

MUROS DE SOLO PREGADO
O CASO DA OBRA NA AV. 25 DE ABRIL
EM ALMADA

MANUEL LARANJEIRA*
JOSÉ VELOSO**
GONÇALVES HENRIQUES***

RESUMO

Descreve-se o caso de um muro vertical de solo pregado, com 4 a 7 m de altura e 165 m de extensão, integrando zonas com predominância de areolas compactas do Miocénio ou de aterros argilosos, a que corresponderam reforços e custos diferenciados. Além dos resultados dos ensaios de arranque das pregagens e de uma descrição sumária do método de cálculo, apresentam-se custos comparados com os de outras propostas obtidas no concurso de concepção-construção.

-
- * Eng. Civil - Divisão de Obras - CÂMARA MUNICIPAL DE ALMADA
** Eng. Civil - Projectista de Fundações - TEIXEIRA DUARTE, S.A.
*** Eng. Civil - Director de Obra - TEIXEIRA DUARTE, S.A.

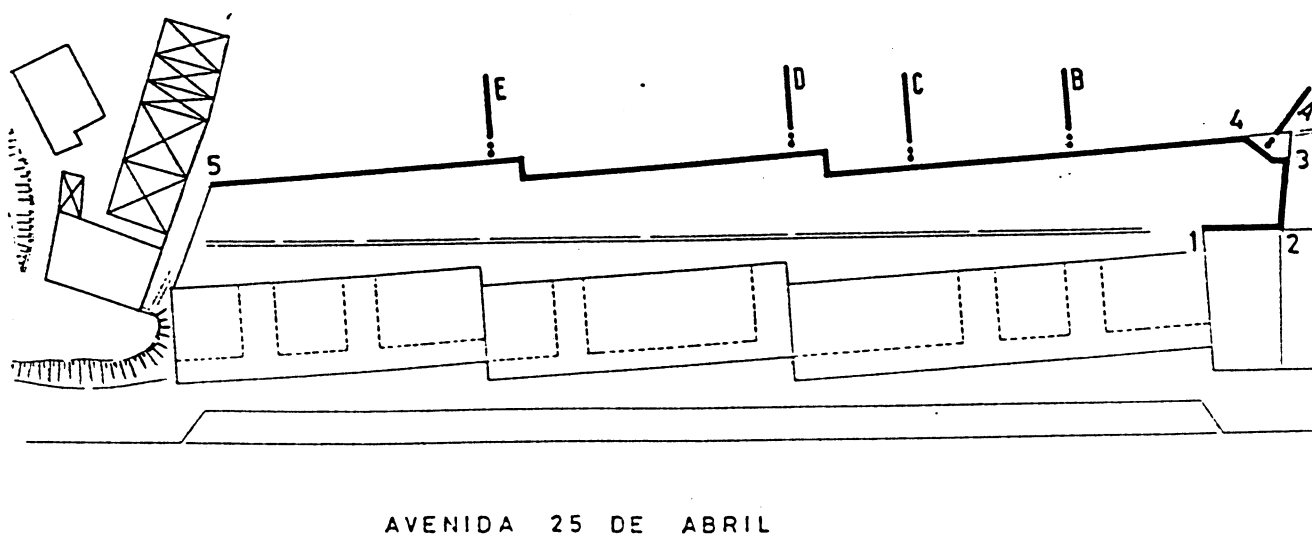
1 - INTRODUÇÃO

No âmbito da construção de obras de suporte de terras no Concelho de Almada, a Divisão de Obras deste Município tem adoptado soluções alternativas ao muro tradicional (em betão armado ou em betão ciclópico) nos casos em que essas soluções possam traduzir-se em benefícios de ordem económica, estética ou de integração paisagística.

Como se sabe, o muro clássico em betão armado (muro consola ou muro com contrafortes), quando atinge alturas apreciáveis, traduz-se geralmente em obras de execução morosa e de custos significativos devido à necessidade, entre outras, de se efectuarem movimentos de terras volumosos, grandes superfícies de cofragem e drenagem eficaz do aterro de encosto.

Por outro lado, a integração urbana desses muros é geralmente delicada, obrigando ao tratamento cuidado do paramento do alçado de modo que atenua o efeito do "paredão" inestético. Nesse sentido, e consoante os casos, tem a Divisão de Obras procurado soluções variantes, desde 1981, com recurso aos muros de gabião, muros em "terra armada", muros em "solo pregado" e estabilização de taludes com rede de aço galvanizado, tipo rede de gabião.

No caso presente, existia um talude sobreelevado, com altura variável entre 4 e 7 metros, desenvolvendo-se numa extensão de 165 m e situado nas traseiras de um conjunto de edifícios da Av. 25 de Abril em Almada. Pretendia-se a execução de um estacionamento automóvel, com capacidade para 120 viaturas ligeiras. O espaço necessário para o estacionamento seria obtido através do corte e regularização do talude e com recuo de cerca de 9 metros até ao limite do terreno do logradouro da Escola Primária confinante em toda a extensão do parque (Fig. 1).



Deste modo, foi aberto concurso de concepção-execução, dirigido a Empresas da especialidade, com as seguintes condicionantes:

- Interferência mínima dos trabalhos com o normal funcionamento da escola;
- Corte do talude de tal modo que se evitassem escavações para além do limite do parque de estacionamento;
- Corte e regularização do talude para obtenção de um paramento vertical;
- Prazo de execução curto.

Foram obtidas propostas para execução da obra com recurso aos seguintes processos construtivos:

- Muro-consola em betão armado;
- Parede com tirantes pré-esforçados;
- Muro em solo pregado.

A solução do muro em solo pregado revelou-se mais vantajosa, tanto em preço como em prazo, especialmente quando comparada à solução do muro-consola em betão armado, tendo respondido satisfatoriamente aos requisitos anteriormente referidos.

2 - DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

Atendendo a que a maior parte do talude a escavar era constituído por areolas compactas do Miocénio, recobertas por 1 a 3 m de aterros, considerou-se que era preferível reforçar o solo do que construir um muro de suporte tradicional, cuja execução obriga a uma escavação prévia de terrenos relativamente densos ou consistentes, substituindo-os por aterros mal compactados no tardo dos muros.

Concebeu-se uma solução em muro de solo pregado, executado de cima para baixo, que se iniciou pela construção de um lintel de betão armado no topo do corte, com a secção de 0,30 x 0,60 m, no qual foi fundada a vedação da escola. Através deste lintel foi executada uma primeira fiada de pregagens, inclinadas de 30° com horizontal a fim de não serem danificadas por eventual abertura de valas nas proximidades.

Os pormenores construtivos são apresentados na Fig. 2.

As Fot. 1 a 3 ilustram as fases de escavação, gunitagem e furação. A Fot. 4

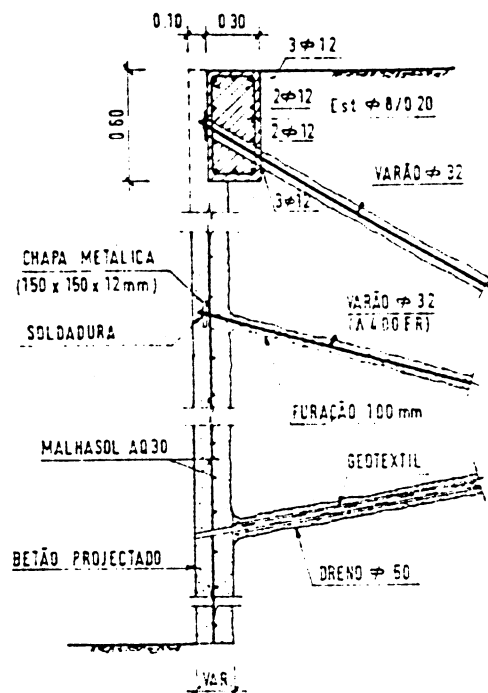


Fig. 2



Foto 1

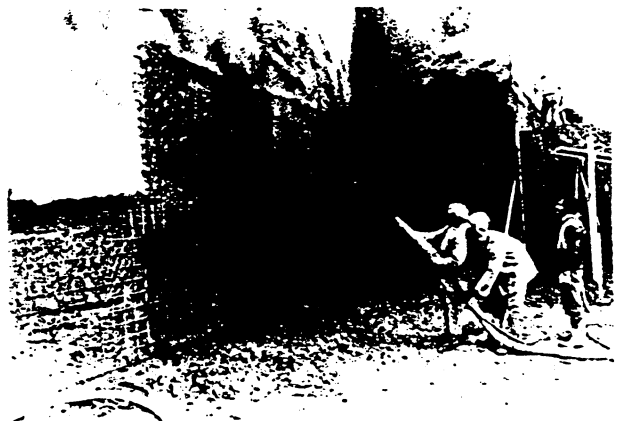


Foto 2



H-20

Foto 3

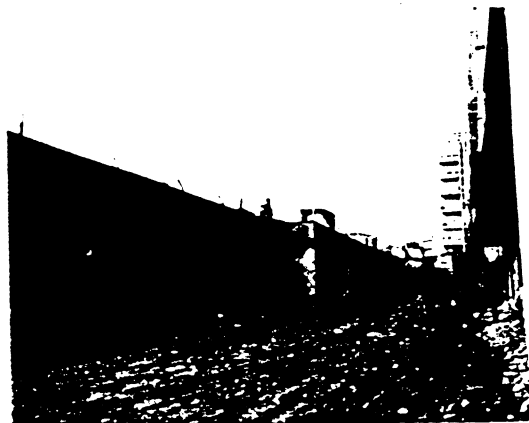


Foto 4

mostra o aspecto final da obra.

As pregagens foram constituídas por varões de diâmetro 32 mm em aço A 400 ER, com 3 a 6 m de comprimento, selados com calda de cimento em furos de 10 cm de diâmetro abertos a trado mecânico ou a martelo de roto-percussão.

À medida que prosseguia a escavação os varões eram colocados em furos com 15° de inclinação descendente de modo a permitir o enchimento dos mesmos por gravidade e a superfície do corte era revestida com rede Malhasol AQ 30 envolvida em gunitagem.

Assim que as pregagens estavam ligadas ao revestimento por meio de placas de topo, a camada seguinte podia ser imediatamente escavada, visto que o maciço já estava estabilizado pelas armaduras superiores. Seguiu-se uma segunda projecção de gunitagem a recobrir a malha de aço electro-soldada e as chapas do topo das pregagens, prevendo-se um revestimento com a espessura total de 10 cm.

Na parte inferior foram executados furos drenantes sub-horizontais para alívio de eventuais pressões hidrostáticas no tardo do revestimento. Foram constituídos por tubos crepinados e envolvidos em geotextil introduzidos em furos com 3 ou 4 m de comprimento e 10° de inclinação ascendente.

3 - TIPOS DE TERRENOS E ENSAIOS PRÉVIOS DE ARRANQUE

Após os trabalhos de escavação e desmonte de antigos muros de alverania e betão, parcialmente desmoronados pelas infra-escavações entretanto realizadas para implantação dos edifícios marginais à Avenida, observou-se a presença de aterros argilosos de espessura variável sobre areolas argilosas do Miocénio.

Entre os perfis A e C predominam os aterros argilosos com 4,5 a 3 m de espessura sobre o Miocénio descomprimido. Entre os perfis C e E predominam as areolas compactas do Miocénio com cascões calcários dispersos recobertas por aterros com 3 a 1 m de espessura.

As malhas de pregagens inicialmente previstas foram adaptadas no decorrer da obra em função do atrito solo-pregagem determinado nos ensaios prévios de arranque e do comportamento exibido pelos terrenos encontrados.

Enquanto se iniciava a construção da viga de coroamento executaram-se 3 pregagens de ensaio na base do talude. Duas delas interessaram principalmente

as formações Miocénicas descomprimidas (siltes argilosos). O terceiro ensaio foi executado em formações Miocénicas compactas (areolas argilosas com cascões).

Efectuaram-se duas pregagens de ensaio na parte superior do muro, em aterros.

Os resultados estão condensados no quadro seguinte:

ENSAIOS DE ARRANQUE	TIPO DE TERRENO	COMPRIM. SELADO (m)	TRACÇÃO MÁXIMA (KN)	DESLOCA- MENTO (mm)	FORÇA DE ARRANQUE UNITÁRIA (KN/m)
E1	Miocénio descompr.	2	80	----	40
E2	"	2,5	110	----	44
E3	Miocénio compacto	2,5	150	> 4,5	60
E4	Aterro	1,5	34,2	> 2	23
E5	"	1,5	51,3	> 6,5	34

Seguem-se as fotografias de um ensaio de arranque na parte superior do muro (Fot. 5) e do aspecto de uma pregagem de ensaio na base do talude (Fot. 6).



Foto 5

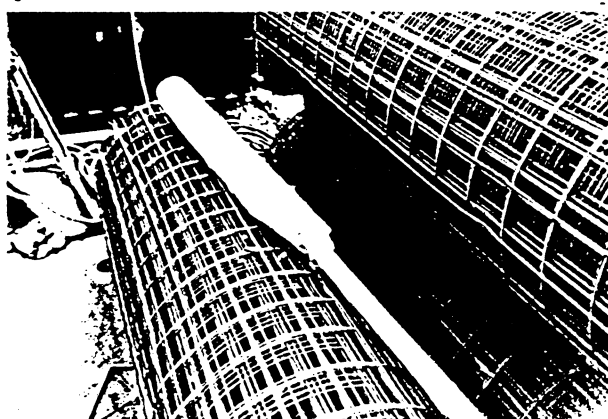


Foto 6

4 - COMPORTAMENTO DOS TERRENOS E ADAPTAÇÃO DO PROJECTO

A obra de suporte das escavações foi executada nos meses de Fevereiro a Abril de 1987.

O recinto da Escola, na plataforma superior, apresentava um pequeno declive na direcção do muro, convergindo as águas para a zona entre os perfis A e C, onde é maior a espessura de aterros. O colector de águas pluviais aí existente interceptava a frente de escavação naquela zona. Foi removido e parcialmente reinstalado a cerca de 5 m de distância do muro, tendo sido tapado o sumidoro existente a montante.

Durante as chuvadas intensas de Fevereiro e princípios de Março, as águas descarregavam por cima da viga de coroamento, em especial na zona entre os perfis A e B, amolecendo os aterros argilosos que iam sendo escavados para gunitagem e pregagem.

Em meados de Março surgiu uma fenda na plataforma superior, entre os perfis A e C, a cerca de 3 m da viga de coroamento, enquanto se procedia à escavação para o 3º nível de pregagens.

Bastante amolecidos, os aterros expostos iam-se desprendendo, provocando infra-escavações sob o revestimento existente, que obrigaram a um enchimento de gunitagem com 0,40 m de espessura média, efectuado em duas fases (Fot. 7 e 8).



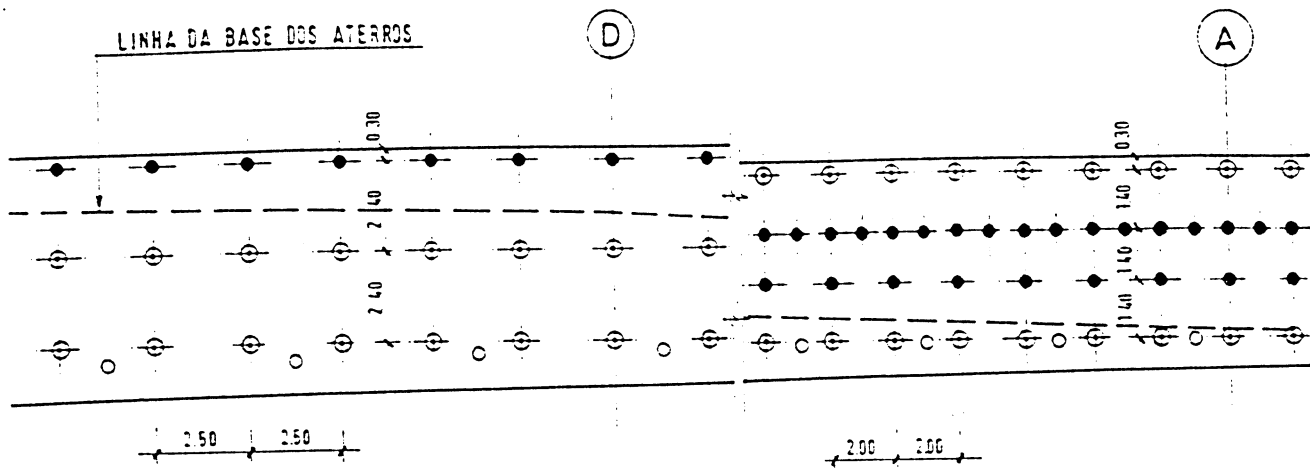
Foto 7



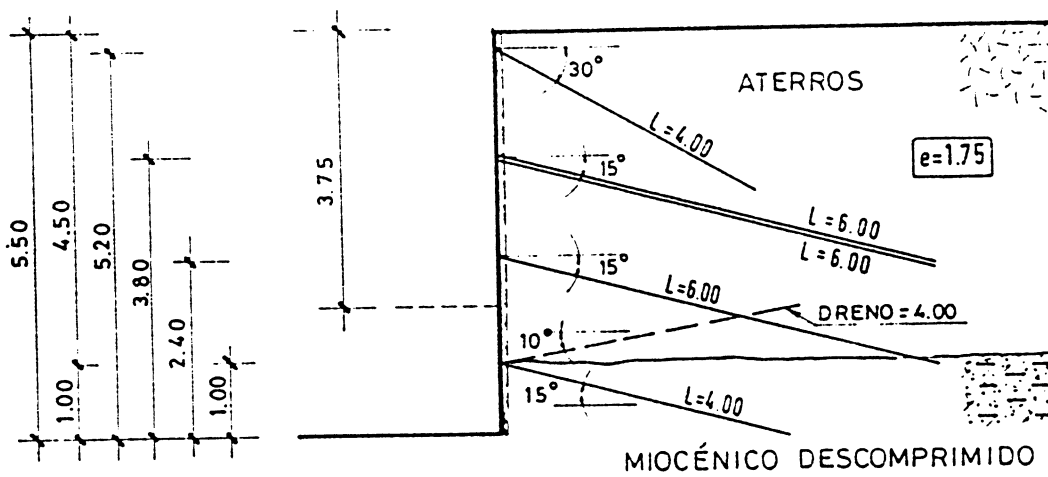
Foto 8

Os assentamentos do maciço, delimitado pela fenda e pelo corte vertical, estabilizaram assim que se prolongou a cortina de revestimento até à base dos aterros, onde aflora o Miocénio descomprimido.

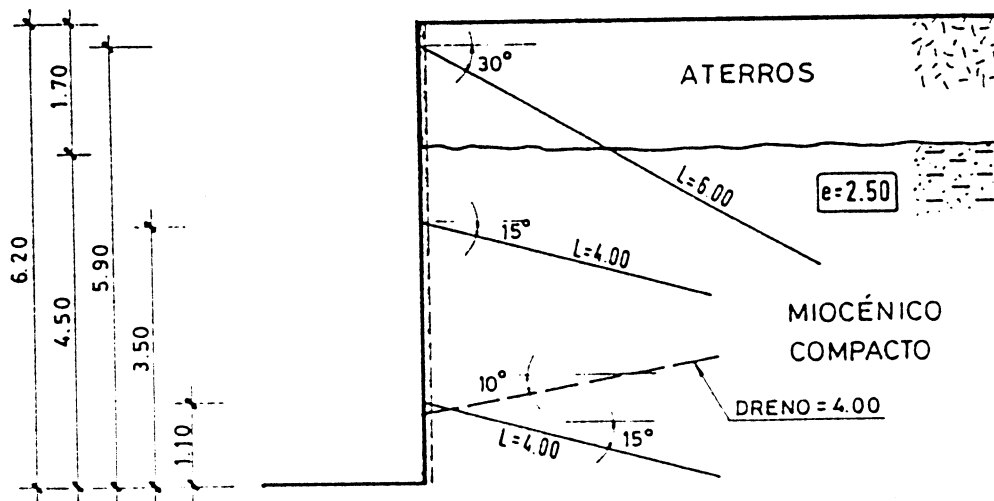
ALÇADO



PERFIL A



PERFIL D



Subiu-se a plataforma de trabalho por meio de aterro com 1 m de altura a fim de se reforçar o 2º nível com uma fiada intercalar de pregagens de 6 m de comprimento. Seguiu-se a realização do 3º nível de pregagens e a escavação até à cota final, para o 4º nível. (Ver alçado e perfil A na Fig. 3).

Entre os perfis C e E os cortes expuseram areolas compactas com cascos calcários dispersos, numa espessura de 3 a 6 m. Face à boa qualidade dos terrenos e ao resultado do ensaio de arranque, manteve-se a malha de pregagens mas reduziram-se de 6 para 4 m os comprimentos relativos aos 2º e 3º níveis. (Ver alçado e perfil D na Fig. 3).

Passado mais de um ano sobre a conclusão do muro, os selos de argamassa entretanto colocados em algumas fissuras não acusam movimentos posteriores. Tendo em conta a presença dos drenos e a reposição total do sistema de esgotos pluviais e do revestimento betuminoso do recreio da Escola, os aterros vão recuperando o teor de humidade natural e o acréscimo de resistência correspondente, sendo improvável que alguma vez venham a estar sujeitos às condições desfavoráveis de encharcamento e amolecimento ocorridas durante a execução da obra.

5 - MÉTODO DE CÁLCULO E VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE

As pregagens são passivas e daí a necessidade de uma certa deformação do solo para trabalharem à tracção, limitada pela tensão de cedência do aço e pela resistência ao arranque devida ao atrito mobilizado ao longo da interface calda-terreno. Nelas se desenvolvem ainda esforços de corte e flexão cujos valores dependem da rigidez do conjunto varão-calda em relação ao terreno.

O facto de os esforços nas pregagens serem obtidos para pequenas deformações justifica a utilização de métodos de cálculo à rotura em que se introduz o esforço normal e o esforço transversal de cada uma das pregagens cortadas pela superfície de rotura pontencial.

O reforço do terreno foi dimensionado de tal modo que a segurança em relação à rotura seja maior que 1,5, considerando uma sobrecarga uniformemente distribuída de 10 KN/m² na plataforma superior.

O dimensionamento do muro pregado foi feito verificando a estabilidade em relação a círculos de rotura potenciais. Os cálculos são conduzidos pelo método das fatias, análogo ao de Fellenius. O coeficiente de segurança mínimo é determinado com o auxílio de um programa de cálculo automático.

A força de tracção mobilizável é limitada pela resistência à tracção do aço e pela força de arranque da parte da pregagem situada fora do círculo de escorregamento potencial (L_r = comprimento resistente).

Numa análise elasto-plástica, a capacidade do solo para resistir a forças laterais actuando transversalmente ao eixo das pregagens depende do módulo de reacção (k_s) e é limitada pela pressão limite Menard (p_l). Aplicando a esta um coeficiente de segurança 2, isso equivale a tomar para pressão da pregagem sobre o solo o valor da pressão de fluência.

Não havendo plastificação prévia do varão no ponto de momento máximo, o esforço transversal na pregagem, limitado pela resistência ao corte do aço, será, assimilando a pregagem a uma estaca infinitamente longa ($L_r \geq 3\lambda$) e livre à cabeça:

$T_t \text{ máx.} = p_l \cdot B \cdot \lambda / 4$, em que
 B = diâmetro total da pregagem

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{4 E \cdot I}{K_s \cdot B}}, \text{ com } I = \pi d^4 / 64 \text{ (só se considera o aço)}$$

Se o comprimento resistente for inferior a 3λ , o esforço transversal na pregagem é interpolado linearmente entre zero e $T_t \text{ máx.}$

Sendo T_n e T_t os esforços normal e transversal de cada uma das pregagens cortadas pela superfície potencial de rotura, por metro linear de muro, o coeficiente de segurança é dado pela expressão:

$$F = \frac{\sum [\sum (W+S) \cdot \cos \alpha + \sum T_n \cdot \sin (\alpha + \beta) - \sum T_t \cdot \cos (\alpha + \beta)] \cdot \tan \phi + \sum c \cdot l}{\sum (W+S) \sin \alpha - \sum T_n \cos (\alpha + \beta) - \sum T_t \sin (\alpha + \beta)}$$

em que:

W = peso de cada fatia de espessura unitária
 S = sobrecarga em cada fatia
 α = ângulo da base da fatia com a horizontal
 β = ângulo da fiada de pregagens com a horizontal
 b = largura da fatia
 $l = b / \cos \alpha$ = comprimento da base da fatia

Atribuíram-se as seguintes características aos aterros, formações Miocénicas descomprimidas e formações Miocénicas compactas:

TIPO DE TERRENO	ϕ (°)	c (KN/m ²)	γ (KN/m ³)	pl (KN/m ²)	ks (KN/m ³)	fl (KN/m)
ATERROS	20	10	18	400	10.000	20
MIOCENICO DESCOMPRI.	30	25	19	750	20.000	40
MIOCENICO COMPACTO	35	30	20	2000	40.000	60

Obtiveram-se os seguintes coeficientes de segurança:

Perfil A (H: 5,50 m)

- Fase intermédia de execução antes do reforço da malha de pregagens..... F = 1,16
- Idem, após o reforço..... F = 1,51
- Fase final..... F = 1,70

Perfil E (H = 6,85 m)

- Fase final..... F = 1,81

6 - CONCLUSÕES. CUSTOS COMPARADOS

A obra foi concluída com êxito e dentro do prazo previsto, apesar de ter surgido uma zona com predominância de aterros argilosos e de os trabalhos terem decorrido num período de forte pluviosidade.

A associação daqueles factores adversos obrigou à execução de sobregunitagem e densificação das pregagens na zona compreendida entre os perfis A e C, conduzindo a um custo de 19.000\$00/m² de alçado, nessa zona.

Em contrapartida, nos restantes troços de muro, onde predominavam as areolas compactas do Miocénio com cascões calcários dispersos, atingiram-se custos da ordem de 9.100\$00/m². O custo unitário médio final foi de 11.600\$00/m² para uma área total de alçado de 928 m².

O quadro seguinte compara os custos das três soluções apresentadas a concurso, reportados a Abril de 1987 (data da conclusão):

SOLUÇÃO	PRAZO	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO GLOBAL
Solo pregado	60 dias	11.000\$00	10.208.000\$00
Parede atirantada*	80 dias	12.350\$00	11.461.000\$00
Betão armado	140 dias	34.000\$00	31.600.000\$00

*Não incluía trabalhos de betão armado, exigindo a participação de outra Empresa.

A superfície resultante da gunitagem logrou atingir o efeito pretendido do ponto de vista plástico, apesar de ter sido acabada ao sarrafo, sem tratamento especial posterior. Noutros casos, poderão conseguir-se acabamentos mais refinados, utilizando, por exemplo, uma leve gunitagem de acabamento com corante incorporado ou executando uma cortina de betão armado e cofrado.

A densidade média das pregagens foi de 1,30 m/m² de paramento de muro. Na zona mais reforçada a densidade das pregagens atingiu os 2,20 m/m² enquanto que não ultrapassou 1,00 m/m² nos troços em que predominavam as areolas.

Resta referir que a execução de muros de solo pregado se revela particularmente vantajosa em aterros e aluviões arenosos, argilas rijas e rochas brandas, acima do nível freático.