

## Soluções de fundação perto do rio Trancão, em Lisboa

Inês Braz

Engenheira Civil, JETsj, Lisboa, Portugal, [ibraz@jetsj.com](mailto:ibraz@jetsj.com)

Alexandre Pinto

Engenheiro Civil, JETsj, Lisboa, Portugal, [apinto@jetsj.com](mailto:apinto@jetsj.com)

Miriam Lopes

Engenheira Civil, JETsj, Lisboa, Portugal, [mlopes@jetsj.com](mailto:mlopes@jetsj.com)

**RESUMO:** No presente artigo são apresentadas as soluções implementadas para as fundações do palco instalado no Parque Tejo, perto do Rio Trancão, em Lisboa, para a missa papal, no âmbito do evento Jornadas Mundiais da Juventude 2023. O palco localiza-se sobre um aterro de resíduos sólidos urbanos que se encontra selado superiormente através de uma geomembrana de PEAD, o que condicionava, numa fase inicial, o recurso a soluções de fundações indiretas. Subjacente aos depósitos de resíduos sólidos urbanos, localiza-se a formação aluvionar composta por solos lodosos muito compressíveis, com fracas características mecânicas, com espessura variável, atingindo os 12m, por sua vez, repousando sobre o substrato Miocénico. De modo a diminuir a amplitude de deslocamentos diferenciais que pudessem condicionar a boa utilização do palco, foi realizado um aterro de pré-carga com tempo de permanência de 3 meses. Para as fundações da cobertura do palco, devido à necessidade de transmitir cargas de tração ao terreno motivadas pela ação do vento, foi adotada uma solução de microestacas cravadas tubulares em ferro fundido dúctil, reforçadas interiormente com uma microestaca de varão, do tipo auto perfurante, devidamente selada no substrato Miocénico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aterro de Pré-Carga, Microestacas Cravadas, Microestacas Autoperfurantes, Fundações.

**ABSTRACT:** This paper describes the foundations solutions of a stage that was installed at the Tejo Park, near the Trancão river in Lisbon, for the papal mass during the World Youth Day 2023. The stage is located over an urban solid waste landfill, sealed at the upper face by a PEAD geomembrane, which brought restraints to the use deep foundations solutions at an early stage. Underlying the urban solid waste landfill, is an alluvial layer with 12m of maximum thickness, with very compressible soils, resting over the Miocene bedrock. To reduce the amplitude of differential settlements that could impact the stage performance, a preload landfill was carried out, to minimize the settlements that could occur at the time of the papal mass. Due to the wind tension loads to be transmitted to the foundations, the solution for the stage cover foundation was defined with driven ductile iron micropiles pipes at the urban solid waste landfill and alluvial layers, reinforced with self-drilling rod in the center, sealed at the Miocene bed rock.

**KEYWORDS:** Preload Landfill, Ductile Iron Driven Micropiles, Self-Drilling Micropiles.

### 1 INTRODUÇÃO

Tendo em conta a localização das estruturas a executar e os vários condicionamentos relacionados com o solo de fundação, foi necessário proceder à execução de um aterro de pré-carga no local em que o palco dispunha de fundações diretas e proceder à realização de ensaios de carga de microestacas cravadas, reforçadas com varão autoperfurante no seu interior, de modo a validar a solução de fundações das estruturas mais pesadas – cobertura e zona traseira do Palco (a sul). O recinto onde se realizou o evento dispõe de cerca de 38 hectares e apresenta uma forma sensivelmente retangular, orientado no sentido Norte-Sul, com aproximadamente 770 m de comprimento e 603 m de largura. Durante a missa papal acomodou cerca de um milhão de pessoas.

Este lote confina a Norte com o arruamento público - Rua Roald Amundsen e Passeio do Trancão, a Sul com o arruamento público - Rua Chen Ho, e a Oeste com o arruamento público - Passeio dos Heróis do Mar, todos estes que permitem o acesso tanto pedonal como de veículos ao interior do mesmo. Do lado Este o

terreno confina com o Rio Tejo - que permite o acesso pedonal ao interior do mesmo através do passadiço existente (Passeio do Sapal).

Na Figura 1 apresenta-se, a vermelho, o local de implantação do palco.



Figura 1 - Vista aérea do local. Google Earth.

## 2 PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

### 2.1 Condicionamentos geológicos e geotécnicos

A área alvo de intervenção localizava-se numa área baixa e plana, na margem direita do estuário do rio Tejo. O palco foi fundado sobre o aterro sanitário de Beirolas, constituído por depósitos de solos contaminados e de resíduos urbanos, localizados, por sua vez, sobre uma camada de aterro heterogéneo, contendo materiais silto-argilosos misturados com areia e entulho, de origem artificial. Com a aproximação ao rio, a espessura do aterro sanitário reduz-se, até desaparecer na zona abrangida pela maré. Subjacente à camada de aterro, surge a formação aluvionar composta por solos lodosos compressíveis, com espessura muito variável na área do aterro sanitário de Beirolas. Na zona do Palco, a profundidade dos solos lodosos aumenta em direção ao rio de 2m até 25m, sendo praticamente constante na direção norte-sul. Subjacente a esta camada de lodos argilosos, encontra-se a formação Miocénica, constituída por arenitos, calcarenitos e calcários, mais ou menos margosos.

Na Figura 2 apresenta-se um corte esquemático da zona do palco com a identificação do zonamento descrito anteriormente.

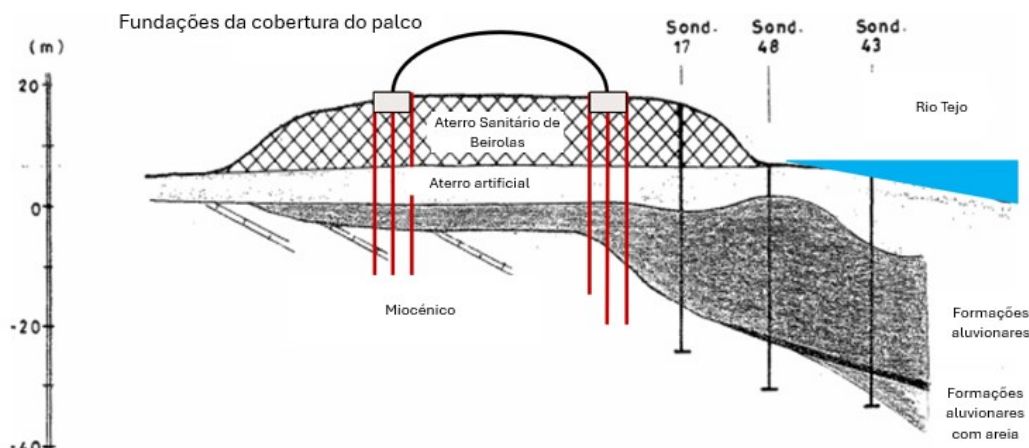


Figura 2 - Corte esquemático, Nascente – Poente, da zona do palco.

### 2.2 Condicionamentos relacionados com infraestrutura existente

Na definição das soluções de fundação do palco teve-se como premissa inicial o facto de não ser viável recorrer a fundações indiretas devido à existência da geomembrana de proteção da face superior do aterro sanitário cuja furação não seria possível. Este pressuposto foi mantido para a generalidade da área de intervenção, tendo sido exceção a zona traseira do palco, zona Sul, assim com o a cobertura do palco, devido ao tipo e valor das cargas a transmitir à fundação.

### 2.3 Condicionamentos relacionados com o tipo de estrutura da cobertura do palco

Na definição das soluções de fundação da estrutura metálica da cobertura do palco teve-se presente que a leveza da mesma, associada ao elevado vão e, em consequência, ao reduzido número de apoios, a tornava particularmente sensível à ação do vento, determinando a transmissão de elevadas cargas de tração às fundações, conforme Figura 3. A eventual execução de maciços com função de contra-peso não se afigurava realista, face à dimensão dos mesmos, associada ao respetivo peso. Na Figura 4 apresenta-se uma imagem com a preparação do local para início dos trabalhos de betão armado das correspondentes às fundações da cobertura.



Figura 3 - Vista da cobertura do palco. (Fonte: Observador)



Figura 4 – Microestacas de fundação da cobertura do palco.

## 3 SOLUÇÕES ADOTADAS

### 3.1 Aterro de pré-carga

A solução executada consistiu na realização de um aterro de pré-carga com 3,20m de altura, na zona de implantação do palco. O aterro foi realizado com material proveniente das proximidades com peso volúmico de aproximadamente  $20\text{kN/m}^3$ . A execução deste aterro de pré-carga teve como objetivo minimizar os assentamentos que iriam ocorrer aquando da montagem e utilização do palco. O aterro de pré-carga permaneceu no local durante um período de 90 dias, tendo ocorrido um assentamento máximo de 25cm. Na Figura 5 apresenta-se a evolução temporal dos assentamentos na zona de implantação do aterro de pré-carga. A localização das marcas topográficas apresenta-se na Figura 6.

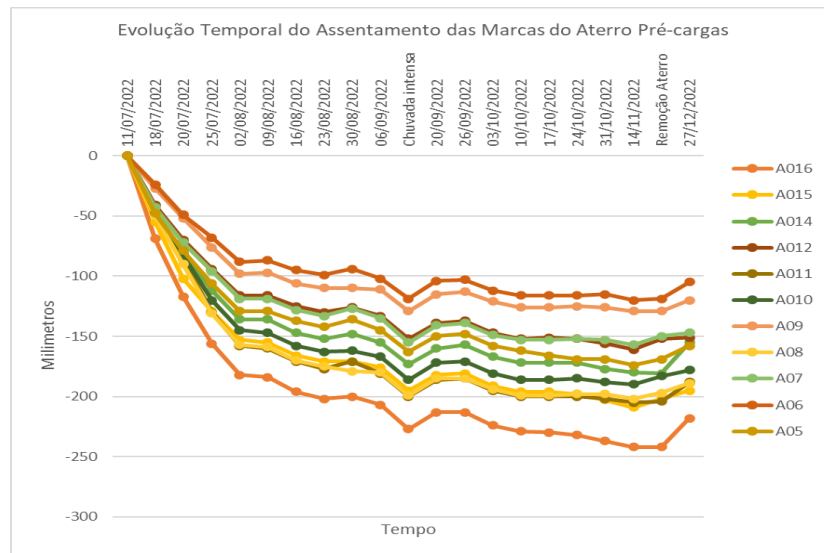


Figura 5 - Gráfico tempo-deformação. Instrumentação da zona do aterro de pré-carga.

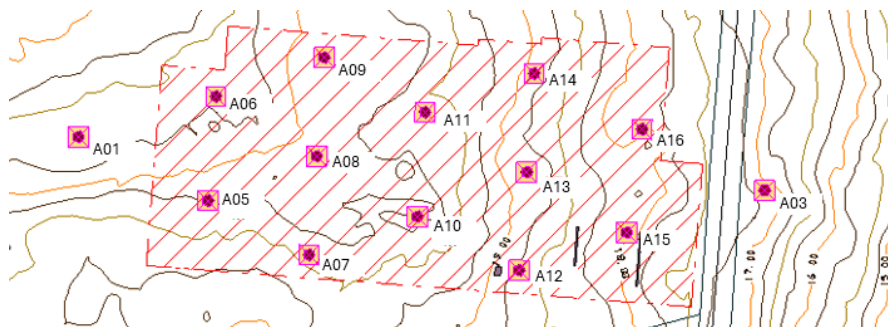


Figura 6 - Localização das marcas de assentamentos na zona do palco.

### 3.2 Fundações do palco

De forma a maximizar a uniformidade da transmissão das cargas ao terreno, a solução preconizada consistiu na execução de uma laje de fundação constituída por lajes alveolares pré-fabricadas, com 30cm de espessura mínima. Devido do aumento da amplitude das cargas em determinados alinhamentos, assim como da geometria irregular dos maciços de encabeçamento das microestacas de fundação da cobertura, foi necessário preconizar uma solução de fundação betonada in situ nessas zonas. Deste modo, a solução divide-se em 4 tipos de solução diferentes:

- Zona corrente: solução em lajes alveolares simplesmente apoiadas em vigas periféricas pré-fabricadas com secção em L ou retangular, de acordo com o desnível existente;
- Periferia dos maciços de fundação da cobertura: solução constituída por uma laje betonada in situ com espessura de 30cm;
- Alinhamentos traseiros – zona Nascente e Poente: solução constituída por uma laje betonada in situ com espessura de 25cm;
- Alinhamentos traseiros – zona central: viga de fundação com secção  $1,65 \times 1,20 \text{ m}^2$ , apoiada em microestacas cravadas, em ferro fundido dúctil, com secção tubular  $\phi 170 \times 7,5 \text{ mm}$  preenchidas com betão C35/45 e reforçadas 3 varões  $\phi 32 \text{ mm}$  no seu interior para prevenir eventuais fenómenos de encurvadura, sem necessidade de entrega no substrato Miocénico, pois apenas acomodavam esforços de compressão. A solução de fundação nesta zona foi compatibilizada com a solução de fundação da cobertura do palco.

### 3.3 Fundações da cobertura do palco

Atendendo às elevadas cargas de tração a transmitir às fundações foi adotada uma solução constituída por microestacas cravadas, em ferro fundido dúctil, com seção tubular  $\phi 170 \times 7,5 \text{mm}$ , preenchidas com betão C35/45 e reforçadas interiormente com uma microestaca constituída por um varão oco, executada através da tecnologia auto perfurante. Ou seja, os tubos em ferro fundido dúctil, cravados por via seca apenas ao nível dos materiais brandos que materializam o aterro sanitário e a camada aluvionar subjacente funcionavam como um encamisamento perdido, permitindo a execução, pelo interior, da microestacas de varão, selada no substrato Miocénico.

Na Figura 7 apresenta-se o modelo 3D de toda a solução. Na Figura 8 é visível a solução definida para a zona corrente, em fase de obra.

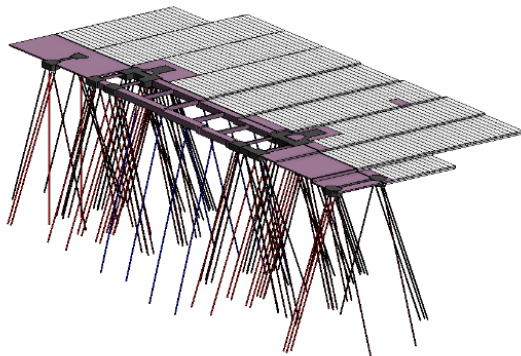


Figura 7 - Modelo 3D das fundações do palco e da cobertura do palco.



Figura 8 - Fotografia aérea da fundação do palco - zona de fundação direta constituída por lajes alveolares.

## 3 ENSAIOS DE CARGA À ESCALA REAL DE MICROESTACAS

Tendo em conta as características do dispositivo geológico do local, associada ao tipo e aos condicionantes da obra, foram executados ensaios de carga, cujos resultados pretendiam validar os pressupostos de dimensionamento.

Para o efeito, foram realizados 2 ensaios de carga prévios à escala real, um ensaio à compressão e um ensaio à tração.

As microestacas cravadas de ensaio foram executadas com recurso a um martelo hidráulico de alta frequência, conforme apresentado na Figura 9. A cravação foi efetuada por via seca até ser cumprido o critério de nega de entrega no substrato Miocénico. Na microestaca ensaiada à tração, foi utilizado um equipamento de perfuração com martelo de superfície para materialização de bolbo do varão oco interior, instalado através da tecnologia auto perfurante, no substrato Miocénico. Para a instalação desta mesma microestaca de varão, a furação foi efetuada com bit perdido  $\phi 130 \text{mm}$  à rotopercussão utilizando os próprios varões como elemento de perfuração. A progressão da furação fez-se através da colocação de conjuntos de varões até ser atingida a profundidade pretendida. À medida que a furação prosseguia introduziu-se pelo interior dos varões calda de cimento que tinha como função promover tanto a limpeza e remoção dos detritos de furação para a superfície, como a selagem final da microestaca. Em ambas as microestacas de ensaio, o interior ficou totalmente preenchido com calda de cimento tipo I 42.5. Para ambas as microestacas de ensaio, a instrumentação interior foi aplicada através de strain gauges introduzidos com recurso a um varão  $\phi 16 \text{mm}$ .

### 3.2 Ensaio de carga à tração

A estrutura de reação foi materializada através de um maciço de betão armado, com cerca de  $2,5 \text{m} \times 2,5 \text{m}$  e  $1 \text{m}$  de altura, apresentado na Figura 9. O tubo exterior da microestaca ensaiada, cravado nos solos brandos por via seca, em ferro fundido dúctil teve um comprimento de  $30,5 \text{m}$  nos solos brandos. O varão oco interior

instalado através da tecnologia autoperfurante possuiu 40,5m, com selagem no substrato Miocénico de, aproximadamente, 10m (Bustamante e Doix, 1985). A carga de ensaio inicialmente prevista era 850kN. O ensaio de carga foi realizado com 4 ciclos de carga até à carga máxima de 922kN. Adicionalmente foi realizado um 5º ciclo de carga até 1598kN, de modo a testar a capacidade resistente da selagem no estrato Miocénico. Mesmo após atingir a carga de 1598kN não se verificou rotura.

Os principais resultados do ensaio de tração realizado apresentam-se na Figura 10 e na Figura 11.



Figura 9 - Ensaio de carga de tração.

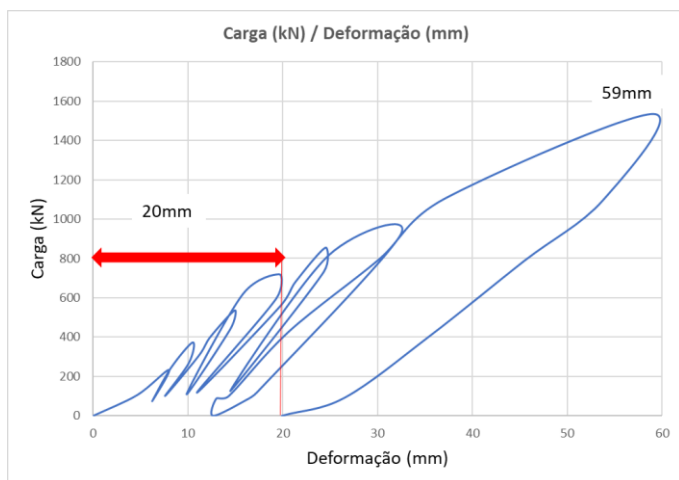


Figura 11 - Gráfico carga-deslocamento na cabeça. Ensaio de carga de tração.

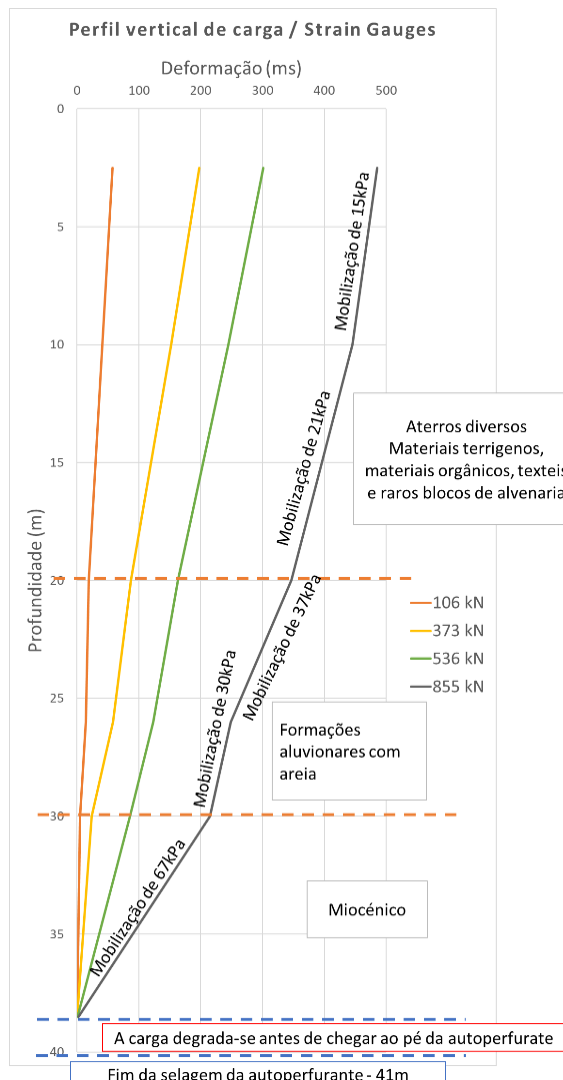


Figura 10 - Gráfico strain gauges - ensaio prévio à tração.

Para a carga de ensaio de 922kN, verificou-se uma resposta forte em todos os ciclos de carga, com uma deformação plástica da ordem dos 13mm e de uma deformação máxima de 33mm. No 5º ciclo de carga, verificou-se uma deformação total da ordem dos 59mm com uma deformação residual de 20mm. Foram instalados um conjunto de “strain gauges” à profundidade de 2.5m, 10m, 20m, 26m, 30m e 38,5m nomeadamente na transição entre o aterro e o estrato aluvionar.

Foi possível verificar com clareza, que o topo do estrato aluvionar se situava à profundidade de 20m, compatível com os resultados da prospeção realizada no local. Verificou-se que cerca de 50% da carga foi transmitida ao aterro, assim como que cerca de 30% do comprimento de selagem não foi mobilizado. No entanto, devido à grande heterogeneidade do material constituinte do aterro, considerou-se que o comprimento de selagem não deveria ser inferior aos 10m (Bustamante e Doix, 1985), de modo a, por prudência, poder acomodar a totalidade da carga de tração.

### 3.2 Ensaio de carga à compressão

A estrutura de reação foi executada com recuso a um pórtico constituído por perfis metálicos apoiado em 4 microestacas semelhantes à microestaca ensaiada à tração. A referida estrutura encontra-se ilustrada na Figura 12. A microestaca ensaiada possuía um comprimento de 34m, atingindo o substrato miocénico. A carga de ensaio prevista era 1820kN. Apesar do extremo cuidado em colocar o macaco alinhado com o eixo da microestaca, verificou-se instabilidade do maciço de encabeçamento da microestaca acima de uma carga de 1400kN com o deslocamento horizontal do maciço. Apesar da rotação do maciço, quando se ultrapassou a carga aproximada de 1400kN, verificou-se um aumento contínuo de capacidade de carga em aproximadamente 320kN até aos 1723kN.

Os principais resultados do ensaio de tração realizado apresentam-se na Figura 13 e na Figura 14.



Figura 12 - Ensaio de carga de compressão.

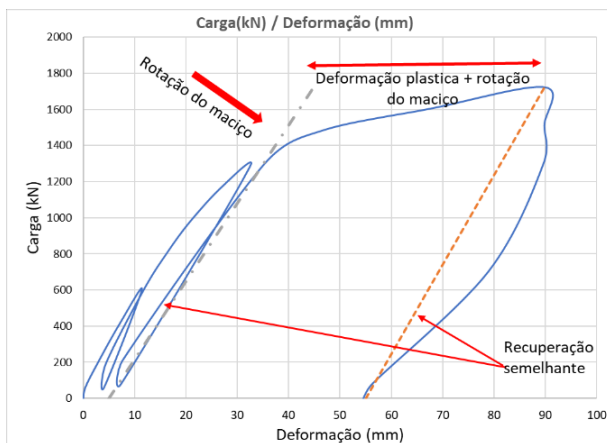


Figura 14 - Gráfico carga-deslocamento na cabeça. Ensaio de carga de compressão.

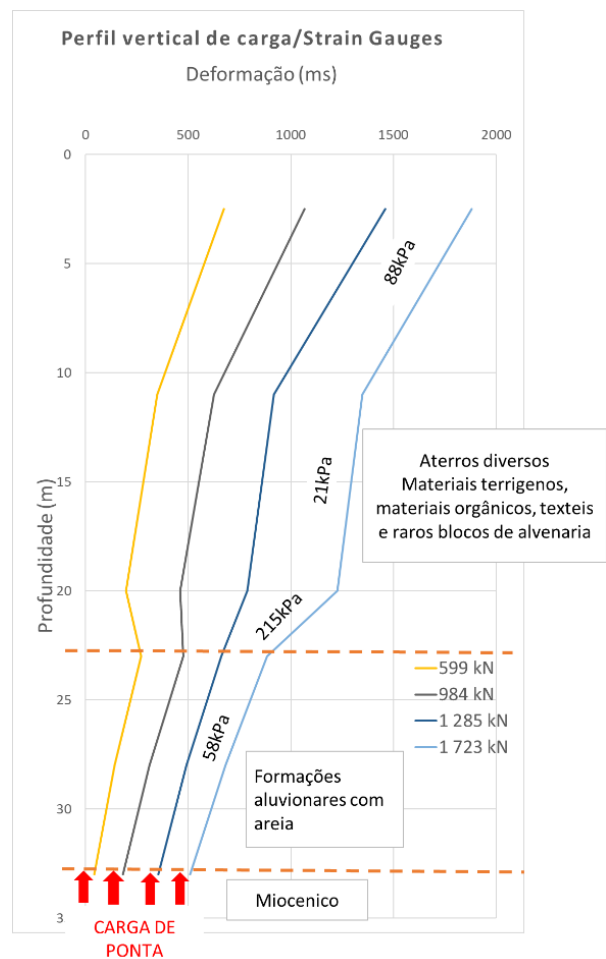


Figura 13 - Gráfico strain gauges - ensaio prévio à compressão.

Foram instalados um conjunto de “strain gauges” às profundidades de 2,5m, 11m, 20m, 23m, 28m e 33m, nomeadamente na transição entre o aterro e a camada aluvionar. Foi possível verificar com clareza que o topo da camada aluvionar se situava a cerca de 23m de profundidade, o que era compatível com a informação resultante da prospeção geológica e geotécnica realizada no local. Verificou-se uma capacidade de transmissão de carga significativa ao aterro com resposta efetiva entre o 2,5m e 11m e muito boa entre os 20 e 23m de profundidade. Entre a profundidade de 11 a 20m a transmissão de carga ao aterro foi negligenciável. Estimase que a carga de ponta mobilizada seja da ordem dos 600kN para uma carga da ordem dos 1700 kN. Destacou-se igualmente a não mobilização de qualquer fenómeno de instabilidade lateral por encurvadura.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo teve como objetivo apresentar a solução de fundações do palco principal das Jornadas Mundiais da Juventude, que se realizou no Parque Tejo, perto do Rio Trancão, em Lisboa, apresentando os diversos condicionamentos que estiveram na base das escolhas e decisões tomadas.

Tendo por base os condicionamentos já descritos, assim como os resultados dos ensaios de carga descritos, é destacado o excelente desempenho das duas soluções adotadas:

- i. Fundação do palco com necessidade de acomodar apenas cargas de compressão: laje de fundação constituída por lajes alveolares pré-fabricadas, com 30cm de espessura mínima, assentes diretamente no terreno. Nos alinhamentos mais carregados a solução passou de fundação direta para fundação indireta com recurso a microestacas cravadas, tubos em ferro fundido dúctil com ligeira entrega no substrato Miocénico.
- ii. Fundação da cobertura do palco com necessidade de acomodar esforços de compressão e, sobretudo, de tração: microestacas cravadas, tubos em ferro fundido dúctil, apenas ao nível dos solos brandos, situação que determinou a necessidade de reforçar os referidos tubos interiormente com uma microestaca constituída por um varão oco, executada através da tecnologia auto perfurante, devidamente selada no substrato Miocénico.

De modo a validar os pressupostos de dimensionamento das microestacas de fundação, foram realizados dois ensaios de carga no local de implantação do palco, um de compressão e um de tração. Os resultados obtidos permitiram validar antecipadamente os principais pressupostos de projeto, garantindo a adequação da solução ao contexto geológico-geotécnico local.

As questões ambientais foram tidas em conta, tendo-se adotado uma solução que evitasse a necessidade de remover os solos contaminados do local, com o recurso à utilização de microestacas tubulares, cravadas por via seca, em ferro fundido dúctil, este último destacando-se igualmente por ser um material reciclado das siderurgias.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dono de Obra, a autorização para publicação do presente artigo. Agradecem igualmente à equipa que realizou os trabalhos descritos, nomeadamente as empresas Oliveiras S.A, empreiteiro geral, e Geosol S.A, empreiteiro dos trabalhos de geotecnia, assim como à empresa que fiscalizou a obra, Engexpor – Consultores de Engenharia S.A.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<https://observador.pt/2023/10/06/onde-esta-o-palco-da-jmj-no-parque-tejo-estrutura-foi-retirada-e-camara-de-lisboa-garante-que-foi-guardada/>, acedido em 15/04/2024

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.