SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA ADOTADAS NO LIDL BELENENSES EM LISBOA

SOLUTIONS FOR A DEEP EXCAVATION FOR THE CONSTRUCTION OF LIDL BELENENSES IN LISBON

Henriques, André, *JETsj Geotecnia, Lda.,* Lisboa, Portugal, ahenriques@jetsj.com
Tomásio, Rui; *JETsj Geotecnia, Lda.,* Lisboa, Portugal, rtomasio@jetsj.com
Neto, Carlos; *Aníbal Oliveira Cristina Lda.*, Leiria, Portugal, carlos.neto@grupoaoc.com

RESUMO

No presente artigo são apresentadas as soluções de escavação e contenção periférica, necessárias à execução de 2 pisos semienterrados do empreendimento da nova loja Lidl Belenenses, localizado junto ao estádio do Restelo, com uma vista privilegiada sobre Belém e sobre o Tejo. A construção deste empreendimento requereu a execução de uma escavação do lote em cerca de 8 m, intersetando essencialmente formações da unidade do Cretácico e aterros recentes, decorrentes da construção do posto de abastecimento existente e do estádio. Por forma a possibilitar a escavação sem comprometer o bom funcionamento das zonas adjacentes, preconizou-se uma solução em talude com a execução de muros de contenção do tipo “Munique”, os quais, numa fase definitiva, irão servir de contenção de terras e acomodar a estrutura de pavimento da loja, composta por lajes “PI” pré-fabricadas. Estes muros, durante a fase provisória, serão travados com ancoragens e escoras metálicas. Tendo em conta a complexidade da geometria da estrutura, a qual se adapta à forma do estádio, e à necessidade de compatibilização do projeto de escavação com o de estruturas, optou-se por realizar este projeto através de ferramentas BIM, as quais possibilitam a conceção de um projeto com uma maior qualidade. Para além de alguns critérios de conceção adotados, são também apresentados os principais resultados do plano de instrumentação e observação proposto para a estrutura de contenção e infraestruturas vizinhas, os quais possibilitaram a adoção de soluções que permitiram minimizar o prazo da intervenção.

ABSTRACT

The present paper describes the solutions of excavation and peripheral retaining walls required for the construction of two semi-underground floors of the upcoming Lidl Belenenses store, located next to Restelo stadium with a privileged view over Belém and the Tagus River. The construction of this enterprise comprises an 8 m depth excavation intersecting mainly Cretacic soils and backfill, the latter due to the construction of a gas station and the nearby stadium. To perform the excavation without disturbing the surrounding area, a retaining wall solution was adopted using “Munich” technology, which will support the ground floor structure, composed of prefabricated “PI” slabs. In a provisional stage, these walls will be braced by anchors and steel struts. Given the complexity of the structure’s geometry and the need to reconcile both excavation and structural projects, the project was modeled using BIM tools, enabling the design of a higher quality project. In addition to the design criteria, the main results of the proposed instrumentation and observation plan for the retaining structure and the nearby infrastructures are also presented, which allowed to minimize the intervention period.

1. INTRODUÇÃO

No presente artigo descrevem-se as soluções de escavação e contenção periférica, necessárias à execução de 2 pisos semienterrados do empreendimento da nova loja Lidl Belenenses, localizado junto ao estádio do Restelo, com uma vista privilegiada sobre Belém e sobre o Tejo.

O edifício a construir apresenta uma área de implantação de cerca de 4800 m^2, delimitada pela linha a vermelho apresentada na Figura 1, e será composto por 3 pisos, sendo dois semienterrados e um último de cobertura ajardinada.

Figura 1 - Localização da nova loja Lidl junto às imediações do estádio do Belenenses

2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

2.1. Condicionamentos relativos à zona de implantação da obra

A zona de implantação da obra era ocupada maioritariamente por um parque de estacionamento, pelo posto de abastecimento de combustível da Repsol e por algumas infraestruturas pertencentes ao clube de futebol “Os Belenenses” (bilheteiras e edifício com posto de transformação), as quais necessitaram de ser removidas antes da execução dos trabalhos de escavação e contenção periférica.

2.2. Condicionamentos relativos às confrontações da obra

A área em estudo apresenta-se numa zona sem edificações vizinhas muito próximas, estando delimitada por algumas infraestruturas e arruamentos, as quais condicionaram as soluções de contenção desenvolvidas (Figura 2):

- A Norte encontra-se limitada, em todo o seu desenvolvimento, pelo estádio do Belenenses, destacando-se a proximidade das torres de iluminação do mesmo. Nesta mesma frente encontra-se também um arruamento muito próximo da zona de escavação, o qual se manteve transitável durante toda a execução da obra;

- A Sul encontra-se delimitada pela avenida do Restelo e pelo parque de estacionamento existente;
- A Este encontra-se delimitada pela rua dos Jerónimos e a avenida da Ilha da Madeira;
- A Oeste encontra-se delimitada pelo campo de futebol pertencente ao Belenenses e por uma escadaria de acesso às imediações do estádio, a qual teve que ser reposta após a execução dos trabalhos de escavação.

Figura 2 - Limitação da área em estudo. Da esquerda para a direita e de cima para baixo: vista Norte, vista Sul, vista Este e vista Oeste

As soluções propostas foram desenvolvidas com base neste enquadramento, prevendo-se um comportamento das soluções desenvolvidas compatíveis com as confrontações e infraestruturas existentes, durante e após a execução da escavação

2.3. Condicionamentos geológicos-geotécnicos

O reconhecimento geológico-geotécnico e hidrogeológico da área em estudo foi realizado através de duas campanhas de prospeção geotécnica, as quais contemplaram ao todo a execução de 7 sondagens mecânicas, acompanhadas de ensaios de caracterização *in situ* SPT.

De acordo com o relatório geológico-geotécnico da prospeção realizada em complemento com a carta geológica do concelho de Lisboa, identificou-se um ambiente geológico composto essencialmente por um substrato calcário, quer em estado rochoso como arenoso, com diferentes graus de alteração e fracturação, atribuído à unidade cretácea, designada na literatura de especialidade por “Formação da Bica” (C^2_{Bi}), recoberto por aterros contemporâneos (A_t).

A prospeção realizada permitiu identificar espessuras de aterro variadas entre 1.00 m e 5.50 m, associadas à construção do estádio, parque de estacionamento e posto de abastecimento. Estes materiais apresentam características heterogéneas, sendo maioritariamente compostos por areias siltosas revestido por pedra da calçada ou

pavimento betuminoso, elementos pétreos de basalto e calcário ou argamassa de dimensões variadas. Subjacente a estes depósitos de aterro surge um substrato da "formação da Bica", sendo este constituído por siltes argilosos em zonas mais próximas da superfície com N_{SPT} variáveis entre 11 e 32 pancadas, mas também por maciços rochosos em profundidade, mediamente a muito alterados e com carsificação generalizada, denotando um incremento gradual de resistência em profundidade. Esta formação possui alguma heterogeneidade em profundidade, apresentando quer rocha a partir de 3.50 m, quer terrenos de mediana capacidade até aos 8.50 m, com registos de N_{SPT} acima das 60 pancadas.

Apesar da zona de implantação da loja se localizar numa zona em vale, a prospeção realizada não encontrou qualquer nível de água, pelo que a estrutura de contenção não teve interferência no regime hidrogeológico local.

A análise do dispositivo geológico-geotécnico resultante da campanha de prospeção permitiu individualizar 4 horizontes geotécnicos, com base na caracterização macroscópica da amostragem recolhida através das sondagens. No Quadro 1 apresentam-se os parâmetros geomecânicos adotados na modelação do comportamento das diferentes zonas geotécnicas consideradas.

Quadro 1 - Parâmetros geomecânicos dos horizontes geotécnicos identificados

Horizonte geotécnico	Formação	N_{SPT}	γ (kN/m^3)	c' (kPa)	ϕ' (º)	Es [MPa]
ZG1A	Maciços calcários alterados	>60	21.0	30	33	100
ZG1B	Maciços calcários muito alterados	>60	19.0	20	30	75
ZG1C	Calcários decompostos	11-32	18.0	5	27	30
ZG2	Aterro	<10	17.5	-	26	5

3. SOLUÇÕES PROPOSTAS

Na conceção das soluções preconizadas no âmbito da presente obra procurou-se, para além da necessária contenção dos terrenos a escavar, respeitar os seguintes pressupostos de base:

- Controlar as deformações nos terrenos e infraestruturas envolventes à escavação, permitindo ainda a fácil adaptação da solução a eventuais singularidades de natureza geológica e geotécnica;
- Procurar garantir facilidade, rapidez e segurança de execução;
- Definir soluções com o maior equilíbrio técnico-económico, integrando para tal e sempre que viável, os elementos necessários para a fase provisória na solução da fase definitiva.

Tendo em conta os condicionamentos existentes, em particular topográficos, geológicos-geotécnicos e de ocupação de vizinhança, preconizou-se para a generalidade dos trabalhos de contenção periférica, a adoção de uma solução em talude com a e execução de muros tipo "Munique" travados por ancoragens e escoras metálicas, numa fase provisória, e pela estrutura do pavimento da loja, composta por lajes "PI" pré-fabricadas, numa fase definitiva. Esta solução foi concebida para as zonas

1, 2 e 3, correspondendo estas à implantação da nova loja Lidl e à nova escadaria de acesso ao estádio e à cobertura ajardinada.

Para as zonas 4 e 5 de acesso ao estádio preconizou-se a realização de um muro de betão armado em consola apoiado em microestacas para compatibilização dos arranjos exteriores com o estádio do Belenenses.

Apresenta-se na Figura 3 a identificação das diversas zonas de escavação na zona de implantação da nova loja Lidl.

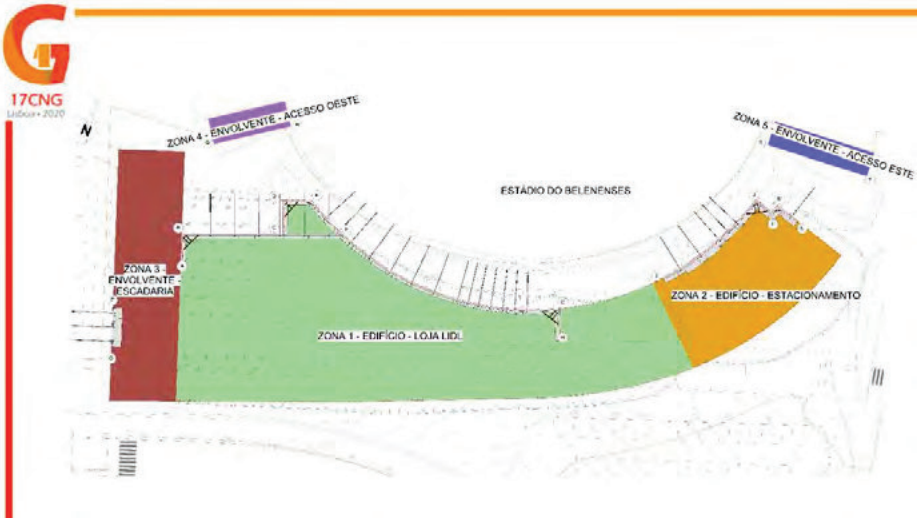

Figura 3 - Divisão das zonas de escavação e contenção periférica da loja Lidl e envolvente

3.1. Zona 1, 2 e 3 – Contenção do tipo muros de "Munique"

A solução em causa apresenta uma grande versatilidade e tem como principal vantagem o facto de permitir executar, durante a escavação, a parede definitiva, podendo o número de travamentos, ser redefinidos em fase de obra, em função das reais características dos terrenos escavados, assim como dos resultados do plano de instrumentação e observação proposto. Esta tecnologia consiste na execução, de cima para baixo, de uma parede em betão armado constituída por painéis primários e secundários, os quais se encontram suportados por microestacas provisórias executadas antes do início dos trabalhos de escavação. A estabilidade da parede face aos impulsos do terreno e sobrecargas é garantida, na fase de escavação, pela colocação de elementos provisórios como ancoragens e escoras metálicas nos cantos e, na fase definitiva, pelas lajes da própria estrutura.

No presente caso definiu-se uma parede com uma espessura teórica mínima de 40 cm, permitindo assim acomodar o apoio das "lajes PI" pré-fabricadas, assim como o apoio dos pilares pré-fabricados de betão. Os painéis constituintes da parede de contenção apoiaram provisoriamente em microestacas verticais com secção tubular, em aço de alta resistência N80 (API 5A) de perfis Ø 88,9x7.5 mm e Ø 88,9x9.0 mm e, embebidas no interior da parede. Estes elementos foram colocados em furos de 6" (150 mm) de diâmetro e selados, através de injeção repetitiva e seletiva (IRS) com válvulas antirretorno e obturador duplo, no comprimento correspondente ao bolbo de selagem, localizado abaixo da cota final de escavação, no substrato competente ($N_{SPT} \geq 60$) e

geologicamente estável. Foram obtidos bolos de selagem de 3 e 4 m (*Bustamante e Doix*, 1985).

Foram preconizados um a dois níveis de travamentos, consoante a altura de escavação e as zonas geotécnicas no tardoz, materializados por escoras metálicas e ancoragens (Figura 4). As escoras metálicas foram materializadas por perfis do tipo HEB180 e HEB200 de aço S275 e as ancoragens, constituídas por 4 cordões de 0,60", foram definidas para um pré-esforço útil de 350 e 450 kN. Estes elementos foram também inseridos em furos de diâmetro 6" (150 mm) de diâmetro e selados, através de injeção repetitiva e seletiva (IRS) com válvulas antirretorno e obturador duplo, no comprimento correspondente ao bolbo de selagem de 5 m, localizado no substrato competente (N_{SPT} ≥ 60) e geologicamente estável.

Figura 4 - Execução da solução do tipo muros de "Munique"

Em conjunto com este tipo de solução, preconizou-se também, nas zonas onde não havia interferências com infraestruturas, uma solução em talude de escavação (Figura 5). A geometria dos taludes proposta regeu-se por inclinações do tipo 2/3 (V/H) por forma a verificar a estabilidade da mesma.

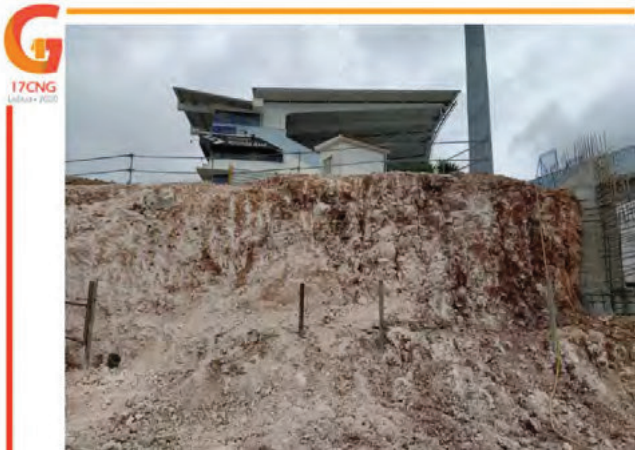

Figura 5 - Solução em talude e microestacas para a execução da solução do tipo muros de Munique

4. DIMENSIONAMENTO

De forma a analisar comportamento da estrutura de contenção no que se refere a esforços e deformações, foi utilizado o programa de elementos finitos *Plaxis 2D*, particularmente vocacionado para o efeito, simulando todas as fases construtivas. Para efeitos de modelação do terreno foram utilizados os parâmetros apresentados no Quadro 1.

A análise desenvolvida consistiu no estudo de secções tipo consideradas como representativas e mais condicionantes, com o intuito de avaliar as deformações, estados de tensão, esforços nos elementos constituintes da solução e a estabilidade da escavação a conter, bem como estimar os incrementos de deformação em estruturas e infraestruturas vizinhas à escavação.

Apresenta-se na Figura 6 uma das secções tipo modeladas e os resultados das deformações horizontais no tardoz da contenção para a fase final da contenção em que já estariam executados os dois níveis de ancoragens. A deformação horizontal máxima na última fase de escavação é de 8.4 mm sendo este um valor perfeitamente compatível com o bom desempenho de todas as estruturas e infraestruturas vizinhas para uma contenção com cerca de 8 m de altura.

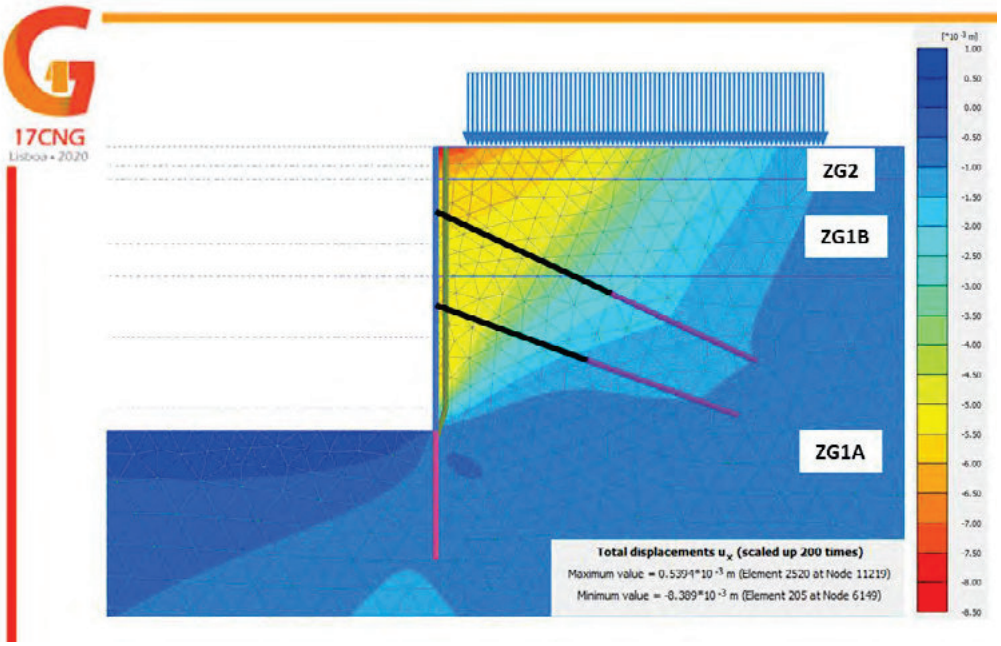

Figura 6 - Modelação da secção tipo da contenção periférica e deslocamentos horizontais na fase final da escavação

5. UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM

Tendo em conta a complexidade geométrica da estrutura, a qual se adapta à forma do estádio, e à necessidade de compatibilização logo em fase de projeto das diversas especialidades, optou-se pela produção de projeto e compatibilização/coordenação em ambiente BIM, utilizando ferramentas fornecidas pela *Autodesk*, nomeadamente o *Revit* para modelação dos elementos, e o BIM360 para compatibilização das especialidades.

O uso deste tipo de ferramentas mostrou-se muito valioso na medida em que foi possível dois tipos de construção (pré-fabricada e *in situ*) interligarem-se harmoniosamente, para que, na fase de execução da obra, não surgissem praticamente erros de compatibilização.

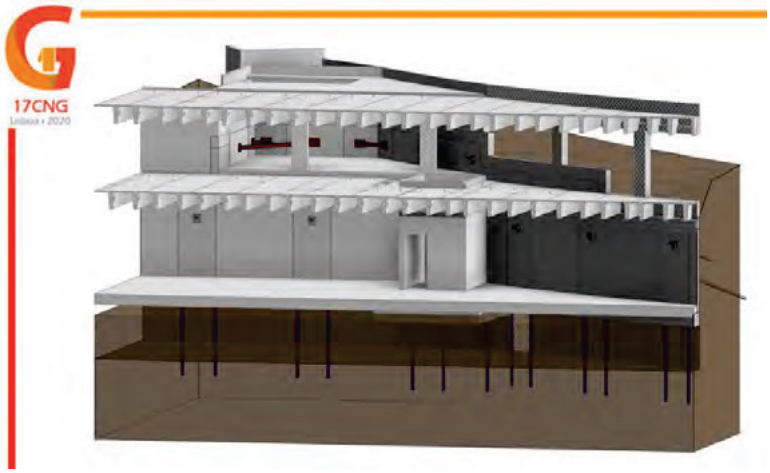

Figura 7 - Compatibilização dos projetos de escavação e contenção periférica e de estruturas

Na Figura 7 é possível verificar a interligação entre os elementos pertencentes à estrutura provisória e definitiva, nomeadamente no que diz respeito à localização dos elementos de travamento das paredes (escoras e ancoragens), os quais não interferem com os elementos da estrutura pré-fabricada (lajes PI e pilares).

6. PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Tendo por base o enquadramento da obra, e conforme prática corrente neste tipo de intervenções, foi definido um plano de instrumentação e observação com o objetivo de garantir a realização, em condições de segurança e de economia, dos trabalhos relativos à escavação e à construção das estruturas de contenção, assim como a análise do comportamento das estruturas e infraestruturas vizinhas durante a execução desta fase de obra. Neste enquadramento, foram propostos os seguintes aparelhos, definindo, sempre que possível, seções de instrumentação:

- 13 alvos topográficos, distribuídos pelos vários alçados da contenção periférica e pela fachada do estádio do Belenenses e torres de iluminação;
- 1 célula de carga, para aferição da carga instalada numa ancoragem;
- 4 inclinómetros, distribuídos pelos vários alçados da contenção periférica;
- 1 sismógrafo com localizações variáveis para aferição de vibrações nas construções vizinhas, durante os trabalhos de escavação em rocha.

Com base na modelação realizada através do programa de elementos finitos citado, foram definidos os critérios de alerta e de alarme para todos os aparelhos e para todas as estruturas e infraestruturas monitorizadas. Foram igualmente definidas medidas de reforço, caso os referidos critérios viessem a ser ultrapassados.

Os resultados obtidos permitiram comprovar a adequação das soluções implementadas e dos parâmetros geomecânicos considerados na modelação das mesmas soluções. O plano de instrumentação e observação permitiu ainda identificar que os terrenos intersetados, em algumas zonas, correspondiam a um maciço rochoso com

características melhores que as definidas em projeto, possibilitando assim a redução do número de travamentos a realizar, a realização de taludes com uma maior inclinação e a abertura de painéis da parede de contenção de maiores dimensões, sem comprometer a estabilidade da escavação e das infraestruturas vizinhas.

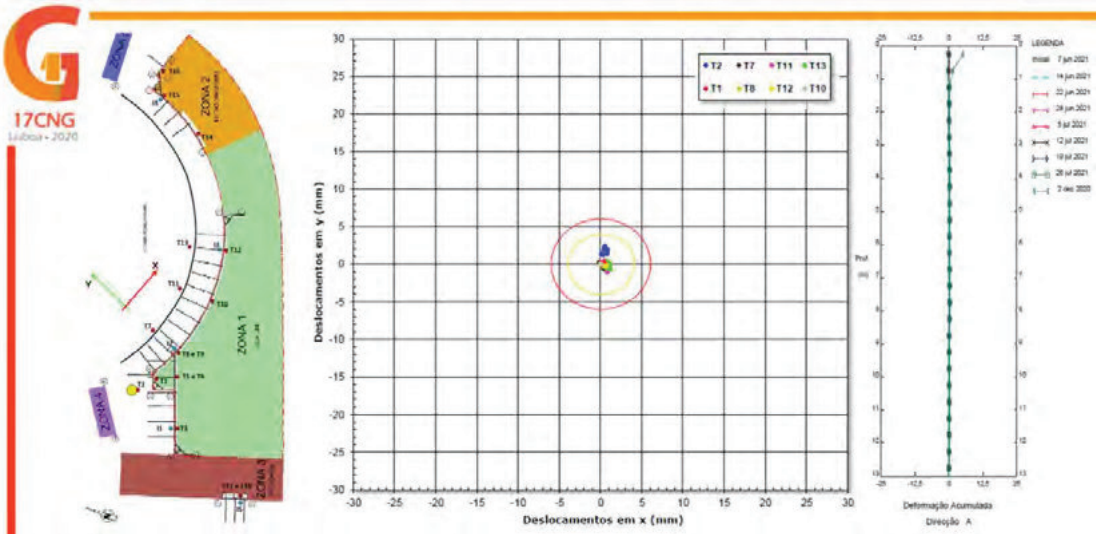

Figura 8 - Resultados da instrumentação da obra de escavação (alvos topográficos e inclinómetro I1)

Pela análise dos resultados da instrumentação da obra apresentados na Figura 8 é possível constar que todos os alvos topográficos instalados apresentam deformações em x e em y inferiores aos critérios de alerta e alarme definidos e que a deformação horizontal medida no topo do inclinómetro I1 de cerca de 6 mm é perfeitamente compatível com o bom desempenho de todas as estruturas e infraestruturas vizinhas.

As medições das vibrações resultantes do desmantelamento de rocha apresentam-se inferiores ao limite de alarme, sendo que, na sua maioria, os valores ficam abaixo do limite de alerta (Figura 9). Os dois valores de velocidade de pico superiores ao limite de alarme são atribuídos a erros relacionados com o aparelho, pelo que deverão ser desconsiderados.

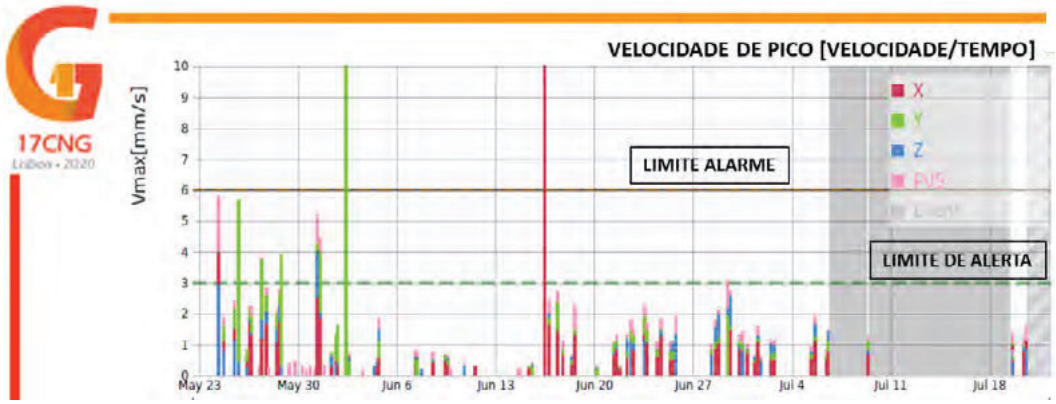

Figura 9 - Resultados da instrumentação da obra de escavação (medição da vibração pelo sismógrafo)

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo em questão pretende apresentar vantagens do uso da tecnologia de muros de Munique para a execução de contenções periféricas de escavações, em especial a sua versatilidade e adaptabilidade às condições reais da obra. Este tipo de solução permite a realização de alterações à solução inicialmente preconizada, no que diz respeito à painelização e ao número de travamentos provisórios a realizar, reduzindo a prazo de intervenção e, consequentemente, o seu custo.

Ainda, de salientar que o uso de ferramentas BIM em projetos de escavação e contenção periférica é crucial no desenvolvimento de um projeto mais completo, com menos erros e, consequentemente, com uma maior qualidade final em obra. Esta ferramenta permite aos projetistas compreender de uma forma mais simples a estrutura como um todo, bem como de ter em atenção todos os pormenores, nomeadamente no que diz respeito à compatibilização com as restantes especialidades.

Por último, no contexto do imprescindível acompanhamento de uma obra com as características da presente, destaca-se o papel do plano de instrumentação e observação proposto, como ferramenta pró-ativa na implementação atempada de medidas que possam assegurar a execução e manutenção da obra em condições de segurança e de economia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Lidl Portugal a autorização para a redação e publicação do presente artigo. Consideram ainda importante sublinhar que as soluções implementadas resultaram de um trabalho de equipa, no âmbito do qual deve ser destacado o papel importante das empresas: AOC, empreiteiro geral e responsável pela coordenação das diversas especialidades envolvidas no projeto, Geosol, empreiteiro dos trabalhos de geotecnia e Concremat, autora do projeto de estabilidade da estrutura pré-fabricada.

REFERÊNCIAS

Bustamante, M. e Doix, B. (1985). Une méthode pour le calcul de tirants et des micropieux injectés. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, Ministère de L'Équipement, du Logement, des Transports et de la Mer, Paris. nº140, pp.75-92.