

RECALCE DE UMA CONTENÇÃO PERIFÉRICA EM PAREDE MOLDADA INERENTE À REPARAÇÃO DE UM TROÇO DO CANEIRO DE ALCÂNTARA

UNDERPINNING OF A DIAPHRAGM WALL EXCAVATION DUE TO THE REPARATION OF A PART OF THE “CANEIRO DE ALCANTARA” SEWER

Matias Ramos, Paulo, *Teixeira Duarte, SA, Oeiras, Portugal, pmr@tduarte.pt*

Xavier, Baldomiro, *Teixeira Duarte, SA, Oeiras, Portugal, bx@tduarte.pt*

RESUMO

Esta comunicação refere-se a uma obra de contenção periférica em paredes moldadas executada, com carácter de urgência, para a Câmara Municipal de Lisboa, aquando da reparação do Caneiro de Alcântara, após o acidente que se verificou junto à Estação de Caminhos de Ferro de Campolide, em Novembro de 2003. Condições verificadas ao longo da construção implicaram a diminuição da profundidade dos painéis de parede moldada e a consequente necessidade de recalce. São abordados aspectos relacionados com o dimensionamento e os principais processos construtivos.

ABSTRACT

The authors report the case of an excavation with execution of diaphragm walls for the “Câmara Municipal de Lisboa” (Lisbon’s Mayor Office) due to the urgent need of reparation of the “Caneiro de Alcântara” sewer after the accident occurred near the Campolide Railway Station, in November 2003. Difficulties found during the execution of the diaphragm walls lead to the reduction of their height and to the consequent need of their underpinning. Design and main construction aspects are analyzed.

1. INTRODUÇÃO

A obra de Escavação e Contenção Periférica, com a tecnologia de Paredes Moldadas, foi realizada com carácter de urgência para a Câmara Municipal de Lisboa aquando da reparação do Caneiro de Alcântara, após o acidente que se verificou junto à Estação de Caminhos de Ferro de Campolide em Novembro de 2003.

O acidente consistiu numa rotura da estrutura do Caneiro, junto ao seu hasteal direito, levando ao aluimento de terras e à abertura de uma cratera no pavimento, colocando em risco um muro contíguo em terra armada (Figura 1).



Figura 1 - “Cratera” gerada no pavimento após aluimento de terras originado pela rotura do hasteal direito do Caneiro (fotografias tiradas em Novembro de 2003, logo após o acidente)

2. MEDIDAS PRELIMINARES DE SEGURANÇA E OBSERVAÇÃO DOS DANOS

O acidente ocorrido, além dos evidentes danos gerados, revelava-se de difícil resolução. O aluimento contínuo de terras para o interior da cratera e o transporte das mesmas pelo caudal existente no Caneiro (dada a rotura verificada na sua estrutura) potenciava um cenário de rotura progressiva, sem quaisquer garantias de segurança para a execução dos trabalhos de estabilização do acidente e de reparação do próprio Caneiro. Só a mobilização conjunta de equipas técnicas compostas por elementos da Câmara Municipal de Lisboa e seus colaboradores e por elementos do corpo técnico do empreiteiro (Teixeira Duarte, S.A.) tornou possível a resolução expedita do problema.

Com efeito, a pronta mobilização de equipamento que, à distância da zona instabilizada, permitiu a suspensão de trabalhadores e equipamento para projecção de betão, possibilitou a execução de uma solução que se revelou preponderante para estabilizar a envolvente do acidente e traçar um plano de trabalhos para, em segurança, proceder às obras de reparação da estrutura do Caneiro. A estabilização da zona do acidente foi feita através da execução de um anel em betão projectado (com um mínimo de 0.25m de espessura) com duas camadas de malhasol, ligado à superfície dos taludes da cratera por uma malha de pregagens radiais, vibrocavadas contra a superfície do terreno.

Esse anel em betão armado, projectado e, conseqüentemente, adaptado à geometria da cratera gerada pelo acidente, funcionando à compressão, conseguiu conter o aluimento de terras, tendo-se revelado determinante para a circunscrição da zona afectada (Figura 2).

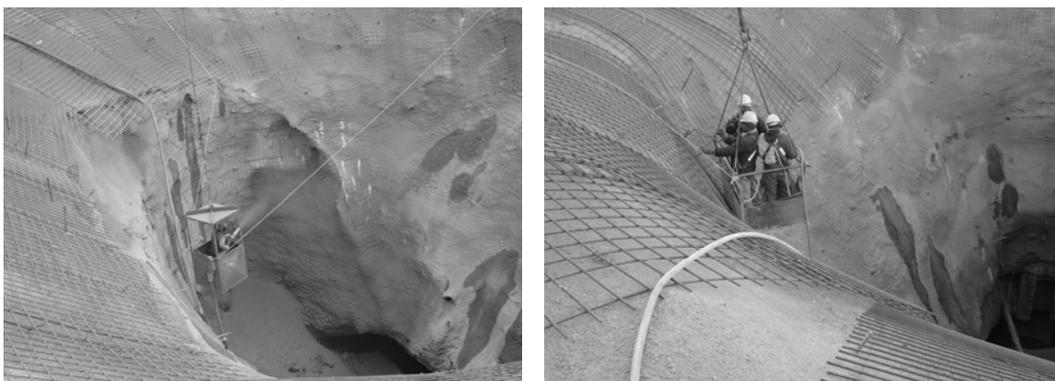


Figura 2 – Execução do anel de estabilização em betão projectado (fotografias tiradas em Dezembro de 2003)

Adicionalmente, foi implementado um sistema de alvos topográficos que, colocado ao longo do pavimento e da superfície do “anel” de betão projectado, possibilitou a realização de leituras que permitiriam tirar elações acerca da evolução das deformações.

Garantidas as condições mínimas de segurança foi possível fazer uma inspecção visual ao interior do Caneiro, descendo através da cratera gerada aquando do acidente, por intermédio de um “bailéu” suspenso por grua (metodologia semelhante à levada a cabo nos trabalhos de contenção das terras da cratera do acidente). Essa inspecção revelou que os danos ocorridos na estrutura do Caneiro constaram de uma rotura do seu hasteal direito, com uma extensão aproximada de cerca de 13.0m.

A inspecção revelou igualmente a existência de fendas longitudinais e transversais na metade do Caneiro em que a rotura não se verificou (hasteal esquerdo), não tendo sido porém possível verificar qual a extensão real dos danos ocorridos, para além dos cerca de 13.0m referidos. As dificuldades aumentaram na avaliação da extensão dos danos na laje de soleira, já que o caudal escoado e as precárias condições de segurança não permitiram o aprofundamento da inspecção visual.

Apesar de não se ter conseguido prever um mecanismo de evolução dos danos no Caneiro, revelou-se evidente que o hasteal esquerdo não oferecia as mínimas condições de segurança, existindo um risco eminente de rotura caso os terrenos marginais até à base do Caneiro não se encontrassem devidamente contidos e estabilizados. A hipótese de uma solução de reparação pelo interior do Caneiro foi, assim, prontamente posta de lado.

3. CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS LOCAIS

A caracterização Geológica e Geotécnica do terreno que aqui se apresenta teve como base a análise dos trabalhos de prospecção geotécnica realizados no local da obra, dos quais se destacam duas sondagens que serviram como elemento orientador de dimensionamento, por forma a permitir a atribuição de parâmetros geomecânicos ao terreno (salienta-se que estas sondagens não identificaram uma camada de depósitos de aterro pedregoso que esteve na origem da necessidade de recalce da contenção).

As sondagens foram executadas pela Teixeira Duarte S.A. em Janeiro de 2004, no âmbito dos trabalhos de prospecção necessários à execução do Projecto de Escavação e Contenção Periférica. A partir delas procedeu-se à caracterização do solo e à execução de ensaios S.P.T..

Os elementos obtidos durante os trabalhos de prospecção, bem como durante a escavação para execução da parede moldada, permitiram reconhecer no local a presença de diversos complexos lito-geotécnicos que foram agrupados do seguinte modo:

Actual a Recente:

T.V. - Terra vegetal

C1A - Depósitos de aterro essencialmente argilosos com pedras de basalto e calcário (SPT<30)

C1A' - Depósitos de aterro essencialmente argilosos com pedras de basalto e calcário

AtPe - Depósitos de aterro pedregoso (identificados como tal apenas durante a execução dos painéis de parede moldada)

C1B - Depósitos aluvionares e coluvionares constituídos por pedras e blocos de basalto e calcário, de dimensão inferior a 0.20m, mais ou menos envolvidos por argila acastanhada

C1C - Depósitos aluvionares constituídos por argila acastanhada com mais ou menos seixos de calcário e basalto

Cretácico:

C2A - Calcário compacto cinzento claro de aspecto apinhado

4. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO ADOPTADA

4.1. Solução inicial

Dadas as precárias condições de estabilidade dos terrenos, o facto de termos cerca de 14.0m de aterros e a possibilidade eminente de novas roturas, dimensionou-se uma solução de reparação “a céu aberto”, em que a estabilidade da escavação seria assegurada pela execução de cortinas de paredes moldadas (com painéis que atingiriam profundidades da ordem dos 20.0m), travadas com recurso a ancoragens pré-esforçadas (Figura 3).

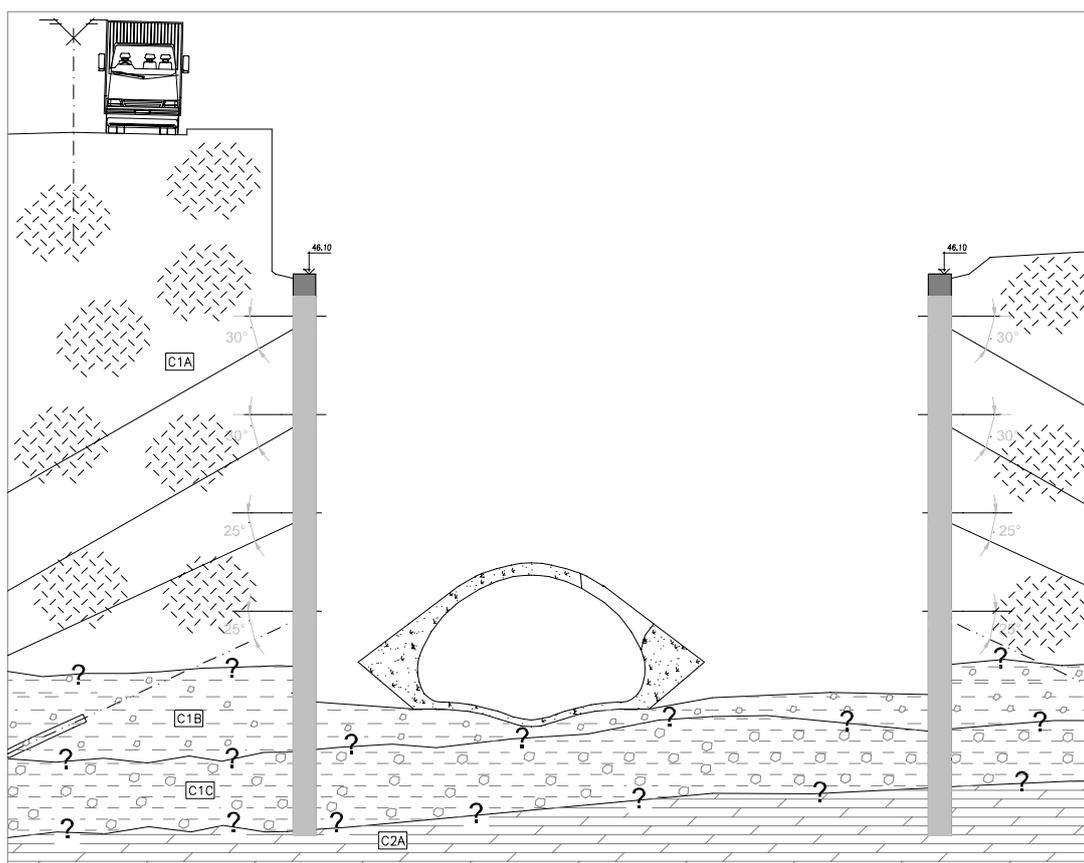


Figura 3 – Corte tipo para a solução de Escavação com Contenção Periférica em Paredes Moldadas (dotadas de 4 níveis de ancoragens)

Essas cortinas de contenção possibilitariam a realização da escavação até à cota da base da fundação do Caneiro (a aproximadamente 16.0m de profundidade), abrangendo uma área que permitiria a sua reparação, em época de estiagem após entubamento do escoamento. Funcionando como um diafragma de elevada rigidez a sua execução, sendo anterior à realização de qualquer escavação, possibilitaria a garantia de estabilidade dos terrenos nas confrontações e permitiria a propagação do efeito das ancoragens em profundidade, à medida que se procedia à escavação.

A adopção desta tecnologia de contenção visava, igualmente, minimizar as deformações resultantes da escavação, os riscos de uma rotura pelo seu “pé” (a resistência ao corte da parede moldada associada à mobilização de passivo na sua ficha limitariam o aumento de tensões na estrutura do Caneiro) e permitiria um rápido desenvolvimento dos trabalhos.

Outra vantagem da adopção da tecnologia de contenção em paredes moldadas prende-se com a possibilidade de se poder operar o equipamento de furação para execução dos painéis à distância, dado poder recorrer-se a uma escavação utilizando uma “benne” de cabos, suspensa por intermédio de uma grua móvel. Deste modo, evitava-se a circulação e permanência de equipamentos pesados junto à zona do acidente e sobre a estrutura do Caneiro.

No entanto, durante escavação para execução dos painéis de parede moldada, foi encontrada uma camada de depósitos de aterro bastante pedregoso, de elevada permeabilidade que, existente a cerca de 14.0m de profundidade (sob as camadas de aterro), não havia sido detectada nas sondagens previamente realizadas no local. O atravessamento dessa camada conduziu à perda da bentonite, inviabilizando assim a solução inicialmente prevista (a segurança da escavação ficaria comprometida com a perda dos seus fluidos estabilizantes).

4.2. Solução adoptada

Por forma a contornar as dificuldades verificadas, implementou-se uma solução alternativa que consistiu na execução dos painéis de parede moldada até uma profundidade que não implicasse o atravessamento da referida camada de depósitos de aterro pedregoso (paredes moldadas com painéis que atingem profundidades na ordem dos 13.0m), (Figura 4).

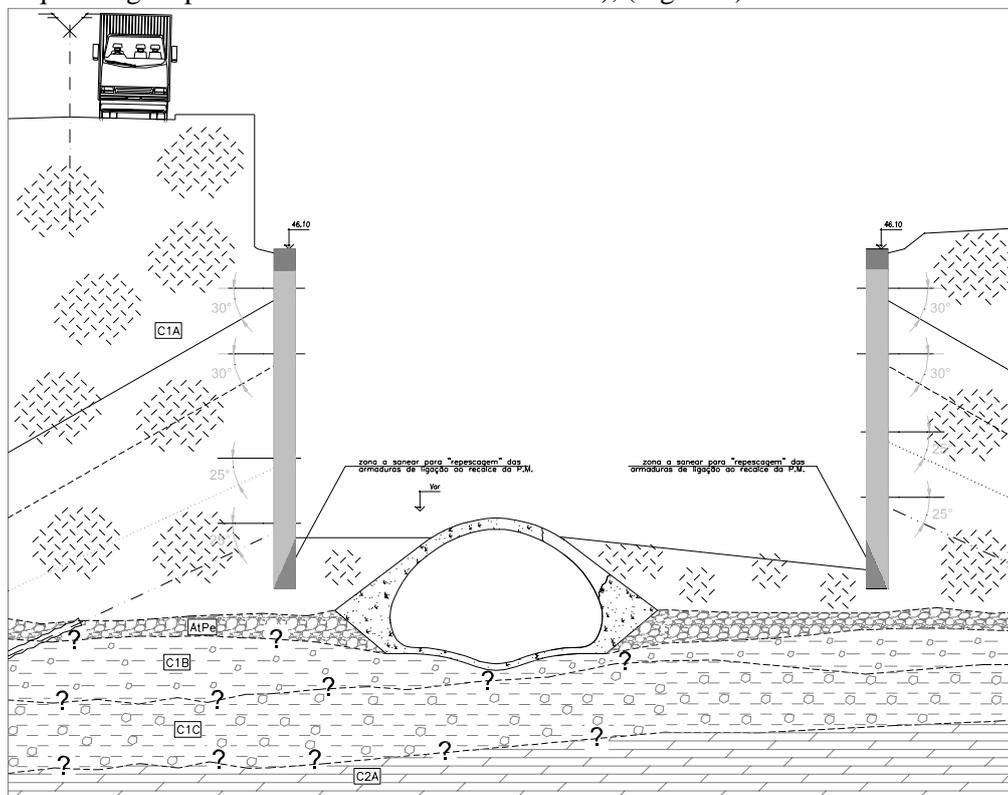


Figura 4 – Corte tipo para a solução de Escavação com Contenção Periférica em Paredes Moldadas, executadas até uma profundidade que não implicasse o atravessamento da camada de depósitos de aterro pedregoso de elevada permeabilidade

Posteriormente, executou-se uma solução de recalce que consistiu na cravação de perfis HEB400 (afastados de aproximadamente 1.5m), vibrocavados a partir de uma plataforma localizada sensivelmente 1.5m acima da cota atingida pela base da parede moldada (Figura 5). Estabeleceu-se a ligação entre esses perfis e a contenção de modo a que estes funcionassem como elementos de rigidez axial, absorvendo as forças inerentes à componente vertical das ancoragens e ao peso próprio da parede moldada, e de flexão, através da mobilização do passivo do terreno na sua ficha (Figuras 6 e 7).

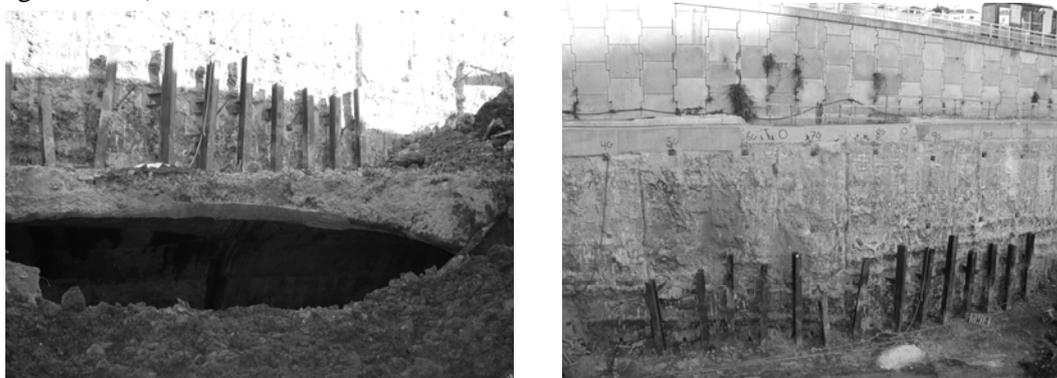


Figura 5 – Contenção imediatamente após a cravação dos perfis HEB400 e ligação destes à parede moldada (Fotografias tiradas em Abril de 2004)

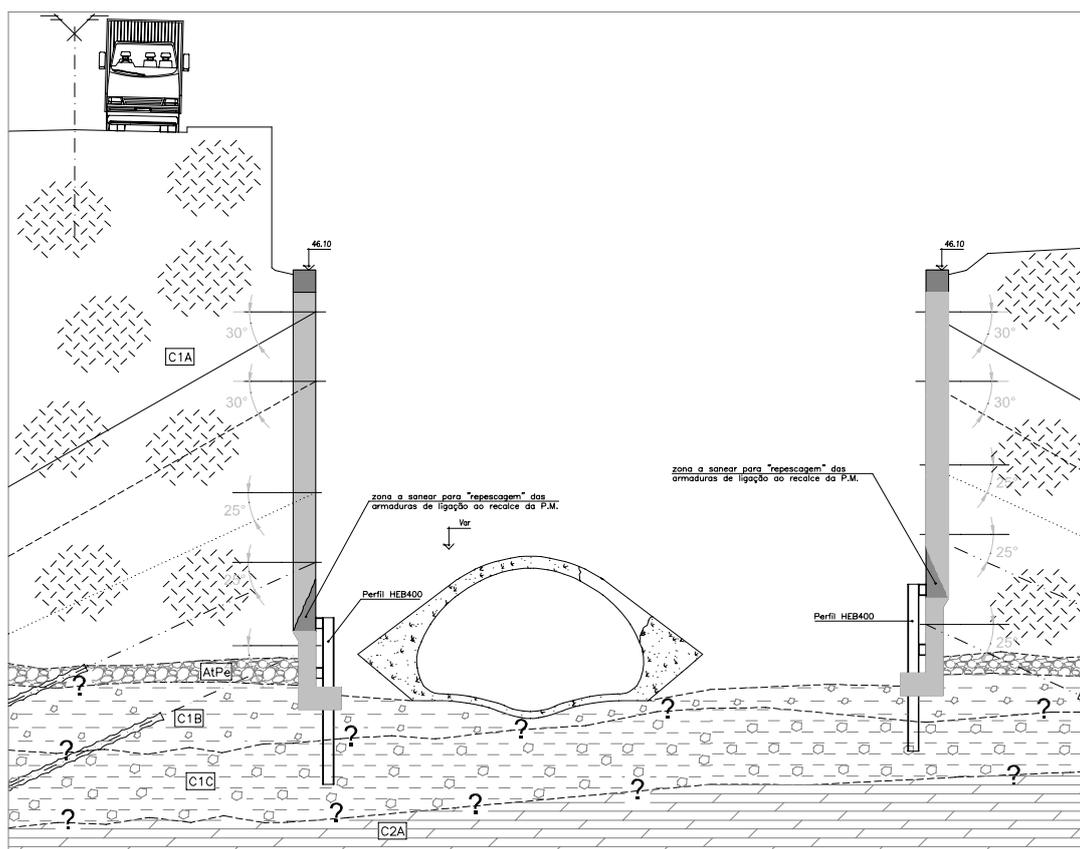


Figura 6 – Corte tipo evidenciando a totalidade da escavação já com execução da solução de recalce da cortina de parede moldada (que, dada a necessidade de recalce implicou a adopção de 5 níveis de ancoragens)



Figura 7 – Execução faseada do recalce da contenção (confrontação Sudeste) e escavação/contenção já totalmente executada (confrontação Noroeste) - (fotografias tiradas em Maio de 2004)

Com auxílio dos perfis e recorrendo a um faseamento criterioso para a estrutura de betão armado que complementa esta solução de recalce (que incluiu a execução faseada de painéis primários e secundários em betão armado), foi possível atingir as cotas de escavação necessárias à reparação do Caneiro, mantendo a segurança da escavação, minimizando os riscos de uma rotura pelo seu “pé” e limitando o aumento de tensões na estrutura do Caneiro.

Dado o tipo de intervenção, o seu carácter de urgência e as dificuldades encontradas, o Projecto foi elaborado de forma evolutiva, com contínuo acompanhamento da obra.

5. DIMENSIONAMENTO DA SOLUÇÃO

5.1. Método de Cálculo

Para determinação dos esforços de dimensionamento da contenção adoptou-se um modelo unidimensional, discreto, sobre apoios elasto-plásticos de resposta linear. A análise do sistema foi feita pelo método dos deslocamentos.

A quantificação das solicitações foi definida por uma trajectória de carga, que teve em conta o processo construtivo adoptado a fim de contabilizar os deslocamentos instalados na estrutura durante o processo de escavação.

Sendo não linear o sistema governativo global, a resolução do sistema foi feita por um processo incremental. As fases de escavação foram simuladas por incrementos sucessivos de carga, de acordo com o faseamento estabelecido para a execução da contenção.

Os incrementos de carga correspondentes a uma fase de escavação foram determinados a partir dos diagramas de impulso mínimo (impulso activo) da etapa em estudo e da etapa anterior. A resposta da estrutura a esse incremento foi caracterizada pelo estado de tensão no terreno determinado na etapa anterior.

5.2. Quantificação das Acções

5.2.1. Sobrecargas

A sobrecarga mínima considerada para efeitos de cálculo corresponde a uma sobrecarga uniformemente distribuída ao longo do contorno da escavação com um valor de 10 kN/m², pretendendo simular os efeitos de eventuais acumulações de equipamento ou materiais, bem como a circulação de veículos pesados durante a execução da obra.

Na confrontação com o muro de terra armada, a acção correspondente ao peso próprio do muro e das terras suportadas foi igualmente considerada como uma sobrecarga. Para tal, adoptou-se uma altura de terras de 4.00m (altura média do muro de terra armada) à qual se multiplicou o peso volúmico da mesma ($\gamma=18\text{kN/m}^3$) por forma a obter o valor da sobrecarga actuante inerente à confrontação com o muro.

5.2.2. Quantificação dos Impulsos

Para o cálculo dos impulsos limites adoptou-se a teoria de *Rankine*, considerando o efeito favorável da coesão dos terrenos, tendo-se obtido os seguintes valores:

a) Coeficiente de impulso activo:

$$\phi = 25^\circ \Rightarrow k_a = 0.406; \phi = 30^\circ \Rightarrow k_a = 0.333; \phi = 35^\circ \Rightarrow k_a = 0.271$$

b) Coeficiente de impulso passivo:

$$\phi = 25^\circ \Rightarrow k_p = 2.464; \phi = 30^\circ \Rightarrow k_p = 3.000; \phi = 35^\circ \Rightarrow k_p = 3.690$$

c) Redução do impulso activo devido à coesão:

Devido à existência de coesão procedeu-se à redução do impulso activo do factor $2c\sqrt{k_a}$, onde “c” representa a coesão do terreno e k_a o impulso activo.

- d) Aumento do impulso passivo devido à coesão:
 Devido à existência de coesão no terreno, procedeu-se ao aumento do impulso passivo, adoptando o factor $2c\sqrt{k_p}$.

5.2.3. Impulsos da água

Não foi considerada a acção dos impulsos hidrostáticos resultantes da existência de água no terreno dado esta ter sido detectada a uma profundidade inferior à da base da contenção.

5.3. Cálculo de Esforços

O cálculo de esforços foi feito com base no modelo de cálculo atrás referido, tendo-se majorado, para a fase provisória, as acções resultantes do modelo por 1.2.

As envolventes de esforços e deslocamentos referentes aos perfis tipo analisados são representadas nas figuras seguintes (Figuras 8 e 9):

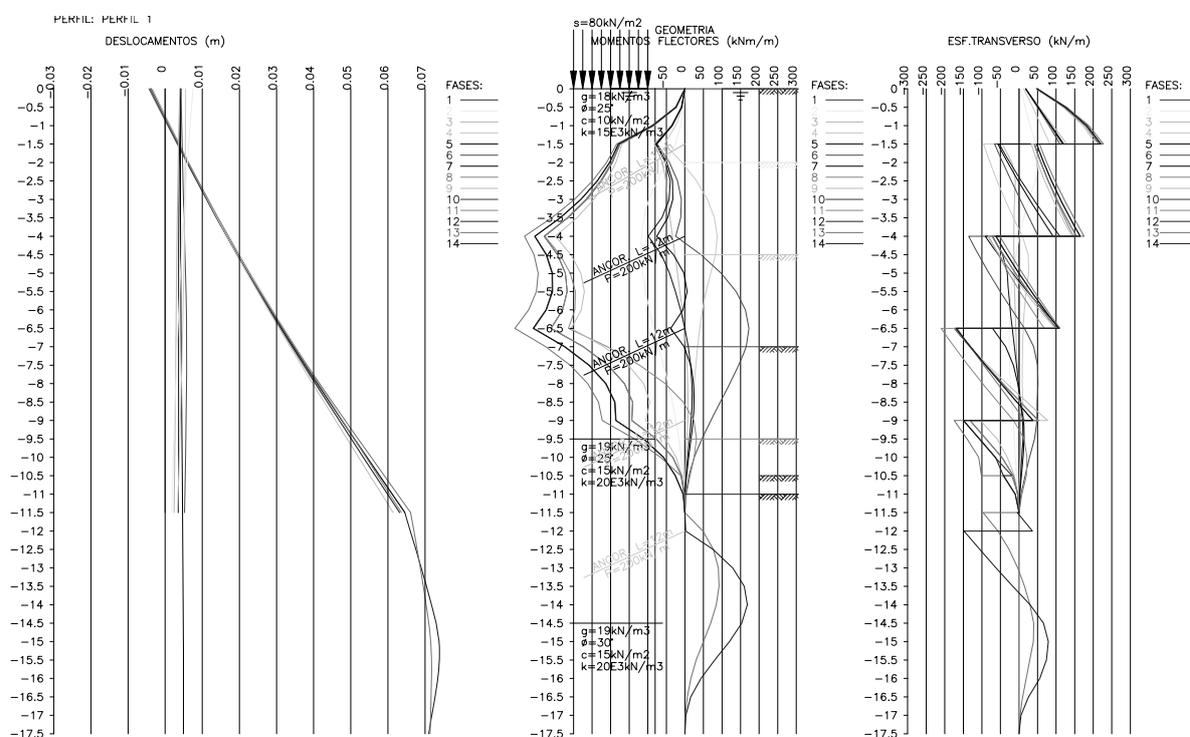


Figura 8 – Diagramas de esforços (momentos flectores e esforço transverso) e deformações correspondentes ao cálculo na confrontação com um muro de terra armada (confrontação Sudeste do lado da Av. Calouste Gulbenkian)

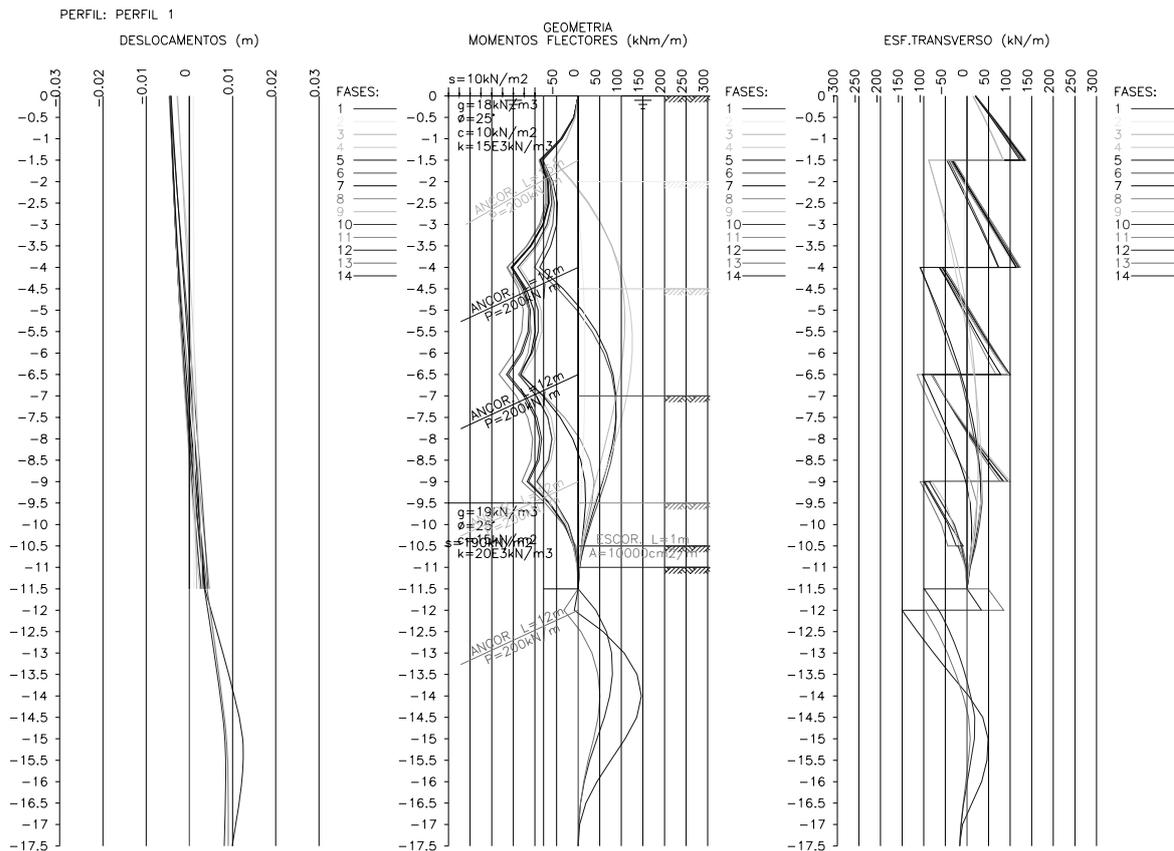


Figura 9 – Diagramas de esforços (momentos flectores e esforço transverso) e deformações correspondentes ao cálculo na confrontação com a estação de Campolide (confrontação Noroeste)

A partir da análise dos diagramas de esforços anteriormente apresentados, foi possível dimensionar as armaduras das paredes considerando esforços envolventes.

5.4. Capacidade de suporte da parede moldada e da sapata do recalce

A capacidade de suporte da sapata do recalce da parede moldada foi avaliada através da comparação do esforço actuante na sua base com o da tensão admissível considerada para o terreno à profundidade a que foi executada.

De acordo com as sondagens executadas no local, o terreno de fundação da sapata do recalce pertence à base da camada de aterro com pedras de basalto. À profundidade em que foi executada a sapata de fundação do recalce (uma profundidade aproximada de 16.00m) o aterro atinge níveis de consolidação que lhe permitem apresentar uma melhoria das características geomecânicas. Com efeito, os ensaios SPT executados a essa profundidade revelaram valores de 60 pancadas em 2ª fase. Esses valores de SPT, apesar de revelarem a referida consolidação do material de aterro, tiveram que ser extrapolados com algum cuidado, já que as grandes discrepâncias obtidas entre os valores de 1ª e 2ª fase, aliadas à existência de um ensaio que, executado sensivelmente à mesma profundidade, revelou valores de SPT bastante inferiores (na ordem das 11 pancadas), indiciavam ter sido obtidos pela intersecção com um bloco pedregoso, constituinte do referido aterro. Deste modo, foram consideradas tensões admissíveis na base da sapata na ordem dos 250 kN/m².

O valor do esforço axial actuante ao nível do topo da sapata da contenção foi obtido a partir da soma dos valores correspondentes ao peso próprio da parede moldada e do recalce adicionados da componente vertical das ancoragens. A este valor foi subtraída a parcela do atrito lateral entre a cortina de contenção e o terreno existente e adicionado o valor correspondente ao peso próprio da sapata da contenção.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não obstante as dificuldades encontradas, agravadas pela existência da camada de depósitos de aterro bastante pedregoso e de elevada permeabilidade, não detectada nas sondagens (que limitou a profundidade atingida pela cortina de paredes moldadas), foi possível a implementação de uma solução alternativa que, com recurso ao recalce da contenção, permitiu a execução da escavação de forma expedita, recorrendo ao equipamento previamente mobilizado para a obra e em tempo compatível com a reparação da estrutura do Caneiro em época de estiagem (Figura 10).

É de salientar que a implementação desta solução só foi possível graças à contínua colaboração dos técnicos da Câmara Municipal de Lisboa que, em acompanhamento permanente da obra, se inteiraram das dificuldades encontradas e, em conjunto com o empreiteiro, tudo fizeram para a sua resolução.



Figura 10 – Aspecto do final da escavação (fase de reconstrução da estrutura do Caneiro – fotografias tiradas em Julho de 2004)

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Câmara Municipal de Lisboa a autorização para publicação desta comunicação.

8. REFERÊNCIAS

- [1] Relatório de Reconhecimento Geotécnico - Caneiro de Alcântara Junto à Estação de Campolide em Lisboa - Teixeira Duarte (Janeiro 2004).
- [2] Projecto de Reparação do Caneiro de Alcântara Inerente ao Acidente Ocorrido Junto à Estação de Campolide em Lisboa - Projecto de Escavação e Contenção Periférica com Tecnologia de Paredes Moldadas - Teixeira Duarte (Janeiro 2004).
- [3] Projecto de Reparação do Caneiro de Alcântara Inerente ao Acidente Ocorrido Junto à Estação de Campolide em Lisboa - Projecto de Escavação e Contenção Periférica com Tecnologia de Paredes Moldadas - Teixeira Duarte (Fevereiro 2004).