

IMPORTÂNCIA DA FLEXIBILIDADE DE SOLUÇÕES EM FUNDAÇÕES ESPECIAIS – PARQUE DE ESTACIONAMENTO EM VIANA DO CASTELO.

THE IMPORTANCE OF THE GEOTECHNICAL SOLUTION'S FLEXIBILITY - UNDERGROUND CAR PARKING IN VIANA DO CASTELO

Antunes, Pedro, *Mota-Engil Engenharia SA, Lisboa, Portugal, pedro.antunes@mota-engil.pt*
Cabaço, Jorge, *Keller - Portugal, Castanheira, Portugal, jorge.cabaco@keller.pt*
Candeias, Miguel, *Keller - Portugal, Castanheira, Portugal, miguel.candeias@keller.pt*
Lopes, Paulo, *Keller - Portugal, Castanheira, Portugal, paulo.lopes@keller.pt*

RESUMO

Para a construção do Parque de Estacionamento subterrâneo na Praça da Liberdade em Viana do Castelo, junto ao Rio Lima, encontrava-se inicialmente prevista a construção de uma contenção periférica com recurso a uma cortina de estacas armadas secantes, estando previsto fundar a estrutura igualmente em estacas armadas. No início dos trabalhos foram encontradas fortes condicionantes de ordem geológico-geotécnica, que impossibilitaram quer a execução da cortina de estacas quer a execução de algumas das estacas de fundação. Na presente comunicação são apresentadas e analisadas as soluções encontradas, nomeadamente a instalação de um sistema de rebaixamento de nível freático constituído por furos de captação de água e “Well Points”, complementada pela execução de uma cortina de jet grouting em dupla fiada, e ainda colunas de jet grouting reforçadas com microestacas em substituição de algumas estacas de fundação.

ABSTRACT

For the construction of an underground car park at Praça da Liberdade in Viana do Castelo, near Lima River, initial design foresaw a pile retaining wall and piles for the foundations of the structure. In the beginning of the works, very hard geological and geotechnical conditions were found, which didn't allow the construction of the pile retaining wall and some of the piles. In the present paper, the implemented solution's for this problem are described, namely the installation of a water wells and well points dewatering system, complemented by a jet grouting retaining wall, as well as individual jet grouting columns reinforced by micropiles to replace some of the piles.

1.INTRODUÇÃO

A construção de um novo parque de estacionamento subterrâneo em Viana do Castelo junto à Praça da Liberdade constituiu um verdadeiro desafio à criatividade geotécnica tendo em conta as diversas condicionantes existentes no local (figura 1):

- vasta área de escavação (~10.000 m²) em envolvente urbana;
- proximidade da área escavada ao rio Lima;
- instabilidade da escavação com uma altura de cerca de 4,0 m em solos areno-pedregosos posicionados abaixo do nível freático;
- condições geomecânicas deficientes dos solos de fundação (aterros e aluviões) até uma profundidade máxima da ordem dos 30 m.



Figura 1 – Execução da cortina de jet grouting

2. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

Os terrenos existentes no local da obra consistem essencialmente em 3 unidades distintas, aterros, depósitos aluvionares e granitos, dispostos em sequência vertical pela ordem referida.

Os aterros são constituídos essencialmente por areias finas a grosseiras com seixos, calhaus e blocos graníticos com diâmetros até 60 cm. Na zona mais próxima do rio Lima existe um pedrapleno, construído sobre os depósitos aluvionares com blocos de grandes dimensões. O aterro e pedrapleno apresentam uma espessura de até 10,7 m na zona da obra que confronta com o rio (zona do pedrapleno), diminuindo progressivamente para o interior até atingir cerca de 4,0 m de espessura na zona mais afastada do rio.

As aluviões são representadas por areias médias a grosseiras, por vezes silto-lodosas, com restos de conchas e essencialmente junto à base da unidade encontram-se seixos rolados de dimensões apreciáveis. Em alguns pontos foram ainda identificadas intercalações lenticulares de lodo silto-arenoso de cor negra com espessuras a variar entre 1,5 e 3,8 m. Esta unidade apresenta uma espessura máxima de 20 m, identificada numa sondagem junto ao rio, variando ainda na mesma zona para valores da ordem dos 13 m. Como na unidade sobrejacente a espessura das aluviões vai diminuindo com a distância ao rio, passando progressivamente para valores da ordem dos 8 m, 5 m e finalmente na zona mais afastada do rio para valores de 1 m de espessura.

Finalmente sob as aluviões atrás referidas encontram-se granitos alcalinos de grão médio a fino com filões aplito pegmatíticos. Predominam granitos medianamente alterados e fracturados, diminuindo o grau de alteração e fracturação com a profundidade.

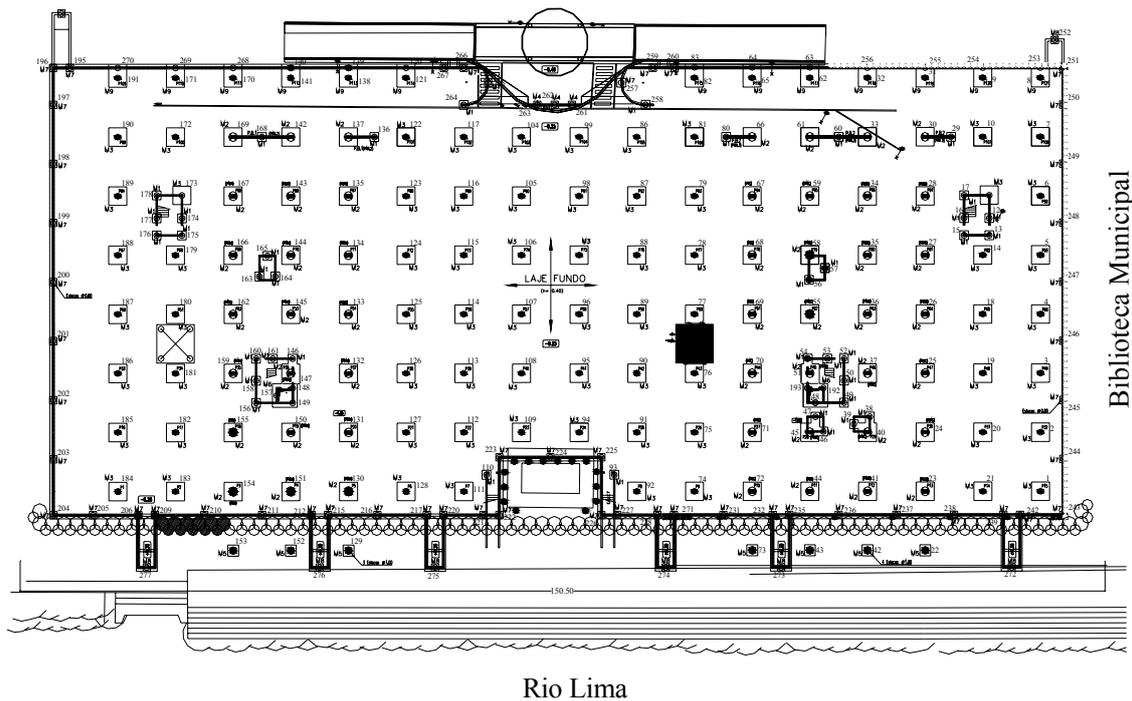
Importa ainda salientar durante a fase de prospecção geotécnica, foi registada a influência directa das marés na posição do nível freático quer no que diz respeito à amplitude quer aos tempos de resposta da variação dos níveis de água registados nos piezómetros instalados no interior da escavação. Foram registadas variações de nível freático entre as cotas +1,0 e - 0,72. Esta situação é de extrema importância, tendo em conta que a base da escavação na zona mais próxima do rio (a cerca de 12 m) estava definida à cota - 1,15, devendo ainda ser acrescentado

que nesta zona a escavação confrontava com o pedrapleno, que representaria precisamente a zona de maior permeabilidade.

3. SOLUÇÕES GEOTÉCNICAS

Tendo em conta as várias condicionantes foi concebida uma solução de fundações indirectas por estacas moldadas e contenção periférica nos solos incoerentes assegurada quer por muros ancorados do tipo “berlinense” numa zona limitada da obra, quer por cortinas de estacas secantes (na zona mais junto ao rio Lima). A afluência de água à escavação seria depois controlada através da instalação de um sistema de rebaixamento de nível freático, no caso em que a bombagem directa de água não fosse suficiente.

No entanto e dado ter sido efectivamente observado em obra que grande parte da escavação interessava quer o prisma de enrocamento de protecção marginal quer uma zona de aterro antiga composta fundamentalmente por blocos graníticos de razoável dimensão, foi necessário complementar as soluções atrás referidas com uma cortina vedante em jet grouting (figura 2). Adicionalmente, e em certas zonas específicas da obra onde abundavam os aterros constituídos maioritariamente por blocos graníticos, foram substituídas as estacas moldadas por colunas de jet grouting reforçadas face à elevada dificuldade encontrada durante a sua perfuração com o equipamento de estacas.



Rio Lima
Figura 2 - Projecto de fundações – Planta esquemática

3.1 Rebaixamento de nível freático

Com o objectivo de reduzir a afluência de água à escavação, adoptou-se um sistema de rebaixamento de nível freático por “well-points” a instalar faseadamente de acordo com as fases da escavação.

Após o início da escavação, a instalação de “well points” atrás referida, apesar de permitir a escavação numa parte da área, revelou-se insuficiente na zona mais próxima do rio. Para complementar a instalação de “well points”, ao longo do alinhamento da escavação da frente Rio foram inicialmente previstos em projecto 21 poços profundos com 10 m de profundidade e espaçados a cada 8,0 m para instalação de bombas submersíveis de grande capacidade (40 l/s por bomba) obtendo assim uma capacidade total de 840 l/s. Estimando um valor para a permeabilidade de 10^{-3} m/s e um rebaixamento de 3,0 m, calcularam-se valores de afluência de água à escavação da ordem dos 760 l/s, pelo que a capacidade de extracção instalada (840 l/s) seria suficiente para efectuar os trabalhos de escavação a seco (figura 3).

Esta situação veio a confirmar-se durante a execução da obra, com excepção da zona a escavar no pedrapleno, onde o risco de a instabilidade do talude provocado pela proximidade ao Rio, e a afluência directa da água através do pedrapleno, levou à necessidade de recorrer a uma solução complementar de impermeabilização e reforço através da execução de uma cortina de contenção com colunas de jet grouting.

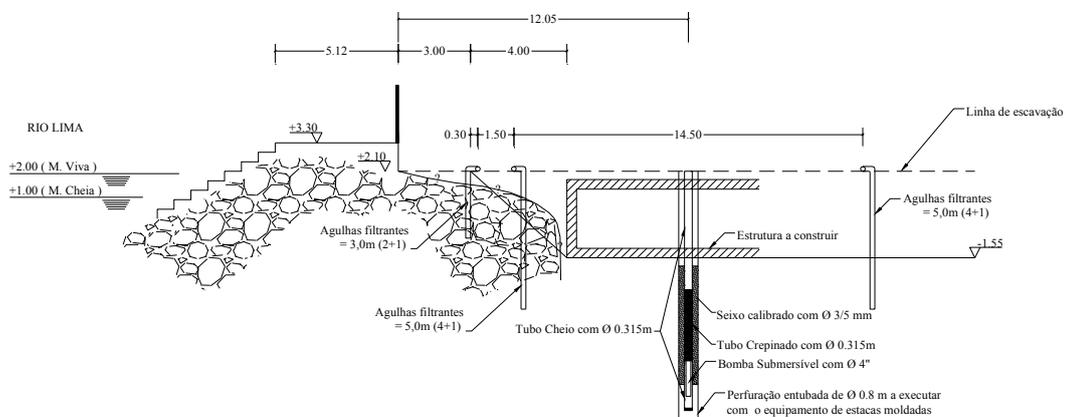


Figura 3 – Corte esquemático do sistema de rebaixamento de nível freático

3.2 Contenção periférica com colunas de jet grouting

A solução apresentada para a cortina de jet grouting baseou-se em cálculos de estabilidade desenvolvidos com um software de elementos finitos (Plaxis); neste estudo privilegiou-se uma solução que contivesse colunas com diâmetros razoavelmente grandes (uma fiada de colunas de cerca de 2,0 m de diâmetro intersectada por colunas de cerca de 1,5 m de diâmetro conforme esquema da figura 4) de forma a possibilitar o tratamento de um aterro e pedrapleno que apresentava blocos graníticos de grandes dimensões (da ordem de 1 m).

Pretendeu-se com a cortina preconizada a diminuição significativa do volume de fluxo de água à escavação, assegurando a estabilidade da mesma junto à zona do muro periférico, a redução da velocidade de afluxo de água que percolaria sob a cortina (visto que esta se prolongaria apenas cerca de 4 m abaixo da cota de escavação, apoiada em areias permeáveis), com captação desta pelo sistema de rebaixamento de nível freático já instalado.

O comprimento máximo previsto para execução das colunas de jet grouting foi de 7,0 m, sendo a furação de 8 m. No entanto a coluna de jet grouting deveria ser sempre executada cerca de 2,0 m abaixo da zona do enrocamento, para evitar possíveis entradas significativas de água através desta zona. A determinação desta cota foi efectuada, de uma forma expedita, através da furação destrutiva realizada previamente à execução das colunas de jet grouting.

No dimensionamento através da modelação por elementos finitos com o software Plaxis (figura 5) foi considerada uma cortina com 7 m de profundidade, e uma escavação com 4 m, considerando um valor para o módulo de deformabilidade do solo-cimento de 5 GPa, (os valores efectivamente obtidos em obra foram superiores ao considerado na modelação, ver quadro 3), tendo o factor de segurança da estabilidade global encontrado sido superior a 1,5.

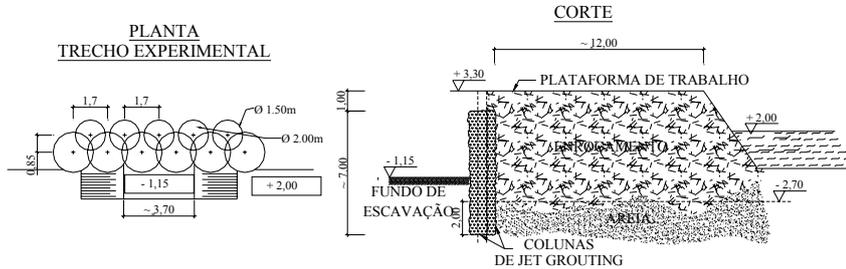


Figura 4 – Corte e planta esquemática da cortina de coluna de jet grouting

No quadro 1 apresentam-se os parâmetros utilizados no modelo, sendo o solocimento introduzido como modelo linear elástico e os restantes materiais segundo o modelo de comportamento elástico perfeitamente plástico, obedecendo ao critério de rotura de Mohr Coulomb.

Quadro 1 – Parâmetros geotécnicos utilizados no modelo

	γ (kN/m ³)	E (kN/m ²)	ϕ (°)	C (kN/m ²)
(1) Areia	17	$9,5 \times 10^3$	28	-
(2) Pedrapleno	30	2×10^5	55	50
(3) Solocimento	21	5×10^6	-	-

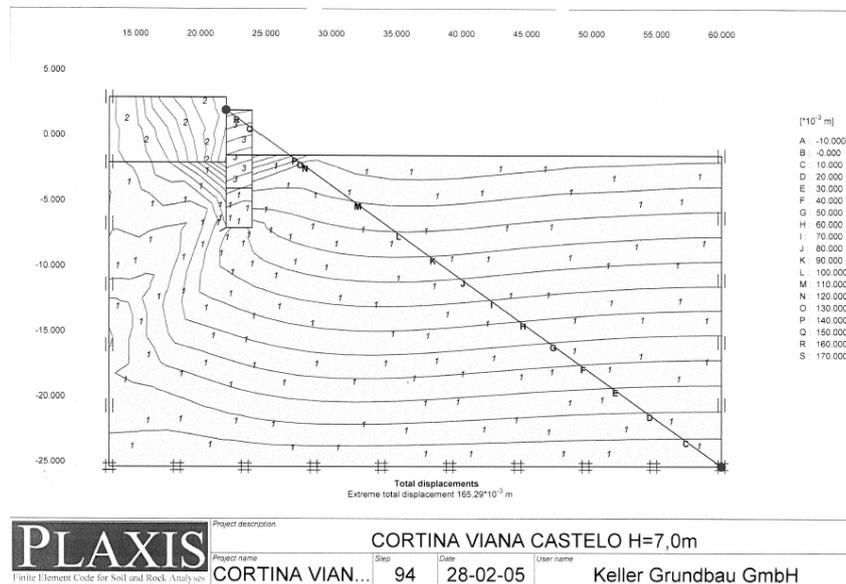


Figura 5 – Resultado da modelação por elementos finitos com o software Plaxis

3.3 Colunas de jet grouting como elementos de fundação indirecta

Dadas as dificuldades de execução das estacas previstas no projecto, devido à existência de zonas de grande concentração de blocos rochosos, foi preconizada a substituição de algumas das estacas de ϕ 1200 mm por colunas de jet grouting de ϕ 1800 mm e de algumas das estacas ϕ 800 mm por colunas de ϕ 1400 mm ambas reforçadas com uma microestaca de 127mm x 9mm.

As estacas de 1200 mm estavam dimensionadas no projecto inicial para resistir a esforços axiais da ordem dos 6800 kN, e as estacas de 800 mm da ordem dos 4400 kN e -500 kN, tendo o conjunto coluna de jet grouting e microestaca sido dimensionado para atender a estes mesmos esforços.

As colunas de jet grouting deveriam ser realizadas desde o granito alterado (profundidades variáveis entre 8 m e 30 m, considerando que a plataforma de trabalho se encontra próximo da cota + 3,0) até à cota de projecto prevista para o topo das estacas. Já as microestacas, a instalar no centro de cada coluna de jet grouting, deveriam ser encastradas no substrato granítico (33 a 22 m de comprimento total).

4. DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS GEOTÉCNICOS EXECUTADOS

4.1 Estacas

Foram executadas estacas de fundação de diâmetro 800, 1000 e 1200 mm, até penetração mínima de 3,0 m no substrato granítico. Durante a execução das estacas recorreu-se a várias metodologias como entubamento recuperável e utilização de polímeros e/ou bentonites.

Dada a grande dificuldade evidenciada nas tentativas de perfuração dos obstáculos pedregosos existentes, não foi possível executar cerca de 27 estacas de um total de 120 estacas (perfazendo um total de 2.000 ml executados), tendo estas sido substituídas, como já anteriormente referido, por colunas de jet grouting armadas.

4.2 Rebaixamento de Nível Freático

O sistema de rebaixamento de nível freático desenvolvido e aplicado em obra, foi constituído pelo seguinte:

- a) Foram executados 15 furos de captação de água, ao longo da frente rio afastados de cerca de 8,0 m cada, em que 3 deles foram colocados em zonas centrais da obra que apresentavam também afluência de água elevada. Estes furos de captação foram constituídos por coluna de revestimento em PVC com comprimentos da ordem dos 10,0 m cada, incluindo cerca de 3,0 m de filtro na parte inferior do furo, sendo instalada a bomba submersível no seu interior;
- b) Este sistema foi completado pela utilização de 4 grupos de bombagem por vácuo com cerca de 100 agulhas filtrantes “Well Points” cravadas no terreno, com cerca de 5,0 m de comprimento cada, afastadas de 1,5 m, em cerca de metade da área da obra, ou seja na zona inicial dos trabalhos que se revelou ser a zona geotecnicamente mais complicada;

De referir que este sistema de rebaixamento permitiu captar a totalidade da água proveniente sob o fundo da escavação, chegando a bombear em conjunto cerca de 600 l/s durante 24 horas. Após a execução da cortina de jet grouting, os caudais bombeados baixaram para valores da ordem dos 350 l/s.

4.3 Jet Grouting

4.3.1 Contenção

A solução alternativa foi realizada tal como prevista, ou seja foram executadas 176 colunas de jet grouting com o processo duplo com diâmetros de 1,5 e 2,0 m, em dupla fiada de colunas secantes entre si, ao longo do passeio marítimo ao longo de 150 m (frente rio) intersectando a sua fundação (prisma de enrocamento). Estas colunas variaram entre os 7,0 a 9,0 m de comprimento, garantindo cerca de 2,0 m abaixo da cota de fundo do prisma de enrocamento, impedindo desta forma a afluência directa de água à escavação. Na totalidade foram executadas 1.275 m de colunas de jet grouting de ϕ 1,5-2,0 m.

Após a execução da escavação, foi confirmada a total estanqueidade da cortina (figura 6) que funcionou como barreira física impedindo a entrada directa de água na escavação.



Figura 6 – Aspecto da cortina de jet grouting e furos de captação de água após a escavação com cerca de 4,0 m de profundidade

4.3.2 Fundação

Para a substituição das estacas armadas que não foram possíveis de executar, devido à presença de blocos graníticos de grandes dimensões, foram realizadas cerca de 27 colunas de jet grouting reforçadas centralmente com tubos de microestacas. Estas colunas de jet grouting foram executadas com diâmetros de 1,4 e 1,8 m atingindo profundidades que variaram entre os 10,0 e os 22,0 m, totalizando cerca de 450 m. O reforço com os tubos de microestacas de diâmetro 127 mm, totalizou cerca de 510 m. Na figura 7 é apresentada uma coluna de jet grouting de diâmetro 1,80 m reforçada com microestaca após a escavação.



Figura 7 – Coluna de JG ϕ 1,8 m reforçada com tubo de microestaca de ϕ 127 mm

5. CONTROLE DE QUALIDADE E MONITORIZAÇÃO

5.1 Rebaixamento de nível freático

Durante a instalação do sistema de rebaixamento de nível freático foram também instalados cerca de 10 piezômetros distribuídos ao longo da área a intervir, para controlo da posição do nível freático da água. Foram efectuadas medições horárias dos níveis de água nas primeiras semanas de trabalho, relacionando-as com a subida e descida das marés. Foram também periodicamente registadas as medições do nível da água no interior de algumas agulhas filtrantes bem como nos furos de captação de água, dando indicações constantes do nível freático em profundidade.

5.2 Jet grouting

Foi executado um campo de ensaios prévio constituído por 3 colunas de teste para aferição dos parâmetros a utilizar para cada diâmetro de coluna jet grouting admitindo a resistência prevista em projecto para o solo-cimento. Após determinação destes parâmetros foi implementado um controle de qualidade rigoroso e diário durante a execução dos trabalhos que consistiu no seguinte:

- Controle da implantação topográfica de cada furo;
- Verificação do posicionamento do equipamento de furação em cada furo;
- Controle da verticalidade das varas de furação com aplicação de nível;
- Verificação da profundidade e tipo de terrenos atravessados;
- Registo manual e automático dos parâmetros utilizados (Pressões, Caudais, Velocidade de Subida, Rotação);
- Verificação das características da calda: quantidades (traço) e peso específico;
- Verificação do peso específico da lama de refluxo.

5.2.1 Caldas

Para a execução das caldas de cimento e água foram determinados em testes as características das mesmas consoante os diferentes diâmetros das colunas de jet grouting utilizados para os diferentes objectivos geotécnicos, conforme se resume no seguinte quadro 2.

Quadro 2 – Características da calda de cimento utilizada para os diferentes diâmetros de colunas de jet grouting

Diâmetro da Coluna (m)	Tipo de Trabalho Geotécnico	Relação A/C	Peso Especifico da Calda (ton/m ³)	Peso Especifico do Refluxo (ton/m ³)	Objectivo das Colunas
1,40	Colunas de JG Reforçado com Microestacas	0,8	1,56	1,8	Resistência
1,80					
1,50	Cortina de Colunas de JG	1,2	1,45	1,7	Estanqueidade
2,00					

5.2.2 Provetes solo-cimento

São apresentados no quadro 3, os resultados dos ensaios de compressão simples em alguns provetes colhidos de carotes retiradas das colunas de jet grouting de teste e da própria cortina após escavação para visualização directa.

Quadro 3 – Resultados dos ensaios de compressão simples sobre provetes colhidos de carotes de solo-cimento das colunas de jet grouting.

Identificação do Provede (Nº)	Traço da Calda (A/C)	Idade do Provede (dias)	Módulo de Deformabilidade (GPa)	Tensão de Rotura (MPa)	Objectivo das Colunas de JG
Coluna Teste Nº 1 Carote Nº 1	0,8	12	7,0	5,2	Resistência
Coluna Teste Nº 1 Carote Nº 2	0,8	28	7,5	6,8	Resistência
Coluna Teste Nº 2 Carote Nº 1	0,8	12	10,0	8,5	Resistência
Coluna Teste Nº 2 Carote Nº 2	0,8	28	12,0	14,3	Resistência
Coluna 59 Carote Nº1	1,2	14	4,9	5,2	Estanqueidade
Coluna 59 Carote Nº2	1,2	20	7,2	6,8	Estanqueidade
Coluna 59 Carote Nº3	1,2	28	7,3	6,9	Estanqueidade

Embora não tenham sido efectuados ensaios em número suficiente de forma a permitir uma análise estatística adequada, verifica-se que a resistência média obtida nos ensaios de compressão uniaxial (σ) e o módulo de deformabilidade (E), foram superiores ao especificado no projecto ($\sigma = 4,25$ MPa para as colunas de fundação e $E=5$ GPa para o solocimento da cortina).

5.2.3 Determinação do diâmetro das colunas através de escavação para visualização directa

Os diâmetros das colunas de jet grouting obtidos nos ensaios foram comprovados mediante a sua medição efectiva em colunas expostas por escavação, tendo sido observada a obtenção de diâmetros superiores ao especificado em projecto (figura 8)



Figura 8 – Colunas de Jet Grouting de teste com diâmetros superiores a 2,0 m.

6. CONCLUSÕES

A necessidade da diversidade e complexidade das soluções geotécnicas apresentadas devem-se principalmente aos condicionalismos locais específicos não totalmente detectados durante a prospecção geológica, que impuseram algumas adaptações a um projecto essencialmente baseado na utilização de estacas moldadas.

A utilização dos últimos desenvolvimentos da tecnologia de jet grouting por um empreiteiro especializado, permitiu igualmente realizar com sucesso colunas de jet grouting em condições particularmente difíceis, possibilitando a obtenção de diâmetros consideravelmente superiores aos diâmetros de colunas vulgarmente executadas.

Comparando os valores calculados em projecto com os resultados observados em obra, verifica-se que o caudal efectivamente bombeado terá sido inferior ao caudal previamente calculado (cerca de metade); tal poderá dever-se ao facto de que o coeficiente de permeabilidade do solo (K) admitido no projecto ser provavelmente superior ao coeficiente (K) característico efectivo do solo. Este coeficiente (K) não estava disponível antes da execução do projecto, tendo sido inferido por correlação com outras características geomecânicas conhecidas destes solos, pelo que julgamos importante, em projectos futuros da mesma natureza, determinar-se com exactidão este coeficiente na fase de prospecção geológico-geotécnica, de forma a incorporá-lo no modelo de cálculo.

Relativamente aos deslocamentos observados durante a monitorização da escavação, refira-se que estes foram medidos apenas durante uma fase inicial da escavação, e embora sejam muito reduzidos (numa semana mediram-se deslocamentos inferiores a 1 cm), não poderão ser considerados como concludentes relativamente ao valor total de deformação da cortina, sendo difícil o estabelecimento da comparação com o valor de deformação obtido no modelo de cálculo. Em todo o caso a estabilidade da escavação manteve-se até à conclusão da obra.

A conjugação das diversas soluções geotécnicas apresentadas e sua adaptação às adversas condições encontradas “in situ”, aliada a um controle rigoroso da sua execução, permitiu efectuar a escavação de um grande parque de estacionamento subterrâneo a seco e em condições de estabilidade e segurança.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Mota & Companhia SA, Estudo Geológico-Geotécnico na Praça Da Liberdade, 2000.
- [2] Engil/Encil, Ante-Projecto de Fundações e Estruturas para a Construção e Exploração do Parque de Estacionamento da Praça da Liberdade em Viana do Castelo, 2003.
- [3] Programa Polis, Câmara Municipal de Viana do Castelo, Projecto de Execução dos Edifícios e Parque de Estacionamento da Praça da Liberdade, 2003
- [4] Keller, Estudo do Rebaixamento de Nível Freático, 2004.
- [5] Keller, Projecto de execução de Fundações – Colunas de Jet Grouting Reforçadas com Microestacas, 2005.
- [6] Keller, Projecto de Execução da Cortina de Colunas de Jet Grouting, 2005.
- [7] Keller, Catálogo Técnico – Soilcrete, Processo de Tratamento de Solos por Jet Grouting, 2003.