

6 Descrição do aterro experimental

A pesquisa em curso demandava a realização de ensaios de arrancamento para melhor compreender o mecanismo de interação solo-geossintético. Para tanto, foi construído pela empreiteira executora da obra um aterro experimental junto ao dique leste do DRB#7 (após a rampa de serviço), de maneira a não interferir nas atividades normais da obra. Após a conclusão dos ensaios de arrancamento o aterro experimental foi removido.

O aterro possuía 2,6m de altura, 3,5m de largura e 10,8m de comprimento, descontando-se as rampas de acesso. Neste aterro foram inseridas 18 amostras de geogrelha com dimensões de 1,00m por 0,85m em seis profundidades diferentes. Para evitar a não uniformidade de tensões verticais no plano horizontal das amostras ensaiadas, devido à presença de taludes, o aterro foi contido lateralmente por pranchões de madeira escorados por trilhos de trem verticais em ambos os lados. As geogrelhas foram dispostas junto às faces do aterro, nove em cada lateral. Os trilhos foram enterrados e concretados no terreno e, posteriormente, presos entre si por cabos de aço à medida que as camadas do aterro eram compactadas. A Figura 102 apresenta a planta do aterro experimental.

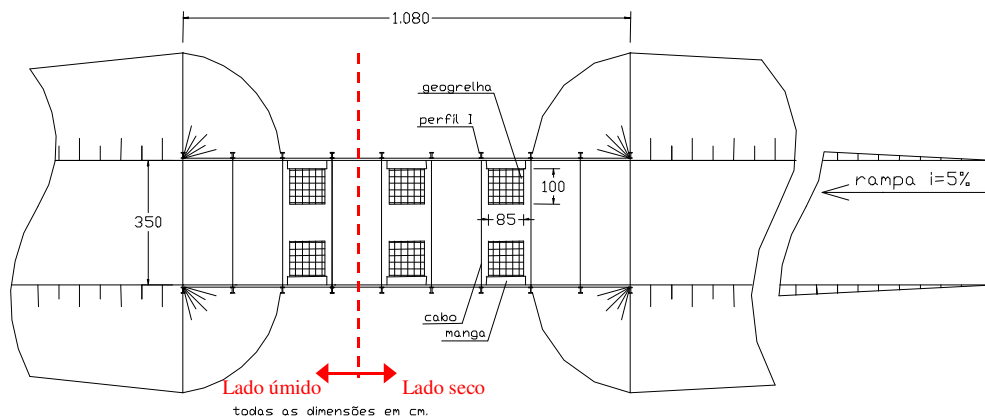


Figura 102 - Planta do aterro experimental.

O aterro experimental foi executado com o mesmo solo e os mesmos equipamentos de compactação empregados na construção do muro. Em uma parte do aterro a compactação foi feita com desvio de umidade de -2 a +2 p.p. em relação à umidade ótima e grau de compactação mínimo de 95%, referentes ao Proctor Normal (lado “seco”). Nesta região do aterro foram inseridas doze amostras de geogrelha. Na outra região foi adotado um desvio de umidade maior, de +2 a +4 p.p. (lado “úmido”), mantendo-se o mesmo grau de compactação mínimo, para avaliar a influência da umidade na resistência ao arrancamento. No lado úmido foram inseridas seis amostras de geogrelha.

Assim como no muro de solo reforçado, o solo foi lançado e compactado em camadas de altura final igual a aproximadamente 20cm e as camadas que receberam geogrelhas foram niveladas por meio de moto-niveladora. De cada camada compactada, foram retirados três cilindros de amostras do lado “seco” e três do lado “úmido” para controle de umidade e densidade do solo pelo método de Hilf.

De forma similar ao muro de solo reforçado, foram utilizados o compactador manual tipo “sapo” e o rolo vibratório CA-25 de pata curta. O rolo foi utilizado para compactar a parte central do aterro e o sapo para compactar o espaço restante junto aos pranchões de madeira.

A Tabela 12 apresenta a condição de ensaio projetada das 18 geogrelhas.

Tabela 12 - Condições de ensaio projetadas para o aterro experimental.

| Geogrelha | Desvio de umidade | Grau de compactação | Número de amostras |
|---------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 55A (Fortrac 55/25-20/30) | -2 a +2 p.p. | >95% | 6 |
| 55A (Fortrac 55/25-20/30) | +2 a +4 p.p. | >95% | 3 |
| 55B (Fortrac 55/30-20) | -2 a +2 p.p. | >95% | 3 |
| 55B (Fortrac 55/30-20) | +2 a +4 p.p. | >95% | 3 |
| 35 (Fortrac 35/20-20/30) | -2 a +2 p.p. | >95% | 3 |

As Figuras 103 a 109 apresentam um registro fotográfico de algumas fases da construção do aterro. Na Figura 103 é mostrada uma camada de solo

compactado nivelada com três amostras de geogrelha instaladas. Pode-se ver também os cabos de aço que prendem os trilhos entre si.

A Figura 104 exhibe um detalhe da manga metálica do sistema de arrancamento, dos tubos dos *tell-tales* e dos cabos de aço de amarração dos trilhos.

Na Figura 105 pode-se observar, ao fundo, os pranchões de madeira empregados para conter as camadas de solo, a manga metálica (110 x 15 x 7mm) que reduz a influência da rigidez da parede na resistência ao arrancamento e os cabos de aço que prendem os trilhos de um lado aos do outro. Em primeiro plano observam-se os tubos de PVC que levam os fios de aço dos *tell-tales* até a outra parede do aterro, onde é instalado o aparelho de leitura.

A Figura 106 mostra um detalhe da fixação do *tell-tale* na geogrelha por meio da mesma presilha de metal empregada no muro. Neste caso, o ponto de fixação é o mais próximo possível à boca do tubo, enquanto no muro guardava-se uma distância de 10 cm.

A Figura 107 apresenta a extremidade de uma geogrelha de 35 kN. Observa-se, no plano inferior da figura, a saída dos seis tubos de PVC com os fios dos *tell-tales* da geogrelha imediatamente inferior do lado oposto.

O movimento dos *tell-tales* de cada amostra era acompanhado do outro lado do aterro por meio de um sistema idêntico ao empregado no muro de solo reforçado, conforme apresentado na Figura 108.

A Figura 109 exhibe a fase final da construção do aterro experimental, quando da colocação das últimas amostras de geogrelha.

A Figura 110 apresenta o esquema de posicionamento dos *tell-tales* para as geogrelhas. As amostras de geogrelha dos ensaios de arrancamento foram instrumentadas com seis *tell-tales* cada. Os círculos pretos representam o ponto de fixação do *tell-tale* e os valores ao lado indicam a distância até o início da amostra. Os *tell-tales* foram dispostos de forma que o ponto de fixação se situasse em um nó da grelha.

A carga aplicada durante os ensaios de arrancamento foi acompanhada por meio de uma célula de carga marca Kratos, com capacidade de 50kN em tração.

Para o arrancamento das amostras foi empregado um macaco hidráulico ENERPAC com capacidade de 300kN e bombeamento manual, uma garra e um cavalete metálico. Por este método não é possível controlar diretamente a

velocidade de deslocamento da garra. Optou-se, então, por acompanhar os deslocamentos do primeiro *tell-tale* durante o ensaio, procurando-se imprimir à célula de carga carregamentos que gerassem, no mesmo, velocidade aproximadamente constante de 1mm/min.

A garra consistia de duas chapas de aço com 12,7mm de espessura atravessadas por parafusos passantes.

Para realizar o arrancamento, a grelha era colocada entre as chapas firmemente aparafusadas, de modo que ficasse presa somente por atrito. Para melhorar o atrito foram coladas lixas na parte interna das chapas (Figura 111).



Figura 103 - Camada de solo compactado, nivelada, com três amostras de geogrelha instaladas.



Figura 104 - Detalhe da manga metálica, dos tubos dos *tell-tales* e dos cabos de aço de amarração dos trilhos.



Figura 105 - Vista da amostra de geogrelha instrumentada imediatamente antes do lançamento da camada de solo sobrejacente.



Figura 106 - Detalhe da presilha de fixação do *tell-tale* na geogrelha.



Figura 107 - Detalhe da extremidade da amostra de geogrelha e dos tubos de saída dos *tell-tales* da amostra posicionada do lado oposto do aterro.



Figura 108 - Vista da face do aterro com o sistema de leitura dos *tell-tales* de uma geogrelha instalada na face oposta.



Figura 109 - Vista geral do aterro experimental em fase final de construção.

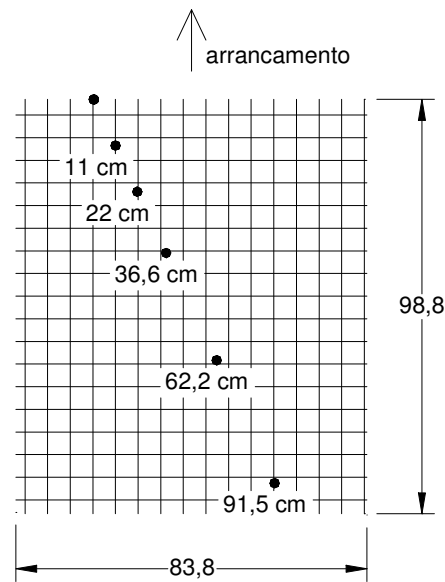


Figura 110 - Esquema de posicionamento dos *tell-tales* nas geogrelhas 35 e 55A.

Foi realizado um ensaio piloto para avaliar o funcionamento do sistema. Este ensaio resultou em ruptura da geogrelha junto à garra. Constatou-se que a ruptura foi causada pelos danos que a garra causou à amostra durante o aperto dos parafusos. Para minorar os danos decidiu-se colocar, entre a grelha e a lixa, pedaços de geotêxtil não tecido de 200 g/m², para impedir que a lixa danificasse a geogrelha. A espessura do geotêxtil foi suficiente para evitar os danos sem diminuir perceptivelmente o atrito.

O conjunto garra-geogrelha era conectado à célula de carga por meio de barras rosqueadas em um esticador de cabos de aço adaptado para permitir a aplicação de pré-carga sem acionar o macaco. Este esticador era conectado à célula de carga e esta ao macaco hidráulico. A Figura 112 mostra a fase de colocação dos parafusos com a geogrelha já posicionada entre as duas chapas metálicas, devidamente protegida das lixas pelo geotêxtil não tecido.

A Figura 113 apresenta o sistema de arrancamento constituído pela garra, esticador e célula de carga após a ruptura da geogrelha durante o ensaio piloto.



Figura 111 - Detalhe da superfície interna da garra após a colagem da lixa na região de um parafuso passante.



Figura 112 - Detalhe da fixação da geogrelha à garra.

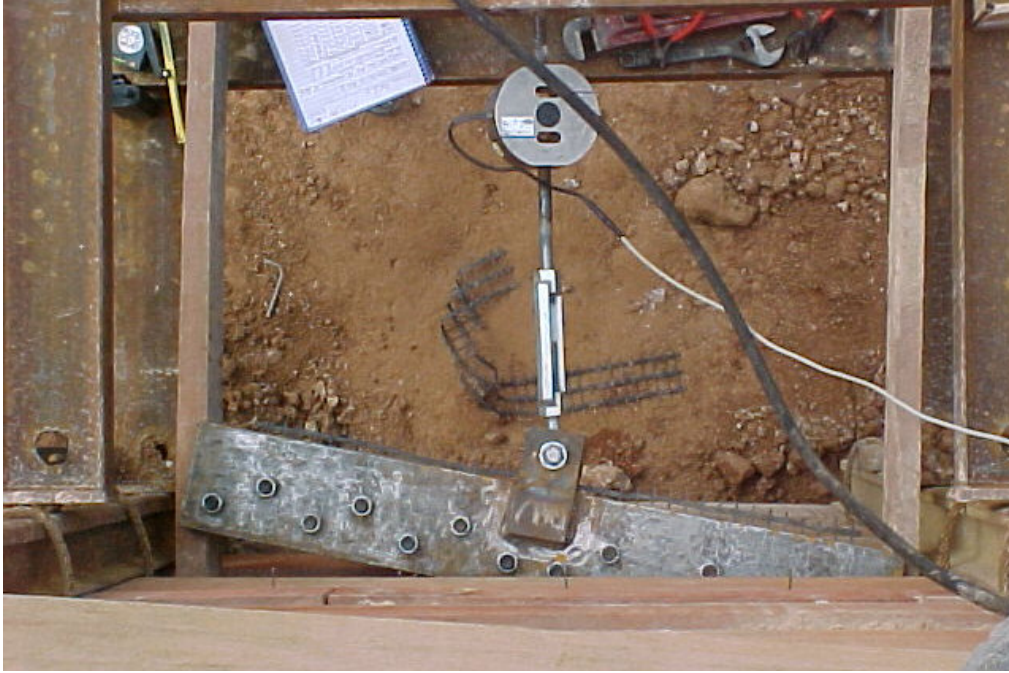


Figura 113 - Vista superior do sistema de arrancamento (garra, esticador e célula de carga).

Verificou-se durante a construção do aterro experimental uma série de dificuldades devido às condições da obra e outras razões fortuitas.

A liberação do local para a construção do aterro, decidida em acordo entre a construtora e a fiscalização, levou dois meses, atrasando o cronograma de execução dos ensaios.

A construção foi lenta devido à baixa disponibilidade de equipamentos e mão de obra, empregados pela construtora em partes mais prioritárias da obra.

O projeto do aterro previa a contenção lateral do solo por paredes verticais de pranchões de madeira contidos por perfis estruturais de aço laminado. A construtora ofereceu a alternativa de empregar-se trilhos ferroviários de aço. O projeto foi então redimensionado para o uso dos trilhos. Entretanto, no início da execução, durante a operação de nivelamento da segunda camada, a lâmina da moto-niveladora abalroou um dos trilhos, que se quebrou sem maiores deformações aparentes. Percebeu-se, então, que os trilhos eram de ferro fundido e não de aço e, por isso, não apresentariam a resistência esperada.

Para não comprometer a segurança do aterro foi necessário redimensionar o projeto da contenção para considerar a menor resistência do material e a perda do

trilho quebrado. O resultado foi a necessidade de mais um nível de cabos de aço, tornando a construção ainda mais morosa.

A construtora encontrou dificuldade em atingir a umidade especificada em algumas camadas, tanto no lado seco como no lado úmido. A razão alegada foi a pequena quantidade de solo a ser tratado e lançado para cada camada.

Uma vez que a umidade era conferida após a compactação não foi possível corrigir os erros percebidos, pois a presença de amostras já instrumentadas e cabos de aço enterrados tornava temerária e dispendiosa a operação de remoção de uma camada já compactada.

A Tabela 13 e a Tabela 14 apresentam os valores de umidade ótima, desvios de umidade e grau de compactação para as várias camadas do aterro nos lados seco e úmido. Os dados foram obtidos retirando-se três cilindros de cada lado do aterro. Foi utilizado o mesmo laboratório e a mesma equipe da fiscalização. Nas tabelas também é indicada entre quais camadas as dezoito geogrelhas foram instaladas.

Pode-se perceber que, no lado seco, as camadas 5, 7 e 10 apresentam umidade acima do especificado. O grau de compactação obtido foi sempre superior a 95%.

Tabela 13 - Características das camadas do aterro experimental, lado seco.

| posição das geogrelhas | camada | Lado seco | | | | |
|------------------------|-----------------|---------------|-----------|-----------------|-------------|---------------|
| | | G.C. previsto | G.C. real | desvio previsto | desvio real | umidade ótima |
| 55B , 35 → | 2 ^a | >95% | 99,8% | -2 a +2p.p. | -0,1p.p. | 29,9% |
| | 3 ^a | | 98,5% | | -1,4p.p. | 30,4% |
| | 4 ^a | | 101,9% | | -1,6p.p. | 28,7% |
| 2 x 55A → | 5 ^a | | 98,0% | | 2,4p.p. | 31,7% |
| | 6 ^a | | 99,4% | | -0,3p.p. | 30,2% |
| 55B , 35 → | 7 ^a | | 96,1% | | 2,1p.p. | 28,7% |
| | 8 ^a | | 99,0% | | 0,9p.p. | 26,6% |
| | 9 ^a | | 97,7% | | 1,8p.p. | 31,1% |
| 55B , 35 → | 10 ^a | | 98,2% | | 2,3p.p. | 31,1% |
| | 11 ^a | | 100,5% | | -0,2p.p. | 28,7% |

No lado úmido, as camadas 2, 3, 4 e 9 apresentaram umidade abaixo do especificado e as camadas 6 e 11, acima. O grau de compactação mínimo não foi atingido nas camadas 6, 10 e 11.

Em ambos os lados foi possível observar variabilidade de, aproximadamente, $\pm 2,7$ p.p. na umidade ótima para as diferentes camadas, apesar do solo provir da mesma jazida.

Tabela 14 - Características das camadas do aterro experimental, lado úmido.

| posição das geogrelhas | camada | Lado úmido | | | | |
|------------------------|-----------------|---------------|-----------|-----------------|-------------|---------------|
| | | G.C. previsto | G.C. real | desvio previsto | desvio real | umidade ótima |
| 55A → | 2 ^a | >95% | 99,8% | +2 a +4p.p. | 1,5p.p. | 30,6% |
| | 3 ^a | | 98,5% | | 1,9p.p. | 30,6% |
| 55B → | 4 ^a | | 99,7% | | 1,8p.p. | 30,0% |
| | 5 ^a | | 98,2% | | 2,8p.p. | 32,8% |
| 55A → | 6 ^a | | 92,9% | | 4,9p.p. | 35,3% |
| | 7 ^a | | 99,1% | | 3,1p.p. | 30,0% |
| 55B → | 8 ^a | | 97,8% | | 2,4p.p. | 29,4% |
| | 9 ^a | | 98,1% | | 0,2p.p. | 32,3% |
| 55B → | 10 ^a | | 94,7% | | 3p.p. | 31,2% |
| | 11 ^a | | 93,3% | | 4,2p.p. | 31,0% |