

UTILIZAÇÃO DE MICROESTACAS EM FUNDAÇÕES DE PONTES NA ILHA DA MADEIRA

THE USE OF MICROPILES FOR THE FOUNDATION OF BRIDGES IN MADEIRA ISLAND

Prado, Rubens, *OPCA S.A., Lisboa, Portugal, rprado@opca.pt*

Faria, Luis, *OPCA S.A., Lisboa, Portugal, lfaria@opca.pt*

Vaz, Nuno, *OPCA S.A., Lisboa, Portugal, nvaz@opca.pt*

RESUMO

A recente construção de vias rápidas na Ilha da Madeira, nomeadamente a Variante à Vila da Calheta e a Via Rápida Machico-Caniçal, contemplou a execução de uma série de Obras de Arte com fundações indirectas. Nesta comunicação, apresenta-se a solução de fundações indirectas adoptadas para a Ponte do Arco da Calheta, onde a OPCA propôs a substituição das estacas moldadas convencionais definidas no Projecto de Execução, por microestacas multi-injectadas de alta resistência, devido à grande heterogeneidade do complexo vulcânico existente. São também apresentados os resultados dos ensaios de carga realizados para as fundações especiais da Ponte de Machico, onde devido à existência de formações geológicas semelhantes, o Projectista do Dono da Obra já recomendava a utilização de microestacas, que confirmaram a perfeita adequação desta solução de fundações indirectas, às condições da estratigrafia geotécnica locais.

ABSTRACT

The recent construction of highways in Madeira Island, namely the Variant to Vila da Calheta and the Highway Machico/Caniçal, has involved the building of a great number of bridges with deep foundations. This article shows the solution of deep foundations adopted for the bridge of Arco da Calheta, where OPCA has proposed the substitution of the piles determined in the Accomplishment Project, for multi injected micropiles of high resistance, due to the heterogeneous characteristics of the existing volcanic complex. This article also illustrates the results of the load tests performed for the special foundations of the Machico Bridge, where, on account of the existence of similar geological formations, the Client's Designer had already recommended the use of micropiles. This confirmed the perfect adequacy of the solution, i.e. the choice of deep foundations, to the local geotechnical stratigraphy conditions.

1. INTRODUÇÃO

No âmbito da modernização da rede viária da ilha de Madeira, estava prevista a construção da Ponte do Arco da Calheta, inserida na empreitada da Variante à Vila da Calheta, e a Ponte sobre a Ribeira de Machico, inserida na Via Rápida Machico-Caniçal.

A Ponte da Calheta com um comprimento total entre eixos dos encontros de 54,0 metros, é constituída por três tramos, dois de extremidade, com 16 metros de comprimento cada, e um

intermédio, com 22 metros de comprimento. O tabuleiro assenta em dois encontros e dois pilares com alturas de aproximadamente 12 metros (Figura 1).

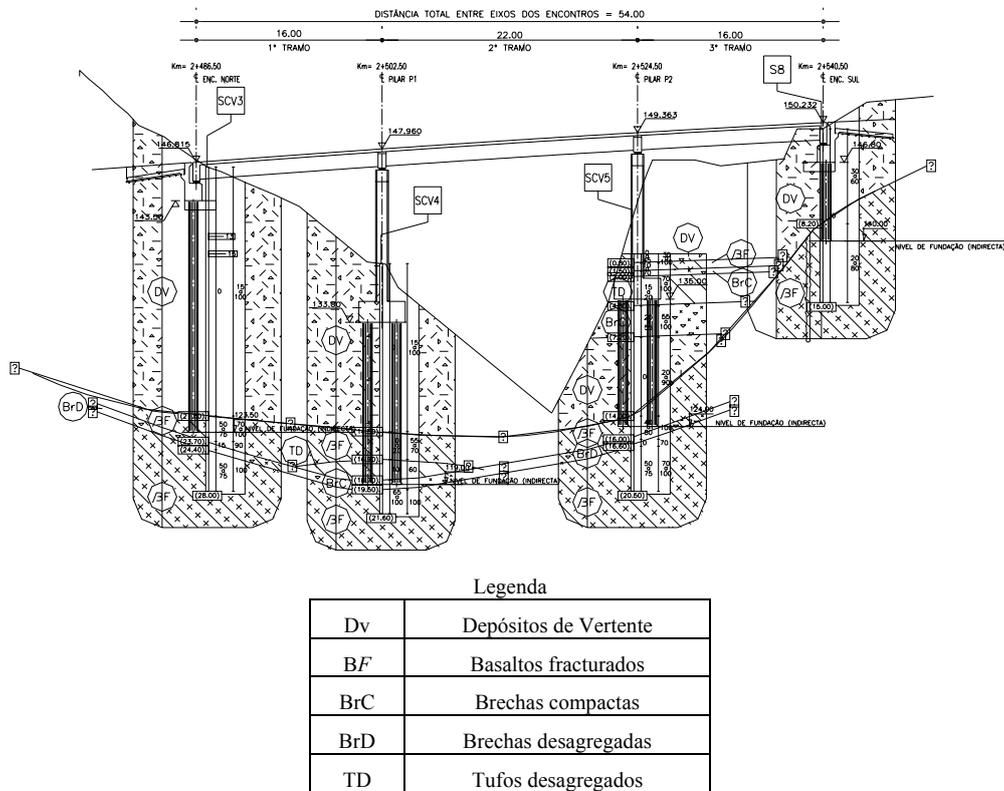


Figura 1 – Alçado Longitudinal da Ponte do Arco da Calheta

A Ponte sobre a Ribeira de Machico é constituída por dois tabuleiros independentes com comprimentos totais de aproximadamente 210 metros. Longitudinalmente, cada tabuleiro é constituído por 5 tramos com comprimentos variáveis entre os 24,50 e 60,00 metros de comprimento, apoiados em 4 pilares e 2 encontros.

2. PONTE DO ARCO DA CALHETA

2.1 Geologia e geotecnia do local

De acordo com a campanha de prospecção geotécnica realizada entre Outubro de 2003 e Janeiro de 2004, a zona de implantação do viaduto é constituída superficialmente por depósitos de vertente heterogéneos, formados essencialmente por blocos angulosos e fragmentos de rocha envolvidos por matriz argilo-silto-arenosa acastanhados. Estes depósitos possuem uma espessura variável, de cerca de 20 metros na zona do Encontro Norte, de 15 metros nos Pilares P1 e P2 e cerca de 6 metros no Encontro Sul e segundo o relatório geotécnico apresentam-se perfeitamente estabilizados para a geometria actual, devido à sua grande matriz argilosa, o que justifica o alto grau de recuperação constatado nas sondagens. Subjacentes a estes depósitos aparecem intercalações de basaltos fracturados, brechas compactas, brechas desagregadas e tufos desagregados (Figura 1).

2.2 Projecto de execução do dono de obra

O projecto de execução elaborado previa as fundações dos dois encontros e dos pilares em fundações indirectas por estacas. Estavam previstas 4 estacas $\phi 800\text{mm}$ por pilar, 3 estacas $\phi 800\text{mm}$ no Encontro Norte e 4 estacas $\phi 800\text{mm}$ no Encontro Sul (Quadro 1).

Quadro 1 – Número de Estacas

| Elemento Estrutural | Quantidade de Estacas $\phi 800\text{mm}$ |
|---------------------|---|
| Encontro Norte | 3 |
| Pilar P1 | 4 |
| Pilar P2 | 4 |
| Encontro Sul | 4 |

As estacas foram dimensionadas unicamente para cargas verticais, sendo a carga de projecto de cada estaca de 3000kN em Estado Limite Último.

2.3 Projecto variante

A existência da grande heterogeneidade e complexidade dos extractos vulcânicos encontrados, caracterizados por alternâncias irregulares de derrames de lavas, materiais piroclásticos, brechoides e tufos com bombas vulcânicas em alguns casos com diâmetros superiores a 2 metros, associada à grande dificuldade de acesso de máquinas de grande porte devido ao acentuado declive do terreno, inviabilizaram a solução preconizada para as fundações da ponte por estacas de $\phi 800\text{mm}$, uma vez que as operações para a realização das estacas através do trado convencional eram inapropriadas face aos condicionalismos geológicos e geotécnicos existentes.

Assim, foi proposto pela OPCA, através do seu Gabinete Técnico e da equipa de Produção do Departamento de Geotecnia e Fundações, a substituição das referidas estacas por microestacas selectivamente multi-injectadas de alta resistência.

O dimensionamento das microestacas foi feito tendo em conta o carregamento preconizado para as estacas de fundação. Dado o carregamento ser unicamente vertical, o número de microestacas a utilizar por cada estaca foi determinado tendo em conta que as microestacas são constituídas por tubos de aço de alta resistência com tensão de cedência do aço de 562MPa e que o somatório das cargas nas microestacas é igual ao somatório das cargas nas estacas (Equação 1).

$$N_{me} = \frac{N_{est}}{n} \quad (1)$$

N_{me} – esforço axial nas microestacas (kN);

N_{est} – esforço axial na estaca (kN);

n – n.º de microestacas.

Foram adoptadas em geral, três microestacas por cada estaca eliminada, o que resultou numa carga de 1000kN para cada uma. O dimensionamento geotécnico das microestacas foi feito

segundo a metodologia de Bustamante, a qual prevê as tensões de aderência solo/cimento de acordo com o tipo de solo, o tipo e pressão de injeção e o volume de calda injectado.

As microestacas são constituídas por tubos de aço do tipo TM80 com $\phi=114,3$ mm e 9mm de espessura, reforçadas com um varão $\phi 32$ Dywidag de alta resistência, colocado no interior do tubo (Figura 2).

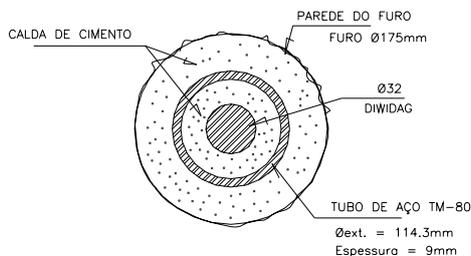


Figura 2 – Secção das Microestacas

O comprimento das microestacas variou entre os 15 e os 26 metros, incluindo o bolbo de selagem com 9 metros de comprimento.

2.4 Execução das microestacas

Tratou-se da execução de 47 microestacas verticais para as fundações indirectas dos pilares e encontros da ponte (Quadro 2 e Figura 3):

Quadro 2 – Distribuição das Microestacas

| Elemento Estrutural | Quantidade de Microestacas |
|---------------------|----------------------------|
| Encontro Norte | 10 |
| Pilar P1 | 12 |
| Pilar P2 | 12 |
| Encontro Sul | 13 |

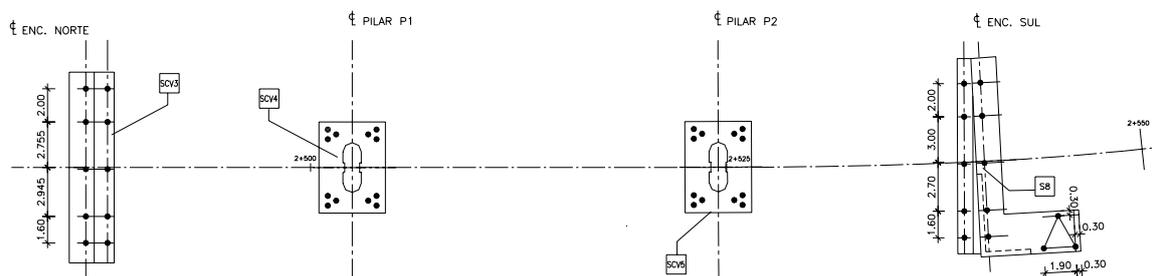


Figura 3 – Localização das Microestacas em Planta

A execução das microestacas compreendeu, fundamentalmente, as seguintes fases executivas:

- Perfuração;
- Instalação de armadura tubular dispoendo de válvulas sem retorno (manchetes);
- Selagem da armadura tubular no furo;

- Injecções de calda de cimento, através das válvulas manchetes;
- Selagem de varão de aço Dywidag no interior da armadura tubular.

O trabalho envolvido na execução das microestacas foi iniciado pela furação. Esta foi realizada por roto-percussão, com circulação de ar e entubamento provisório no comprimento necessário (Figura 4).



Figura 4 – Execução de Microestacas

Após a conclusão e limpeza do furo, foi introduzida e devidamente selada a armadura tubular da microestaca, em tubo de aço TM-80, seguindo-se posteriormente a injeção de selagem até que a calda de cimento aflorasse à boca do furo.

Seguiram-se as operações de injeções múltiplas, com recurso a obturador duplo que actuou isoladamente válvula a válvula. Em cada válvula foi introduzido um volume controlado de calda de cimento, registando-se as pressões de abertura da válvula e a do término da injeção. As operações foram repetidas até terem sido obtidas as pressões de injeção compatíveis com a mobilização do esforço de corte pretendido na superfície de contacto microestaca/terreno envolvente.

Concluídas as injeções, foi efectuada a selagem do varão de aço Dywidag no interior do tubo, ficando as microestacas concluídas e prontas a ser integradas no maciço de encabeçamento.

3. PONTE SOBRE A RIBEIRA DE MACHICO

3.1 Geologia e geotecnia do local

De acordo com a campanha de prospecção geotécnica realizada no local de implantação da ponte, ocorrem terrenos vulcânicos pertencentes ao complexo vulcânico pós miocénico $\beta 2$. O ambiente geológico vulcânico é bastante heterogéneo, caracterizado por alternâncias muito

irregulares de derrames de lavas basálticas, níveis de materiais piroclásticos brechoides e tufos com bombas vulcânicas.

3.2 Fundações

As fundações dos pilares e encontros da Ponte de Machico foram executadas através de microestacas constituídas por tubos metálicos TM-80, com $\phi=114,3\text{mm}$ e 9mm de espessura, envolvidos em calda de cimento com diâmetro de furação de 170mm e com capacidade de carga de 600kN em serviço, definidas pelo projectista do Dono-de-Obra. O comprimento das microestacas variou entre os 15 e os 25 metros, que inclui o comprimento de selagem de 6 metros. Foram executadas no total 608 microestacas, sendo em geral 48 ou 64 microestacas por pilar de acordo com sua carga actuante (Figuras 5 e 6).



Figura 5 – Pilar fundado em 64 Microestacas



Figura 6 – Pilar fundado em 48 Microestacas

3.3 Ensaio de carga

De acordo com o Caderno de Encargos, estava prevista a realização de ensaios de carga em algumas microestacas. Estes ensaios foram realizados em três microestacas executadas propositadamente para esse fim nas imediações das microestacas que iriam funcionar como elementos de fundação dos Pilares ou Encontros.

O ensaio estava previsto ser realizado por patamares e ciclos sucessivos até uma carga máxima de 1200kN, correspondente a duas vezes a carga de serviço.

A estrutura de reacção consistiu numas vigas metálicas HEB apoiadas em duas microestacas executadas nas extremidades da viga. O macaco hidráulico estava assente no maciço de encabeçamento da microestaca ensaiada que estava centrada e equidistante das outras duas microestacas. O dispositivo de aplicação de carga utilizado foi um macaco de capacidade de 2000kN, alimentado por uma bomba hidráulica e actuando contra a viga de reacção acima descrita.

A medição dos deslocamentos foi feita através da leitura dos valores obtidos em dois deflectómetros colocados no topo do maciço, permitindo por isso a leitura dos assentamentos no topo da microestaca para os diversos níveis de carga. Os valores obtidos nos três ensaios de carga foram muito semelhantes, pelo que se apresenta apenas os valores do ensaio realizado no Pilar P4N (figura 7 e quadro 3).

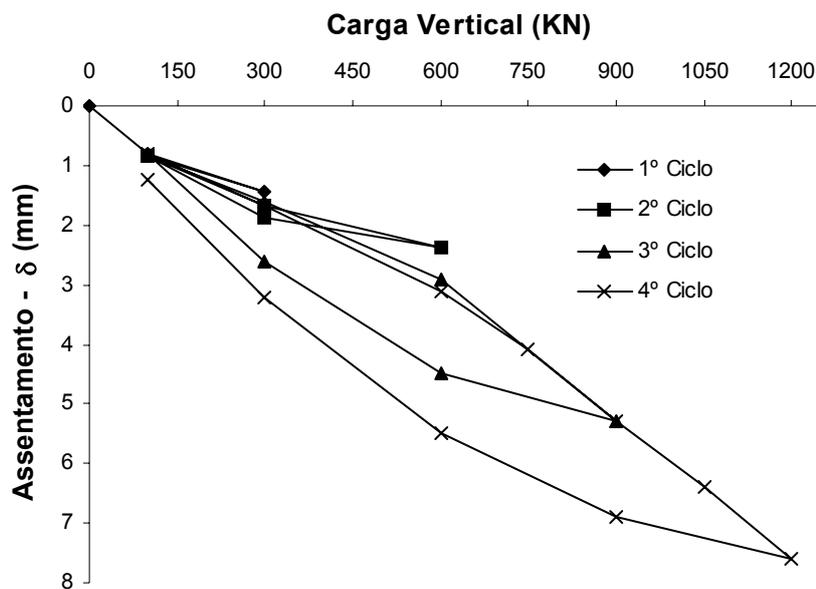


Figura 7 – Curva carga vertical versus assentamento – Pilar P4N

Quadro 3 – Valores do Ensaio de Carga – Pilar P4N

| Ciclo | Carga máxima (kN) | % Carga de Serviço | δ máximo (mm) |
|-------|-------------------|--------------------|----------------------|
| 1º | 300 | 50 | 1,45 |
| 2º | 600 | 100 | 2,39 |
| 3º | 900 | 150 | 5,3 |
| 4º | 1200 | 200 | 7,6 |

As microestacas foram submetidas a uma carga de ensaio máxima axial, correspondente a duas vezes a carga de serviço, tendo tido um comportamento ($\delta/\phi = 4,5\%$) bem abaixo dos valores limites teóricos que indiciam o início da rotura da microestaca ($\delta/\phi \approx 10\%$).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grande heterogeneidade dos extractos vulcânicos vulgarmente encontrados na Ilha da Madeira, constituídos por materiais de granulometria diversa, alcançando por vezes blocos com dimensões superiores a 2 metros, conjugada com a difícil acessibilidade de máquinas de grande porte ao local da obra, obrigaram à implementação de metodologias variantes adequadas à execução das fundações dos elementos estruturais constituintes das Obras de Arte.

Apresentou-se nesta comunicação uma solução variante de fundações indirectas por microestacas adoptadas em fase de Obra pela OPCA para a Ponte do Arco da Calheta, bem como a descrição das fundações especiais por microestacas executadas na Ponte sobre a Ribeira de Machico.

Foram igualmente apresentados os resultados de um ensaio de carga numa microestaca da Ponte sobre a Ribeira de Machico que confirmaram a perfeita adequação deste método construtivo, para a execução das fundações indirectas, às condições da estratigrafia geotécnica local.

5. AGRADECIMENTOS

ABRANTINA, S.A.;
Consórcio TECNOROCHA/SOMAGUE;
CENORGEO – Engenharia Geotécnica, Lda.;
CENORPLAN – Planeamento e Projectos, Lda.;
GRID – Consultas, Estudos e Projectos de Engenharia, Lda.

6. REFERÊNCIAS

- [1] OPCA – Projecto Alternativo das Fundações dos Pilares e dos Encontros em Microestacas da Ponte do Arco da Calheta. Março de 2004.
- [2] GRID, CENORPLAN – Variante à Vila da Calheta, Ponte do Arco da Calheta – Projecto de [3] Execução. Fevereiro de 2004.
- [4] Bustamante, M; Doix, B. – Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés.
- [5] Norma DTU13.2 (1992) – “Fondations profondes pour le bâtiment.”
- [6] Fundações – Teoria e prática – Editora Pini.