta.

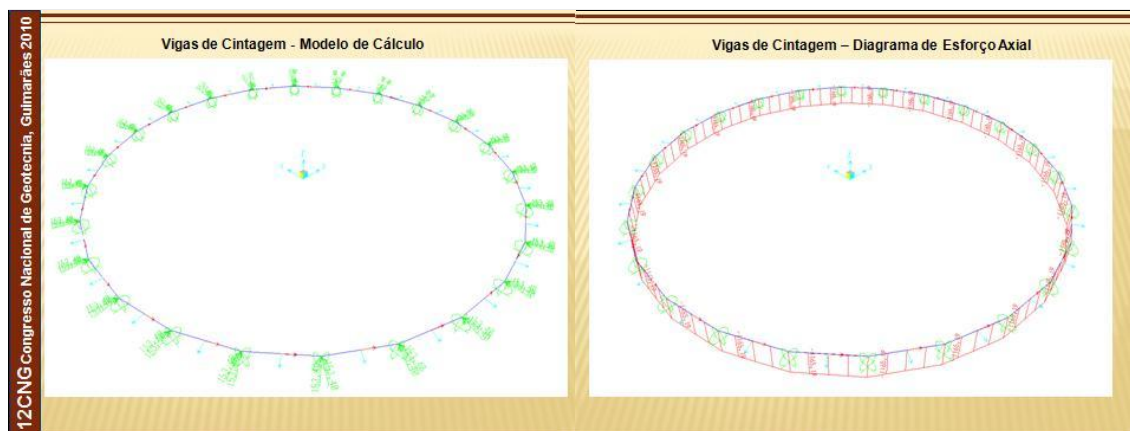


Figura 11 – Modelo de cálculo das vigas de cintagem dos poços e principais resultados obtidos através do programa SAP2000 V.14

5 PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Tendo por base o enquadramento da obra, assim como o carácter inovador do tipo de soluções de contenção adoptado, foi considerado como muito importante a implementação de um adequado Plano de Instrumentação e Observação (PIO), com o objectivo de assegurar a realização dos trabalhos em condições de segurança para a obra e para as estruturas e infraestruturas vizinhas, assim como a permitir a confirmação dos pressupostos assumidos na fase de Projecto. No âmbito descrito, foram instalados os seguintes aparelhos, em cada poço, definindo três secções de instrumentação, localizados aproximadamente a cada 120° (figura 3):

- 12 alvos topográficos (Al), nas vigas de coroamento e de cintagem, quatro por secção de instrumentação;
- 3 inclinómetros (I), a tardo da contenção provisória em painéis de solo - cimento e nas mesmas secções de instrumentação dos alvos.

Os aparelhos instalados foram lidos com uma periodicidade semanal durante os trabalhos de escavação e de construção da estrutura interna. A partir dos resultados dos cálculos realizados para o dimensionamento das soluções foram definidos critérios de alerta e de alarme, assim como medidas de reforço, caso os referidos critérios viessem a ser atingidos. Contudo, de acordo com os resultados das campanhas efectuadas, nenhum dos critérios foi atingido, comprovando a adequação das soluções propostas e implementadas. O valor máximo dos deslocamentos registados, na direcção horizontal, não excedeu os 10mm, tendo ocorrido a quando da fase final da escavação à cota do fundo da mesma escavação e foi praticamente coincidente com o estimado em fase de Projecto, através da modelação efectuada em regime axissimétrico com recurso ao programa Plaxis Professional V9.02 (figura 12).

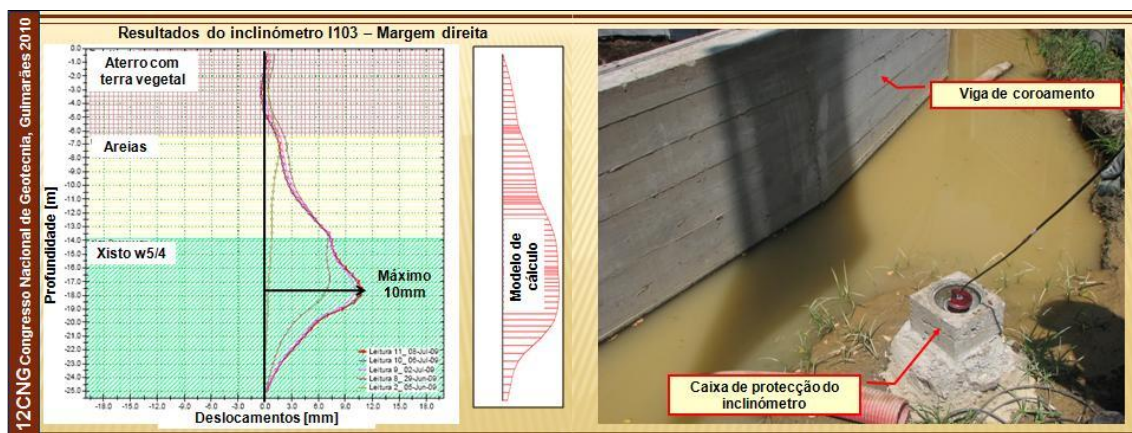


Figura 12 – Comparação entre os resultados obtidos através do inclinómetro I103 e do modelo de cálculo, recorrendo ao programa Plaxis Professional V9.02, e vista do inclinómetro no tardo da contenção

Como já referido, a instrumentação e observação do comportamento da obra foi ainda complementada pela recolha de carotes para a verificação da homogeneidade e da resistência dos painéis de solo – cimento, esta última aferida através da realização de ensaios de compressão uniaxial não confinada, com medição de extensões, de forma a aferir o valor da resistência à compressão e do módulo de deformabilidade (figura 13). Os resultados dos ensaios realizados confirmaram a obtenção dos valores de resistência e de deformabilidade estipulados no Projecto. Após a realização das carotes todos os furos foram devidamente selados.



Figura 13 – Vista da execução das carotes nos painéis de solo – cimento e do interior do furo de uma carote

6 PRINCIPAIS QUANTIDADES

As principais quantidades, associadas aos trabalhos descritos no presente artigo, encontram-se resumidas na figura 14.

Principais quantidades dos trabalhos de contenção provisória e de fundações dos poços	
Painéis de solo - cimento	2.055 m ²
Perfis IPE300	1.100ml
Betão C25/30	200 m ³
Aço A500 NR	2.800 kg
Escavação em solos e rocha alterada	5.800 m ³



Figura 14 – Principais quantidades e vista da execução dos painéis de solo – cimento através da tecnologia de CSM

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A solução de contenção periférica adoptada com recurso a tecnologia de painéis de solo – cimento, armados com perfis metálicos, realizados através da tecnologia de deep soil mixing, CSM, apesar de pioneira a nível nacional para as profundidades de escavação em causa, confirmou-se como uma solução, em geral, adequada ao complexo cenário geológico e geotécnico da obra descrita. Esta constatação é fundamentada, essencialmente, pelo cumprimento dos prazos e orçamentos estimados, assim como pelas reduzidas deformações e pela boa estanqueidade obtidas, situação muito difícil de conseguir no mesmo tipo de cenário e com custos equivalentes, através de soluções clássicas de contenção periférica (figuras 15 e 16). Destaca-se ainda o facto da solução de CSM, ao contrário da maioria das soluções clássicas, permitir, pela sua versatilidade em termos de capacidade de furação, o atravessamento em manobra única de vários tipos de materiais, desde aterros heterogéneos, passando por materiais arenosos saturados, até ao maciço rochoso medianamente a muito alterado, com vantagens económicas e de prazo.

Considera-se ainda importante sublinhar que a mesma solução foi implementada, com igual sucesso, em obras semelhantes de atravessamento de rios em Jolda, Santar e Vilar de Mouros neste último local poços de secção rectangular, no âmbito do mesmo Subsistema de Águas de S. Jorge.

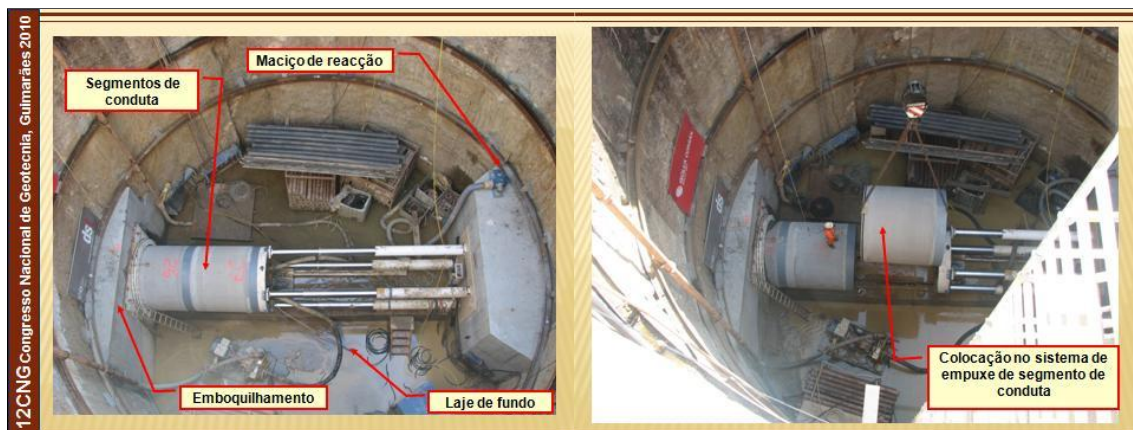


Figura 15 – Vista da colocação dos segmentos de tubo que materializam a conduta no sistema de empuxe no interior do poço de montante (margem esquerda)



Figura 16 – Vista da chegada e da remoção da microtuneladora do interior do poço de jusante (margem direita)

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dono de Obra, empresa “Águas do Minho e Lima”, a permissão para a publicação da presente comunicação. Consideram ainda importante sublinhar que as soluções implementadas resultaram de um trabalho de equipa, no âmbito do qual deve ser destacado o papel importante do consórcio constituído pelas empresas DST e Isolux Corsan, assim como da empresa “Georumo – Tecnologia de Fundações S.A.” no desenvolvimento dos trabalhos de deep mixing - CSM.

REFERÊNCIAS

- Simon, B. (2009) *Projet national de recherche et developpement. Amelioration des sols par inclusions verticales rigides*. Travaux nº862, pp. 65-72.
- Wheeler, P. (2009) *Soil-Mix Piles. Mix Factor*. European Foundations. Autumn 2009, pp. 10-11.