

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/203

## Escavação e Contenção Periférica com Elementos de Suporte Passivos de Carácter Definitivo na Base de Encosta

Catarina Fartaria

Engenheira Geotécnica, JETsj Geotecnia, Lisboa, Portugal, cfartaria@jetsj.com

Alexandre Pinto

Sócio-Gerente, JETsj Geotecnia, Lisboa, Portugal, apinto@jetsj.com

**RESUMO:** O presente artigo visa descrever as soluções implementadas para a realização da escavação, com uma altura máxima de 20m, para materialização dos pisos enterrados de um novo edifício de grande porte localizado na base de uma encosta em Leiria, Portugal. A realização de obras de escavação e contenção periférica para materialização de caves de edifícios em meio urbano, utilizam habitualmente elementos de suporte horizontal de carácter provisório sendo, em fase definitiva, o equilíbrio horizontal assegurado pela estrutura do edifício. No presente caso, em particular no alçado da escavação adjacente à encosta, os primeiros dois pisos enterrados correspondem a um logradouro o que determinou a necessidade de implementar medidas de travamento que com carácter definitivo. Neste enquadramento, o suporte horizontal da contenção em cortina de estacas foi materializado por tirantes pré-esforçados provisórios nas contenções que futuramente serão travadas pelo edifício enquanto nos primeiros níveis de travamento da contenção adjacente à encosta foram instalados tirantes passivos que terão carácter definitivo. A materialização dos referidos elementos, considerando as exigências de durabilidade para a vida útil da obra, teve lugar com a instalação de barras de 50mm de diâmetro com até 28m de comprimento e com dupla proteção contra a corrosão, alcançada pelo embainhamento do tirante com uma bainha corrugada e posterior injeção no seu interior com calda de cimento. A materialização da selagem dos referidos tirantes com 6m de comprimento é realizada utilizando um sistema multiválvulas e uma injeção do tipo seletiva e repetitiva. Serão apresentadas as soluções implementadas e analisado o comportamento da contenção durante os trabalhos de escavação no âmbito do Plano de Instrumentação e Observação implementado, o qual se veio a revelar como crucial na gestão do risco geotécnico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Escavação Profunda, Contenção Periférica, Estacas Moldadas, Tirantes Passivos

**ABSTRACT:** These abstract aims to describe the retaining wall deep excavation solutions with a maximum height of 20 m, to materialize the buried floors of a new building located at an hill base in Leiria, Portugal. Usually, the retaining wall solutions in urban areas use constructive horizontal supports that can be latter be uninstalled while the horizontal support is ensured by the building structure bellow soils surface. In the present scenario, the retaining wall located at the hill base needs to support earth pressures at the first two levels permanently, since the building is adjacent to the retaining wall only in the three deeper levels. Thus, while the general horizontal support is achieved using temporary ground anchors, the horizontal support of the two first levels use 50mm diameter tie rods as passive ground anchors, with lengths up to 28 m, and using a double protection against corrosion achieved by sheathing the tie rod with a sheath corrugated and subsequent injection inside with cement grout. The materialization of a 6 m bond length, for both tie rods and pre-stressed ground anchors, is accomplished using a multi-valve system and an IRS injection procedure. The implemented solutions will be presented and the retaining wall behavior during the excavations works analyzed within the scope of the Monitoring Plan which turned out to be crucial on the geotechnical risk management.

**KEYWORDS:** Deep Excavation, Retaining Wall, Bored Piles, Passive Tie Rods

## 1 INTRODUÇÃO

O presente artigo visa descrever as soluções de escavação e contenção periférica implementadas para a construção dos pisos enterrados de um edifício. O edifício em questão apresenta a particularidade de se localizar na base de uma encosta, havendo a necessidade de executar a escavação correspondente a 5 pisos enterrados no alçado adjacente à encosta e de apenas 2 pisos enterrados no alçado oposto (ver Figura 1). Habitualmente, as soluções de escavação e contenção que utilizam tirantes pré-esforçados são de carácter definitivo sendo o equilíbrio horizontal dos impulsos do solo equilibrado pelas lajes da estrutura definitiva. No presente caso, dada a presença de um logradouro na parte tardoz do edifício, a estrutura de contenção materializada na fase contrativa terá de equilibrar os impulsos do solo numa altura equivalente a dois pisos durante toda a vida útil da obra.

Para tal, dado que os tirantes pré-esforçados com carácter definitivo apresentam maiores exigências de monitorização e manutenção e, em consequência, maiores riscos associados, foram previstos, para o presente caso e para os dois primeiros níveis de travamento, tirantes materializados por barras de aço que mobilizam carga de forma passiva e que apresentam maiores garantias de durabilidade. Os três níveis de travamento inferiores foram realizados com recurso a tirantes pré-esforçados de carácter provisório, ao nível das lajes dos pisos enterrados que na fase definitiva irão assegurar o travamento horizontal definitivo.

Durante a realização dos trabalhos de escavação foi implementado um Plano de Monitorização que permitiu avaliar o comportamento da estrutura. Quando os trabalhos de escavação se encontravam próximos da cota final verificou-se a presença de comportamentos anómalos nas placas de cunhas dos dois primeiros níveis de tirantes ativos o que motivou o registo de maiores deformações da estrutura de contenção e maior incremento de carga nos restantes tirantes. Neste enquadramento, tendo sido ultrapassados os critérios de alerta estabelecidos no Plano de Monitorização e por forma a gerir o risco associado, foram preconizadas medidas de mitigação das deformações da contenção e alteração ao faseamento construtivo previsto para viabilizar os términos dos trabalhos de escavação em condições de segurança.

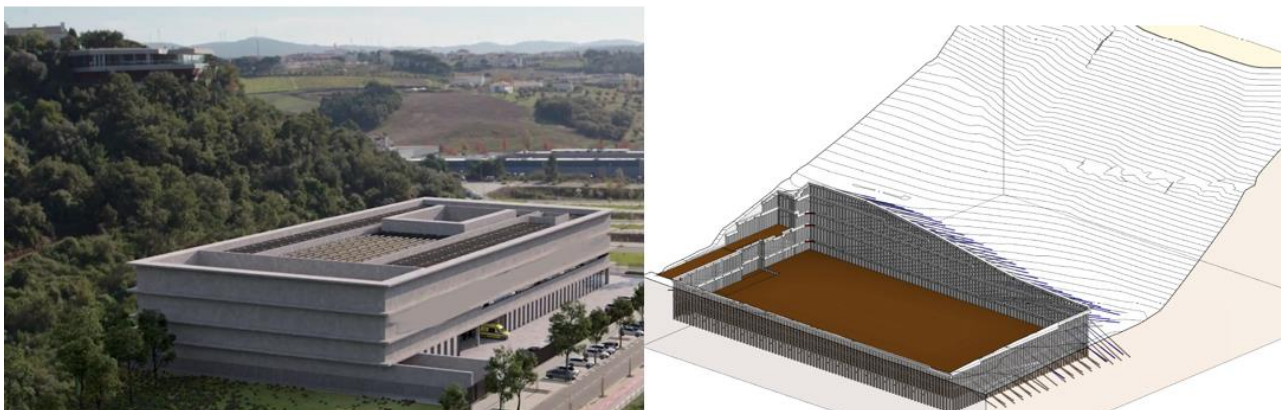


Figura 1. Representação gráfica do edifício (à esquerda) e representação gráfica da estrutura de contenção à direita).

## 2 CENÁRIO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

De acordo com a Folha 23-C (Leiria) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000 na área em estudo ocorrem Calcários dolomíticos e margas de Dagorda (J1 ab) datados do Jurássico (Hetangiano-Reciano). Próximo da área de estudo, a Poente, associado a um dos afluentes do rio Lis, o rio Lena, ocorrem depósitos modernos de aluviões (a) que se distribuem pela região de Leiria ao longo de outras linhas de água. Por sua vez, a Nascente, identifica-se na carta geológica o afloramento de Doloritos e Rochas Afins ( $\delta$ ). A Figura 2 apresenta a localização aproximada da área em estudo sobre o extrato da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.



Figura 2. Extrato da Carta Geológica de Portugal à Escala 1:50000 – Localização da área de intervenção.

Por forma aprofundar o conhecimento sobre as formações geológicas interessadas foi realizada uma campanha de prospeção a qual incluiu a realização de sondagens de reconhecimento, acompanhadas de ensaios SPT em profundidade e de ensaios laboratoriais. Os resultados da referida campanha serviram de base ao Estudo Geológico-Geotécnico no qual foram caracterizados do ponto de vista das suas propriedades geomecânicas os materiais interessadas assim como desenvolvidos os perfis de zonamento geológico-geotécnico que serviram de base ao desenvolvimento do projeto.

O referido estudo refere a presença em profundidade dos seguintes solos, do topo para a base: i) ZG3 - Aterro argiloso, arenoso e areno argiloso com elementos líticos da dimensão do seixo miúdo a grosseiro apresentando valores dos ensaios SPT entre 13 e 47 pancadas e uma espessura da ordem dos 2m a 3m; ii) ZG2 - Argilas avermelhadas com laivos acinzentados, identificadas como margas de Dagorda, e passagens mais arenosas, apresentando-se superficialmente com menor consistência ( $35 < SPT < 60$ ), de espessura variável entre 4,5m e 9,0m; iii) ZG1 - Argilas avermelhadas com laivos acinzentados, identificadas como margas de Dagorda, e passagens mais arenosas, apresentando-se com elevada consistência ( $SPT > 60$ ). A Figura 3 apresenta o perfil geológico-geotécnico caracterizado, verificando-se que a escavação do alçado localizado na zona mais elevada intersectará as três unidades geológico-geotécnicas identificadas.

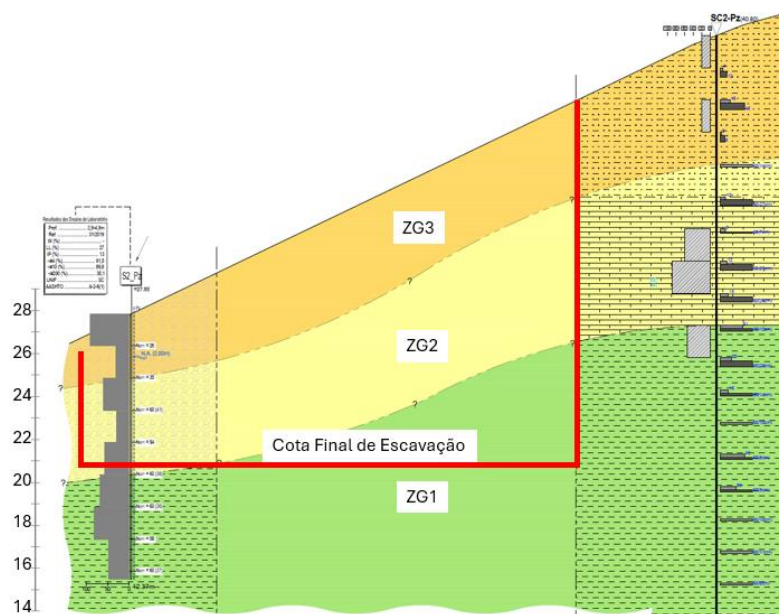


Figura 3. Perfil Geológico-Geotécnico – Limites da escavação.

No que diz respeito à parametrização geomecânicas das unidades identificadas, o referido estudo estimou os parâmetros que se apresentam na Tabela 1.

Tabela 1. Parametrização geomecânica dos solos interessados.

I.D	Descrição	NSPT	Peso Volúmico	Ângulo de Atrito (°)	Coesão (kPa)
ZG3	Depósitos de cobertura	6 a 45	17	25	-
ZG2	Margas (argila siltosa e argilito)	51 a 60	22	35	100
ZG1	Argila por vezes siltosa	>60	22	40	350

### 3 SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E DE CONTENÇÃO PERIFÉRICA

As soluções de escavação e contenção periféricas incluíram a realização de uma cortina de estacas em concreto armado (estacas  $\phi 600\text{mm}$  afastadas de 1,20m) em todo o perímetro da escavação. Durante os trabalhos de escavação a contenção do solo exposto entre estacas foi assegurada pela aplicação de um revestimento em concreto projetado armado no qual são instalados pontualmente geodrenos para mitigar a geração de impulsos hidrostáticos no tardo do concreto projetado encaminhando eventuais águas afluentes ao sistema de drenagem interno do edifício.

O travamento da estrutura de contenção é assegurado pela execução de vigas de distribuição ao nível dos vários pisos enterrados e tirantes pré-esforçados provisórios (6 cordões de pré-esforço de 0,60''), sendo apenas nos dois primeiros níveis de travamento da contenção, no alçado de maior desnível, que esse travamento é assegurado tirantes passivos do tipo barras GEWI com 50mm de diâmetro. Ambos os tipos de tirante se encontram selados na camada ZG1 ao longo de 6m de selagem materializada por um tubo multiválvulas e injeção repetitiva e seletiva (ver Figura 4).

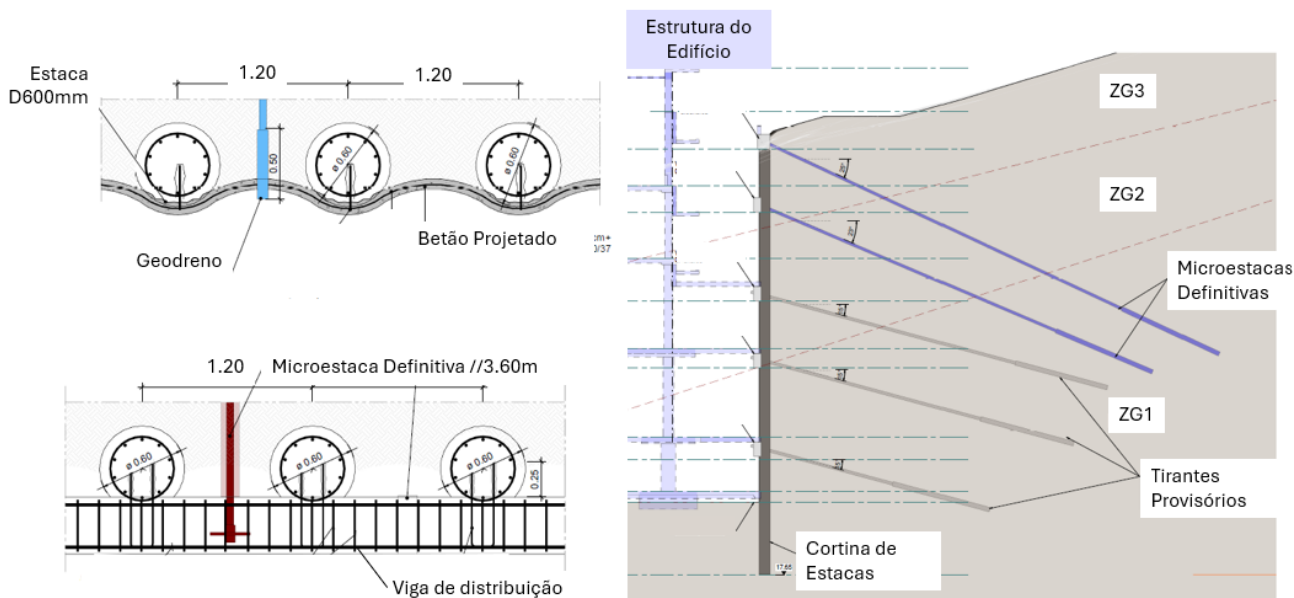


Figura 4. Seção transversal da estrutura de contenção na zona entre pisos e na zona da viga de distribuição (à esquerda) e Seção transversal na zona de maior desnível (à direita).

No que diz respeito aos tirantes passivos de carácter definitivo, foram utilizados sistemas certificados com dupla proteção contra a corrosão. A garantia de durabilidade é assegurada pela utilização de uma bainha corrugada em todo o comprimento para materializar uma pré-injeção com calda de cimento entre a barra de aço e a mesma que é realizada antes da instalação do elemento. A utilização de uma segunda bainha exterior de parede lisa, permite materializar o comprimento livre do tirante, assegurando que as cargas axiais serão transmitidas apenas ao nível do bolbo de selagem (ver Figura 5).

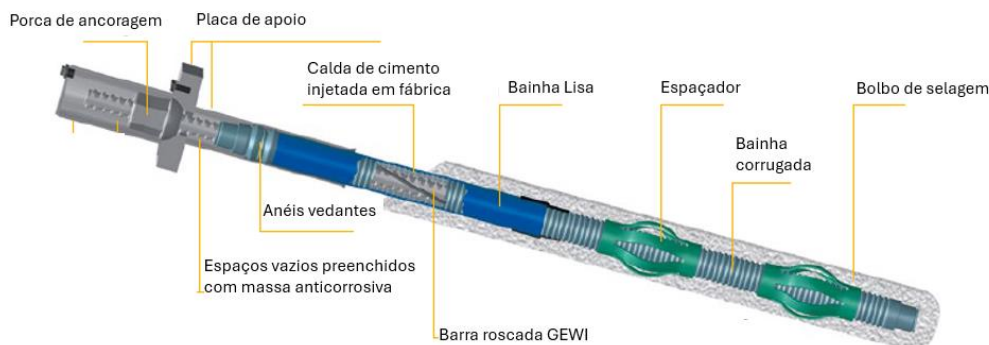


Figura 5. Sistema certificado de tirantes de carácter definitivo em barra de aço do tipo GEWI.

#### 4 PLANO DE MONITORIZAÇÃO

A implementação de um Plano de Monitorização, indispensável numa obra da complexidade da presente, é uma ferramenta fundamental na validação dos pressupostos de projeto e na gestão do risco da obra. Para a presente obra foram prescritos diversos dispositivos de monitorização incluindo; i) piezómetros para medição do nível freático; ii) inclinómetros para medição dos deslocamentos horizontais em profundidade; iii) prismas topográficos para medição dos movimentos planimétricos e altimétricos e iv) células de carga para medição da carga instalada nos tirantes pré-esforçados e nos tirantes passivos (ver Figura 6).

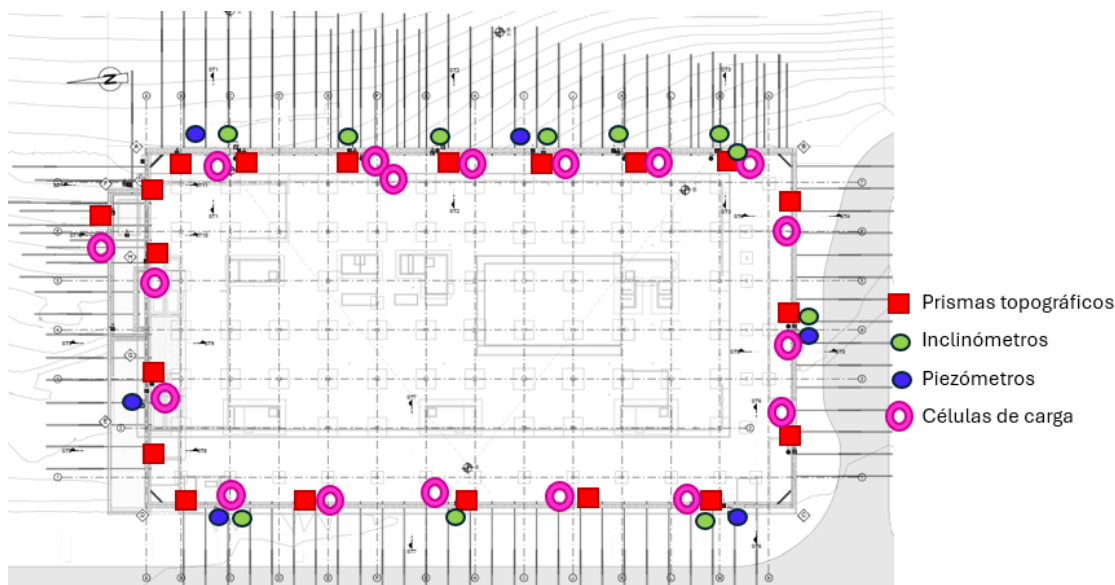


Figura 6. Localização em planta dos dispositivos de monitorização.

O projeto previu a realização de campanhas de leitura com periodicidade semanal e estabeleceu, para cada uma das grandezas a monitorizar, os critérios de alerta e de alarme a considerar no decorrer da obra no âmbito da avaliação do risco geotécnico.

No decorrer dos trabalhos de escavação as campanhas leituras que vinham sendo realizadas com uma periodicidade semanal, tendo sido identificado de forma gradual um aumento das grandezas a monitorizadas em particular um aumento das deformações da estrutura de contenção do alçado de maior desnível. As referidas deformações eram esperadas dado que os dois primeiros níveis de tirantes apenas entram em carga de forma passiva e, portanto, à custa de alguma deformação (ver Figura 7). Contudo, próximo da última etapa dos trabalhos de escavação identificou-se a presença de anomalias no sistema de cunhas dos tirantes pré-esforçados instalados nos níveis inferiores, motivadas pela utilização de materiais com desempenho não adequado, que determinaram a perda de carga em diversos tirantes e, conseqüentemente, conduzindo ao aumento das

deformações da estrutura de contenção (ver Figura 8). Este desempenho anômalo dos tirantes provisórios e pré esforçados, foi compensado pela excelente resposta dos tirantes passivos e de caráter definitivo.

Nessa altura, tendo os valores registados atingido o critério de alerta estabelecido em fase de projeto para algumas das grandezas, em particular nos inclinômetros e células de carga, foi analisado o risco geotécnico associado e decidida a necessidade de efetuar medidas de reforço e alterar o processo construtivo da obra.

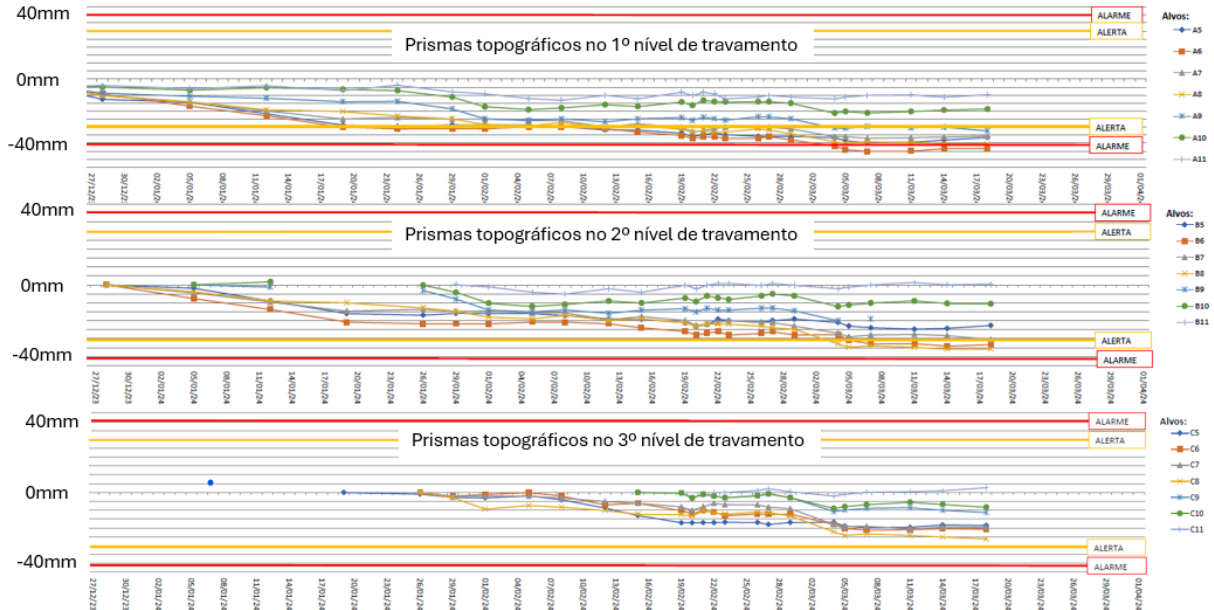


Figura 7. Movimentos horizontais no sentido do interior da escavação registados nos prismas topográficos instalados na estrutura de contenção.

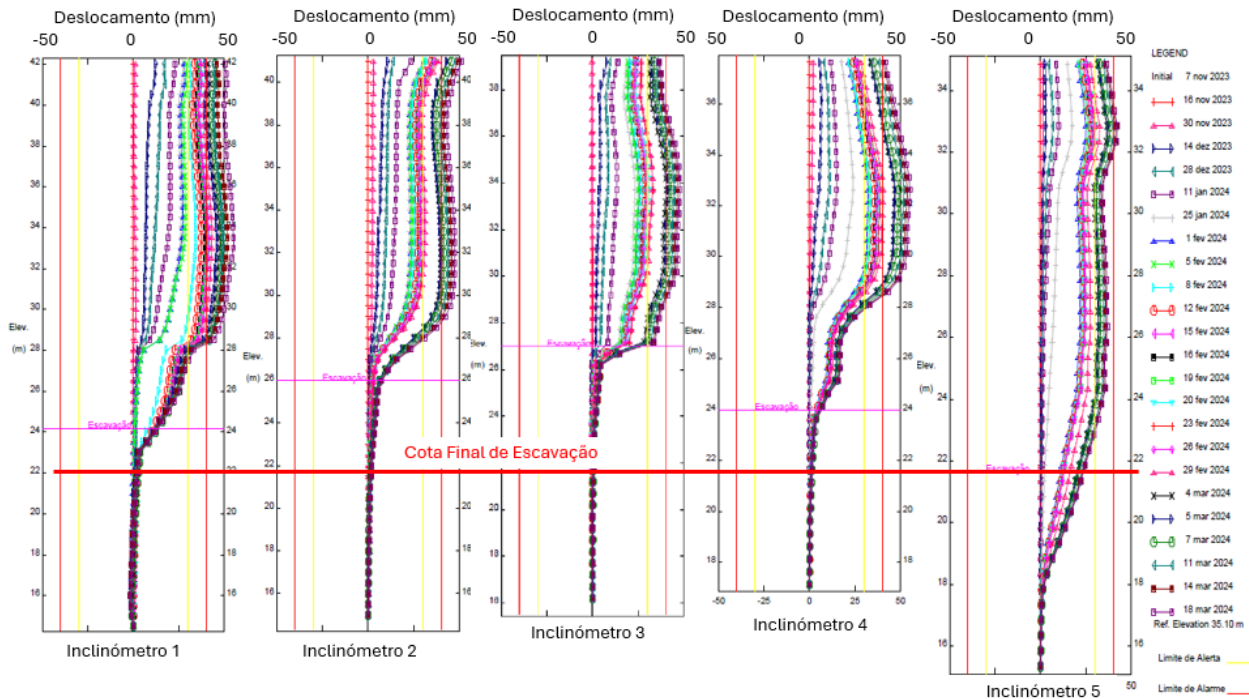


Figura 8. Movimentos horizontais no sentido do interior da escavação registados nos inclinômetros instalados na estrutura de contenção.

## 4 SOLUÇÕES DE REFORÇO

No enquadramento descrito no capítulo anterior, foram implementadas duas medidas por forma a mitigar o cenário de deformações excessivas que se verificava na estrutura de contenção no alçado de maior desnível.

A primeira medida, de implementação imediata correspondeu à realização de um aterro na base da estrutura de contenção até à cota do piso 0 (aterro com uma altura correspondente a dois pisos) com o objetivo de promover um maior impulso passivo ao nível da base da estrutura de contenção e ainda viabilizar a realização da segunda medida de mitigação do risco geotécnico (ver figura 8).

A segunda medida correspondeu à alteração do faseamento construtivo com a realização de uma solução em *top-down* parcial junto à contenção de maior desnível. Para tal, foi definida a execução de bandas de laje ao nível dos últimos dois pisos, betonadas contra o terreno, as quais poderão transmitir a carga horizontal por meio de escoramentos metálicos aos núcleos do edifício, sendo estes igualmente executados de forma antecipada (ver Figura 9). A solução determinou a necessidade de executar microestacas não previstas inicialmente, dispendo da função de apoio vertical provisório das bandas de laje, assim como fundação indireta dos núcleos para acomodar as cargas resultantes da utilização dos mesmos como apoio provisório da estrutura de contenção.



Figura 8. Vista da fase final de execução do aterro implementado como primeira medida de reforço.

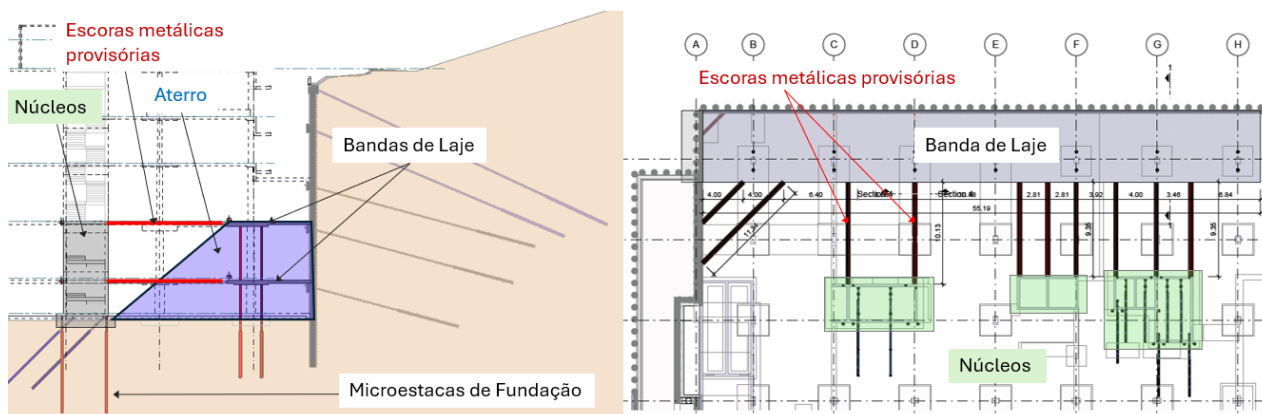


Figura 9. Medidas de reforço implementadas.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo visou mostrar as soluções de escavação e contenção periférica necessárias à escavação de 2 a 5 pisos enterrados para a execução de um edifício de médio porte localizado na base de uma encosta, com recurso a tirantes passivos de caráter definitivo. Na obra descrita o Plano de Monitorização, definido em fase de projeto para a validação dos pressupostos considerados e para a gestão do risco geotécnico associado, revelou-se particularmente eficaz na confirmação do excelente desempenho dos tirantes passivos de caráter definitivo e na identificação, em tempo útil, da presença de um cenário de risco associado ao deficiente comportamento das placas de cunhas dos tirantes provisórios, constituídos por cordões pré-esforçados. Esta obra comprovou que a solução em tirantes passivos, para obras de caráter definitivo, poderá ser uma alternativa real, em termos de redução de exigências de observação e de manutenção na fase de exploração, à solução convencional de tirantes ativos, desde que a rigidez axial dos tirantes passivos seja compatível com a mobilização de reduzidas deformações aquando da sua entrada em carga.

A implementação do Plano de Monitorização, que previa campanhas de leituras semanais desde o início dos trabalhos, foi ajustada para uma maior frequência durante a realização da substituição das placas de cunhas que apresentavam comportamento não adequado. O referido Plano, ajustado às medidas de reforço e alteração do faseamento construtivo, permitiu o controlo do comportamento da estrutura de contenção até ao final dos trabalhos permitindo a gestão do risco geotécnico associado, revelando-se uma ferramenta indispensável em obras geotécnicas, em particular em obras de escavação profunda.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CUF, Grupo José de Mello, a autorização para a redação do presente artigo. Destacam ainda que os trabalhos descritos foram realizados pelas empresas Alves Ribeiro, empreiteiro geral, e Ancopor, empreiteiro dos trabalhos de geotecnia. A fiscalização dos mesmos trabalhos foi, por sua vez, assegurada pela empresa CPM.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fartaria, C; Pinto, A.; Silva, C. (2021) *Soluções de Escavação e Contenção Periférica adotadas no Hotel Avedon, em Lisboa*. Apresentado no XVII Congresso Nacional de Geotecnia, novembro de 2021, Laboratório Nacional de Engenharia Civil - Lisboa, Portugal.
- Pinto, A.; Fartaria, C.; Pita, X.; Veloso, F. (2018) *Soluções de Escavação e Contenção Periférica em Meio Urbano – Edifício FPM41*. Apresentado no XVI Congresso Nacional de Geotecnia, maio 2018, Universidade dos Açores – Ponta Delgada, Portugal, publicado em CD, Tema 3 - Fundações, Escavações e Obras Subterrâneas. ST/CNG/2.3.