



Instrumentação e Análise do Comportamento Mecânico de um Muro de Terramesh System

Alan Donassollo

Maccaferri do Brasil, Novo Hamburgo, Brasil, a.donassollo@maccaferri.com

Cleber de Freitas Floriano

Pontifícia Universidade Católica, Porto Alegre, Brasil, cleber.floriano@puccrs.br

Felipe Sfredo Farias

Pontifícia Universidade Católica, Porto Alegre, Brasil, felipesf.eng@outlook.com

Lysiane Menezes Pacheco

Pontifícia Universidade Católica, Porto Alegre, Brasil, lysiane.pacheco@puccrs.br

RESUMO: Atualmente ocorre uma forte carência geral na instrumentação de obras no Brasil. O que não é diferente para as obras de contenção, e em especial para as obras que utilizam aterros estruturais com elementos de reforços. Com base neste contexto, o presente artigo apresenta uma instrumentação simples implantada em um muro de solo reforçado em Terramesh System apoiado sobre uma estrutura em gabiões, localizado junto a margem da RS-122 no município de São Sebastião do Caí/RS. A instrumentação foi projetada e instalada em duas seções deste muro que se desenvolve em 150 m e com 10 m de altura. Consta nessa instrumentação de 18 leituras de Tell Tales em 6 posições diferentes. Embora, sendo a estrutura de contenção complexa do ponto de vista da composição estrutural, o muro teve a deformada da face dentro dos valores médios constantes na bibliografia para muros de solo reforçado.

PALAVRAS-CHAVE: Solo reforçado, Terramesh System, Instrumentação, Monitoramento Geotécnico, Tell Tales.

1 INTRODUÇÃO

Os solos reforçados são soluções cada vez mais utilizadas como sistema de contenção de massas, pois em muitas situações apresentam vantagens técnicas e econômicas em relação aos demais sistemas, especialmente nas obras com disponibilidade de materiais pétreos e de solos compactáveis. A principal característica deste tipo de estrutura é a interação de elementos resistentes a tração com o solo compactado para melhorar sua capacidade mecânica

(PALACIOS, 2012), permitindo, muitas vezes, a utilização do solo do próprio local para compor a estrutura.

Dentre os materiais mais utilizados como elementos de reforço do solo podem ser citados o grupo dos geossintéticos. Becker (2006) cita as geogrelhas, geotêxteis, geomembranas e geocompostos. Além dos geossintéticos, são utilizados materiais como aço ou fibras poliméricas, geralmente para formar um material compósito em misturas ou mesmo pertencendo a um sistema mecanicamente



conectado a um faceamento.

Alguns sistemas já são consagrados, como são os casos do solo grampeado, Terra armada e o Terramesh System. Este último, desenvolvido pela empresa Maccaferri, é formado por um paramento de gabiões de malhas metálicas hexagonais de dupla torção, preenchidas por fragmentos de rocha sã com reforços contínuos composto pela mesma malha do gabião.

Pouco se nota, a não ser em casos muito especiais, a instalação de instrumentos de controle de deformação e o acompanhamento de deslocamentos via levantamento topográfico de maciços, seja na evolução construtiva ou após a conclusão das obras. Para as obras em solo reforçado, em pouquíssimas possibilidades se consegue realizar um projeto de instrumentação, possibilitando monitorar a estrutura de arrimo, de modo a possibilitar o estudo mais avançado do comportamento mecânico deste tipo de obra.

Os muros de arrimo corriqueiramente são verificados através de equilíbrio limite. Nesta forma de verificação não se leva em conta a capacidade de deformação dos muros, o que justifica cada vez mais a necessidade de implementar instrumentação em obras deste tipo.

Portanto, para o presente trabalho foram resgatados os diversos tipos de instrumentos e técnicas de instrumentação para verificação e acompanhamento de obras de estruturas de contenção em solo reforçado, com destaque para o Terramesh System. O principal objetivo é de apresentar a importância do acompanhamento do desenvolvimento de deslocamentos das estruturas durante sua fase construtiva, onde ocorrem os principais carregamentos, observando os valores esperados segundo a bibliografia pesquisada. Ao final, será apresentado um projeto de instrumentação implementado para o muro de Terramesh executado no km 7 da RS-122 no município de São Sebastião do Caí/RS, onde também será apresentado o histórico de comportamento da

estrutura através dos dados levantados para esta obra.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O objetivo das estruturas de contenção é assegurar que um maciço de solo ou rocha não se rompa ou deslize, além de impedir que o mesmo não sofra deformações excessivas de maneira a atender as condições de cada projeto em específico. As forças consideradas para seu dimensionamento são as do empuxo de terra (peso de solo mais cargas externas) e as pressões hidrostáticas. Como o foco deste trabalho refere-se ao monitoramento de muros de contenção, será dada maior ênfase para o comportamento mecânico (tensão x deformação) das estruturas.

2.1 Estruturas de contenção

As estruturas de contenção mais corriqueiras são os muros de gravidade, que proporcionam a estabilidade através de seu peso próprio e atrito com o solo em sua base. Segundo Barros (2006) essas estruturas são de simples execução, porém para muros de grandes alturas o consumo de material é muito elevado, tornando seu uso inviável.

Apesar de utilizarem métodos de suporte auxiliares, as estruturas de solo reforçado com geossintéticos, aço em tiras e malhas hexagonais de dupla torção, também se encaixam na classificação de muros de gravidade. Na maioria dos casos o próprio maciço de solo é que confere o peso à estrutura. A implementação dos reforços amplia seu uso para contenção de taludes de grandes alturas em comparação aos muros de gravidade sem reforços.

Becker (2006) destaca que as verificações da instabilidade interna de muros de solo reforçado mais utilizadas são as de métodos de equilíbrio limite. Segundo McGown et al. (1998 citado



por BECKER e SAYÃO, 2006, p. 58) esses métodos buscam principalmente a determinação da combinação de cargas suportadas pela estrutura sem risco de ruptura da mesma, não considerando as deformações do solo e do reforço, aplicando elevados fatores de segurança para garantir implicitamente que estas sejam aceitáveis. Além disso, Ehrlich e Becker (2009) mencionam também que nos métodos de equilíbrio limite são considerados apenas a resistência de pico dos materiais (solo e reforço), sem levar em conta a rigidez de cada um, subentendendo que a ruptura de todos os materiais aconteceria ao mesmo tempo. Devido a essas características de dimensionamento utilizadas mais comumente na prática e o aumento do uso da solução de solos reforçados para contenções de grandes alturas, vê-se cada vez mais a necessidade de monitoramento da deformação e deslocamentos destes tipos de estruturas.

2.2 Comportamento geomecânico de maciços reforçados – Tensão x Deformação

O solo adequadamente compactado, em geral, apresenta resistência a compressão de valores consideráveis e resistência ao cisalhamento limitada. Para proporcionar ganho do comportamento geomecânico são inseridos reforços, os quais conferem resistência à tração à massa como um todo.

A técnica de solo reforçado permite a execução de taludes verticais com solos locais os quais não seria possível sem a inserção dos reforços, além da concepção de muros de contenção de grandes alturas. Ehrlich e Becker (2009) destacam que o reforço atua unindo o maciço entre a região potencialmente instável com a região estável, o que impede a ruptura e diminui as deformações. Na Figura 1 é possível verificar através de gráficos a influência da inserção de reforços no solo no comportamento Tensão x Deformação.

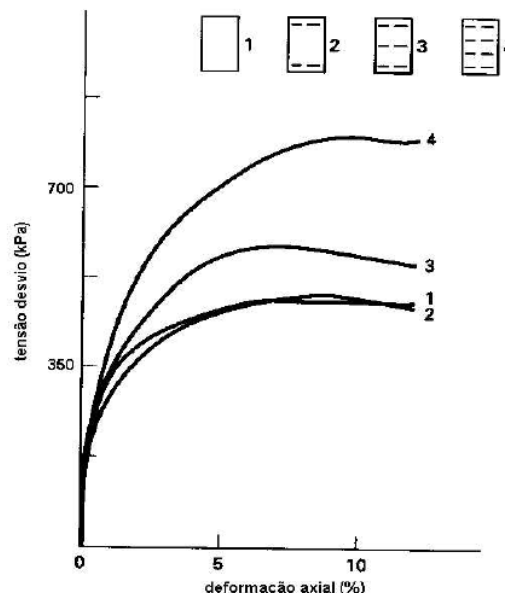


Figura 1. Resultado de ensaios triaxiais em areia densa sob tensão confinante de 210 kPa em amostras com e sem reforço.

2.2.1 Estabilidade

Silva e Abramento (1995) destacam que uma estrutura em solo reforçado deve ser estável interna e externamente. A estabilidade externa é conferida pelo peso próprio da estrutura e deve ser dimensionada considerando as mesmas verificações para muros de gravidade tradicionais, ou seja, estabilidade ao tombamento, deslizamento da base, capacidade de carga da fundação e ruptura geral (EHRlich e BECKER, 2009). Como o foco do presente trabalho é a análise de deformações em estruturas de solo reforçado, não será dada ênfase para o dimensionamento da estabilidade externa.

Para verificação da estabilidade interna devem ser conhecidas a maneira que ocorre a transferência das tensões entre o solo e reforço, e dos modos de ruptura da estrutura de solo reforçado (BECKER, 2006). Bathurst et al. (1993 citado por BECKER, 2006, p. 56) estabelece seis modos de ruptura interna



possíveis: arrancamento dos reforços, ruptura por tração, cisalhamento no plano horizontal, ruptura das conexões entre os reforços e o faceamento, cisalhamento e tombamento dos elementos da face. Esses modos são representados na Figura 2.

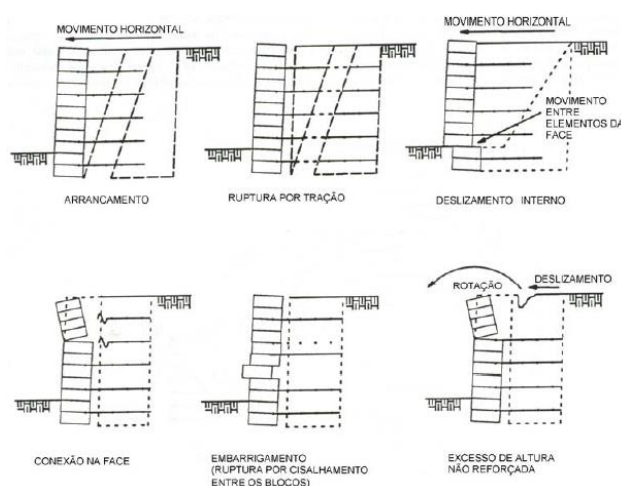


Figura 2. Modos de ruptura interna idealizados.

2.2.2 Deformações associadas aos estados críticos

Para atingir a condição de plastificação do solo é necessário que as pressões, ativas ou passivas, atinjam um estado de deformações na estrutura. A plastificação é a situação teórica na qual as deformações seguem aumentando mesmo sem o acréscimo de tensões. (CLAYTON et al, 1993 e FLORIANO, 2017)

Para mobilização do estado ativo são necessários deslocamentos menores (δ_A) daqueles para mobilizar o estado passivo (δ_P). Clayton (1993) e Floriano (2017) referenciam os estudos realizados por Terzagui em que as deformações devem atingir valores da ordem de 0,2% da altura da estrutura para o solo entrar em plastificação no estado ativo. No estado passivo as deformações devem atingir valores da ordem de 4,0% da altura da estrutura. Esse comportamento é ilustrado na Figura 3, onde é apresentado o desenvolvimento de uma parede

de contenção no estado crítico ativo e gráfico indicando a mobilização do estado ativo e do estado passivo.

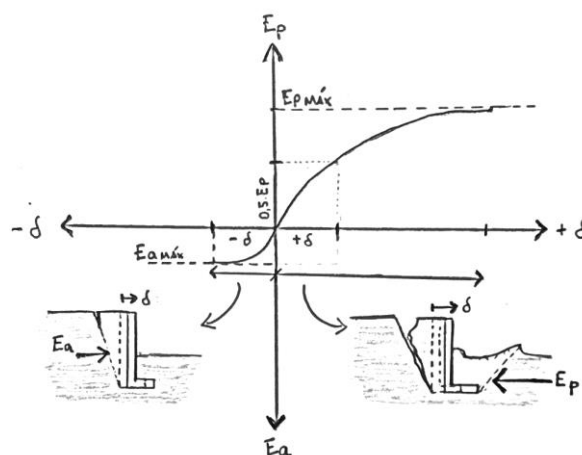


Figura 3. Deformações que mobilizam os estados críticos (Floriano, 2017).

2.2.3 Padrões de deformação

Ortigão e Sayão (2004) demonstram a diferença do padrão de deslocamento da face ao longo de estruturas de contenção em solo grampeado e solo reforçado. O motivo dessa diferença de deformação está no processo construtivo, na maioria dos casos o solo grampeado é construído de cima para baixo (estrutura descensional), já as estruturas de solo reforçado de baixo para cima (estrutura ascensional). Na Figura 4 é possível observar esse comportamento.

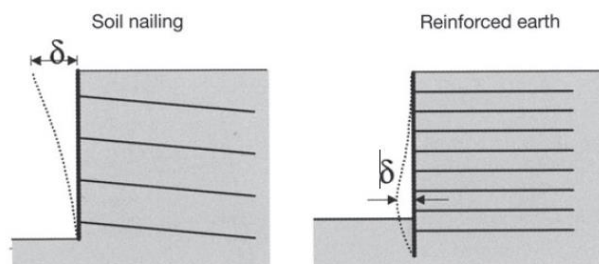


Figura 4. Comparação das deformações de face entre soil nailing (solo grampeado) e reinforced earth (solo reforçado).



Bathurst et al. (1999 e 2002 citado por BECKER e SAYÃO, 2006, p. 95-97) confirmam esse comportamento de deformação em solos reforçados através do monitoramento de três muros protótipos com geossintéticos como reforços. Além disso, fizeram a comparação entre as deformações previstas por simulações numéricas com os resultados reais. A Figura 5 apresenta os resultados obtidos e comparados, onde é possível observar o padrão das linhas de deformação condizentes com o formato mencionado por Ortigão e Sayão (2004).

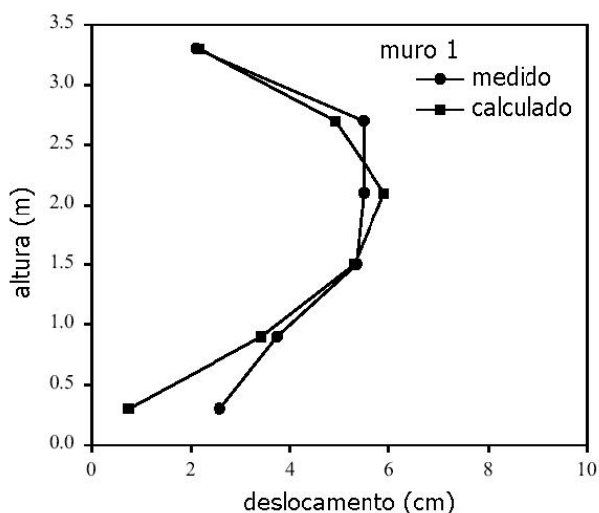


Figura 5. Comparação de deslocamentos previstos por simulação numérica e monitoramento.

2.3 Instrumentos e técnicas de monitoramento

Apesar de ainda pouco difundido, atualmente há uma grande variedade de instrumentos e técnicas de monitoramento utilizadas nas diversas tipologias de obras de terra. Neste trabalho focou-se naquelas citadas e aplicadas para obras de contenção.

O objetivo do uso dos equipamentos e técnicas é o monitoramento do comportamento das estruturas, através do qual se verifica se a mesma está funcionando da maneira prevista em projeto ou dentro dos limites estabelecidos.

O que fornece também informações para tomadas de decisões imediatas, como alterações de projeto ou a paralisação da obra. Além disso, a instrumentação é utilizada para comparar os resultados de campo com os resultados previstos através de dimensionamentos propostos por pesquisadores da área, dando a possibilidade de verificação dos resultados obtidos e realização de novos estudos para aprimorar os métodos de dimensionamento e melhor entender o comportamento da estrutura.

A instrumentação é definida conforme o tipo de estrutura a ser monitorada e aos dados os quais se deseja levantar. Segundo Bressani (2009) para o sucesso de um programa de instrumentação de obras de terra, devem ser seguidas 4 etapas:

- Planejamento da instrumentação;
- Escolha da posição e instrumento ou técnica utilizada;
- Definição da equipe de levantamento e análise dos dados, e como estes serão apresentados;
- Análise crítica dos resultados.

Georio e Mikkelsen, (2000 e 1996 citados por BRESSANI, 2009, p. 1) destacam que na instrumentação de taludes e encostas, incluindo estruturas de contenção, o maior objetivo é monitorar os deslocamentos da superfície, do subsolo e as pressões de água.

2.3.1 Tell Tales

O objetivo do instrumento é a medição do deslocamento horizontal em um determinado ponto no interior do maciço. Geralmente são instalados mais do que uma unidade por cota para se ter o monitoramento de diversos pontos de profundidade.

O sistema é composto por um tubo inserido horizontalmente e ancorado no solo com calda de cimento, é importante que a ponta deste tubo esteja ancorada em profundidade de modo que ultrapasse a posição das superfícies potenciais



de ruptura do talude definidas na fase de projeto. No interior do tubo são instalados fios tensionados por pesos metálicos presos em sua ponta externa, estes chamados de Tell Tales, com comprimentos variáveis.

Os Tell Tales instalados geralmente são de aço com cobertura para proteção contra corrosão e possuem a extremidade externa livre (NUNES et al., 2006 citado por SARÉ, 2007, p. 206). Na Figura 6 é possível verificar um exemplo esquemático de posicionamento e fixação dos equipamentos. Os materiais utilizados e o modo de instalação dos Tell Tales podem sofrer variação.

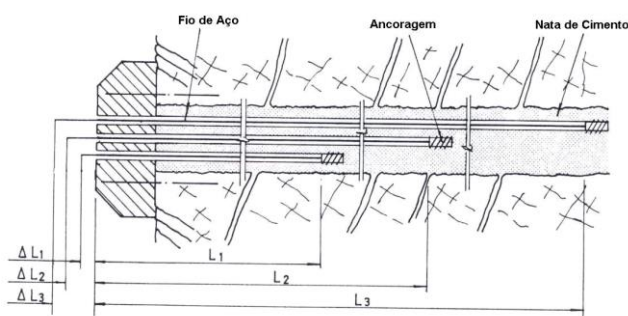


Figura 6. Exemplo esquemático de três Tell Tales no interior de um tubo no maciço.

A medição é realizada visualmente através de uma escala em milímetros instalada na face externa da estrutura. Os deslocamentos no interior da massa de solo geram uma deflexão em cada fio, essa deflexão é lida na escala de medição.

Para proteção dos equipamentos é instalada uma caixa externa ao maciço, a qual abriga todo conjunto do sistema, incluindo a escala em milímetros e as roldanas para deslizamento dos fios.

2.3.2 Controle topográfico

Através da implementação de marcos topográficos e posterior realização de leituras com equipamentos de topografia, é possível monitorar a magnitude de deformações verticais

e horizontais de estruturas. Bressani (2009) cita os tipos de marcos mais utilizados como: medidores de trincas em superfície, podendo ser com o uso de trenas e paquímetros ou ainda de medição automática com o uso de sensores de deslocamentos; extensômetros de superfície como arames tensionados entre duas referências; e medidas de deslocamento lateral entre estacas no mesmo plano.

Devido sua simplicidade de aplicação e o uso de equipamentos já conhecidos da topografia é um sistema utilizados nas diversas obras onde se deseja obter dados de deslocamentos, como é o caso de barragens, aterros em geral, taludes naturais e de corte, e estruturas de contenção.

Além disso, a utilização de medições topográficas é uma importante ferramenta na calibração e interpretação dos resultados de outros instrumentos de monitoramento que sofrem deformação junto da face da estrutura.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Estrutura Monitorada

A estrutura em estudo trata-se de um muro de contenção localizado no km 7 da RS-122, entre as cidades de Portão e São Sebastião do Caí, executado como solução de estabilização de um talude rompido. Foram adotadas três soluções combinadas: muro de gabião, muro de solo reforçado e cortina atirantada. A combinação dessas estruturas varia ao longo da extensão do muro, com aproximadamente 155,00m, sendo concebida em três setores (BOHRER et al., 2017):

- Setor 01: muro de gabião com tardoz em rachão sob muro de solo reforçado;
- Setor 02: setor 1 com inclusão de cortina atirantada inclinada na crista;
- Setor 03: muro de gabião-caixa com tardoz em solo compactado.

3.2 Instrumentação e técnicas aplicadas



O monitoramento geotécnico da estrutura foi realizado através da implantação de instrumentação no Setor 02, com início em 11/07/2017. Foram instalados pontos de leitura para servirem como mira para realização do levantamento topográfico e também instrumentos do tipo Tell Tales ao lado desses marcos, conforme apresentado nas figuras 7 e 8. A instrumentação empregada teve por objetivo a verificação das deformações da face e do interior do maciço durante a fase de execução.

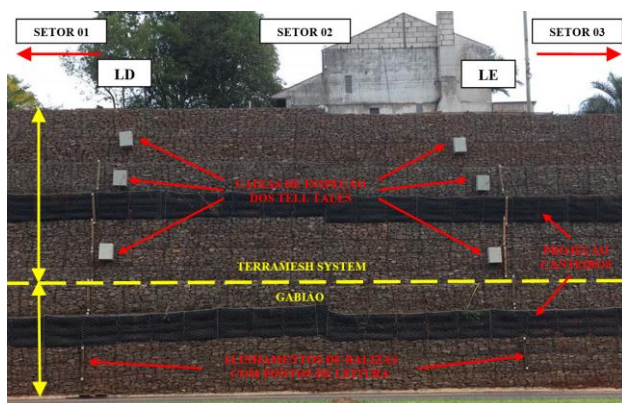


Figura 7. Vista frontal: face do muro e posicionamento dos dispositivos de instrumentação.

Os Tell Tales foram instalados em duas linhas verticais na face do muro divididos em três caixas em cada alinhamento, dentro das quais com quatro instrumentos de medição fixados em profundidades diferentes no interior do maciço. Conforme apresentado na Figura 8.

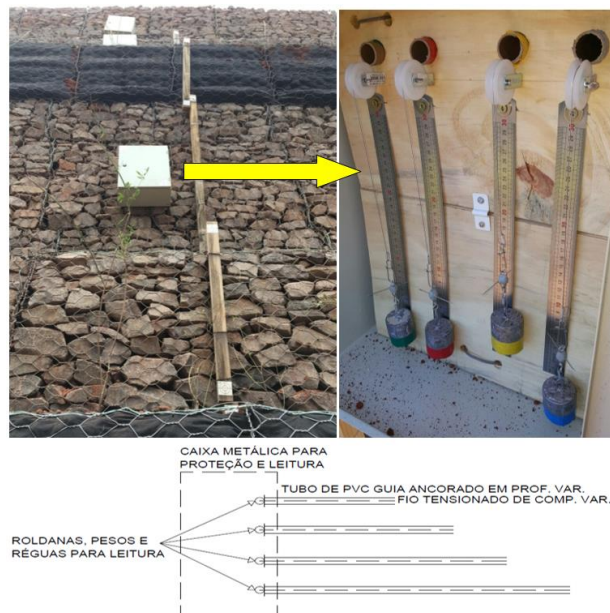


Figura 8. Detalhes: Dispositivos de instrumentação à esquerda superior, Interior das caixas dos Tell Tales à direita superior, e Desenho esquemático dos Tell Tales instalados abaixo.

No controle topográfico, onde serão avaliadas as deformações horizontais da estrutura, não foi considerada a análise dos recalques revelados pelos deslocamentos verticais. Os pontos de leitura foram dispostos em duas linhas verticais distribuídos ao longo da altura do muro em 14 alvos por alinhamento. Os pontos na linha vertical ao lado direito da estrutura foram denominados de “DX”, e ao lado esquerdo da estrutura de “EX”, com numeração crescente conforme sua elevação. Na Figura 9 é possível observar uma baliza com dois pontos de leitura em suas extremidades com miras refletivas para servir de alvo no levantamento. Foram também definidos dois marcos referenciais no canteiro central da rodovia, com posições geográficas UTM conhecidas (E, N, Z) para posicionamento do equipamento topográfico na realização das leituras, conforme esquema apresentado na Figura 10.

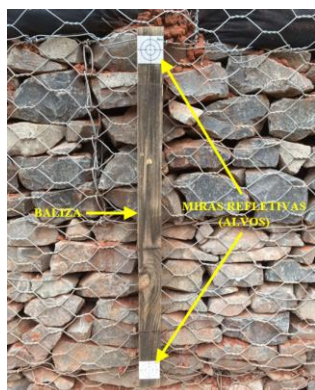


Figura 9. Detalhe das miras refletivas (alvos).

3.3 Levantamento dos dados e métodos de análise

O levantamento das informações geográficas de cada ponto de leitura foi realizado pela empresa Dobil Engenharia Ltda. com os instrumentos de medição dos tipos Estação Total e nível Topcon modelo ES105. A leitura dos dados acompanhou a execução da obra, conforme alteamento do muro, os pontos foram sendo instalados e levantados para constar como o marco “0”, ou seja, momento o qual o muro naquele determinado ponto encontra-se com deformação nula, em seu estado original. As coordenadas foram obtidas com intervalo médio semanal, com exceção do último levantamento. Foram realizados nos dias 11/07/2017, 18/07/2017, 27/07/2017, 01/08/2017, 09/08/2017, 16/08/2017, 23/08/2017 e 12/09/2017.

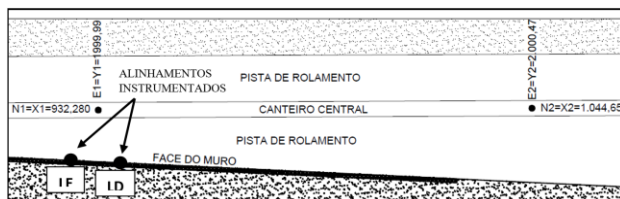


Figura 10. Vista superior esquemática: localização marcos topográficos e alinhamentos verticais instrumentados na estrutura

Para análise dos resultados foi considerado como cota topográfica da base do muro, o

marco referencial de coordenadas arbitrárias $E1=1999,991$, $N1=932,28$, $Z1=101,33$, o qual de menor distância dos trechos instrumentados, subtraindo-se da inclinação transversal da via e do embutimento de 0,50m do primeiro gabião caixa, chegando-se na cota aproximada $Z=100,412m$. Essa cota foi base para obter a altura de cada ponto de leitura instalado na face da estrutura.

Com base nas coordenadas geográficas obtidas no campo foram avaliados os deslocamentos horizontais da face do muro. Para isso, as coordenadas N e E foram transformadas em módulos de vetor através da equação $R^2 = E^2 + N^2$ (Eq.: 2), sendo “R” a coordenada no plano resultante para cada levantamento. Observando a diferença entre as coordenadas “R” ao longo do tempo definiu-se, subtraindo-se os valores subsequentes, a evolução dos deslocamentos. Estes foram acumuladas para obtenção dos vetores totais da estrutura em cada ponto de estudo, desde a data de sua execução até o final da obra.

As leituras de deslocamento dos Tell Tales foram realizadas nos dias 14/07/2017, 24/08/2017, 07/08/2017, 21/08/2017, 25/08/2017, 01/09/2017, 12/09/2017, 29/09/2017, 26/10/2017, 13/12/2017 e 23/02/2018. As três últimas leituras foram realizadas após o termo de serviço de aterro realizado na obra.

Foram registradas as leituras das quatro linhas de cada da caixa do Tell Tales, e que cada uma delas situava-se numa profundidade diferente dentro do solo reforçado, a fim de avaliar o deslocamento em diferentes posições à partir da face. A posição de cada ponto de leitura pode ser verificado na Figura 11.

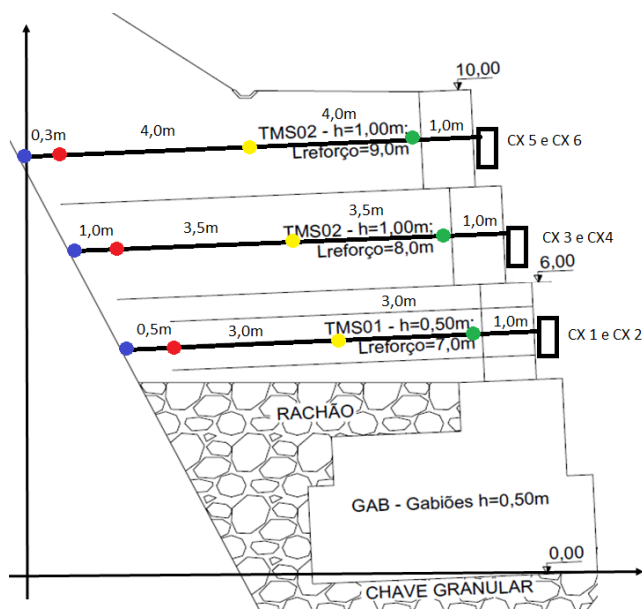


Figura 11. Posição de leitura dos Tell Tales na estrutura de solo reforçado.

4 RESULTADOS

Para visualização dos deslocamentos da estrutura foram também montados gráficos, nos quais é possível verificar a evolução dos deslocamentos de cada ponto de leitura ao longo do tempo. Os deslocamentos totais, para os pontos levantados até o final da obra, variaram em 6,0cm próximos a base do muro (trecho em gabiões), nas alturas iniciais de 0,483m (D1) e 0,618m (E1); e em 11,0cm e 9,00cm mais próximo ao topo do muro, respectivamente nas alturas iniciais de 7,199m (D14) e 7,550m (E14).

Devido as condicionantes de projeto foi adotada uma solução mista de sistemas estruturais. Para melhor entendimento de seu comportamento, o muro foi dividido em trechos verticais denominados conforme a seguir e ilustrados nas figuras 12 e 13.

- GAB: trecho de gabiões caixa h=0,50m com tardoz em rachão: entre 0,00m e 4,00m;
- TMS01: trecho de Terramesh System h=0,50m, L=7,0m: entre 4,00m e 6,00m

- TMS02: trecho de Terramesh System h=1,00m, L=variável: entre 6,00m e 10,00m

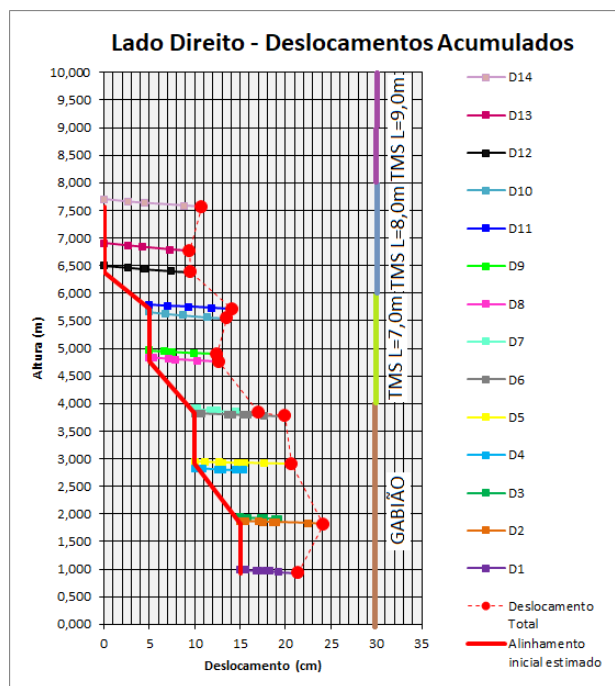


Figura 12. Deslocamentos horizontais lado direito.

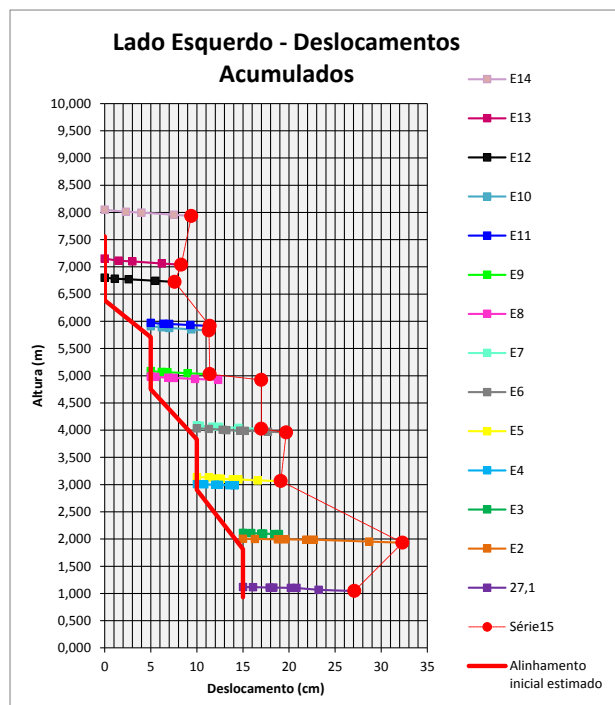


Figura 13 - Deslocamentos horizontais lado esquerdo.

É possível verificar a evolução dos deslocamentos ao longo da altura do muro e



também a curvatura da face devido aos deslocamentos totais finais após conclusão da obra, foi elaborado um gráfico para cada alinhamento do muro, lado direito e lado esquerdo. Na curvatura do deslocamento total da face não foram considerados os pontos D3, D4, E3 e E4 devido não terem sido realizados os dois últimos levantamentos topográficos.

Os deslocamentos resultantes nas duas seções (direita e esquerda) apresentam comportamento similar, havendo portanto convergência dos dados e possibilitando realizar uma análise em conjunto. No primeiro trecho (GAB) a face apresentou maiores deslocamentos, apresentando valores totais de 10,7cm (D5) e 9,7cm (E6), seguindo um aumento a partir de sua base até o final na altura de 4,00m. Os deslocamentos são maiores nesse trecho, justamente por se tratar apenas de um muro de gravidade sem reforço do maciço, solução adotada devido às limitações de espaço físico para execução de reforços nesse trecho. A massa monolítica além de sofrer maiores tensões, contam com deformações por ação do deslizamento e giro acumulados.

Na altura de 4,00m, início do trecho TMS01, há uma queda brusca nos deslocamentos da face, sendo os menores de 7,0cm na altura de 3,831m (D7) e de 6,4cm na altura de 5,029m (E9). Esse comportamento demonstra a maior rigidez da estrutura reforçada devido a união da região potencialmente instável com a região estável, além de apresentar menores tensões laterais e reduzir deslizamentos e giros, refletindo na diminuição dos deslocamentos relativos.

No início da transição entre os trechos TMS01 e TMS02 os deslocamentos voltam a crescer de maneira mais significativa, porém com comportamento mais linear, chegando até o deslocamento nos últimos pontos de leitura de 10,7cm na altura de 7,560m (D14) e de 9,4cm na altura de 7,935m (E14). O início de aumento da deformação nesse trecho ocorre devido o

aumento do espaçamento entre as malhas de reforço, que passaram a ser a cada 1,00m. Esse aumento de deslocamento da face mais próximo do topo do muro pode ter se dado também devido a compactação descontrolada da última camada. A aproximação excessiva do rolo compressor junto ao bordo da caixa (faceamento) do Terramesh causa deformação horizontal excessiva induzida.

Os deslocamentos de face verificados através do levantamento topográfico não definem os deslocamentos devido ao deslizamento do muro. Isto é confirmado pelas deformações dos pontos superiores em cada alinhamento não serem inferiores aos 0,64% (LD) e aos 0,57% (LE). Por outro lado, o embutimento junto à base da estrutura e sua composição mais rígida convergem às deformações praticamente nulas.

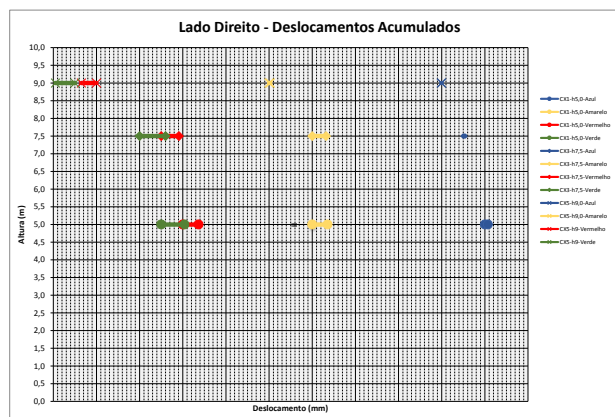


Figura 14. Deslocamentos horizontais lado direito.

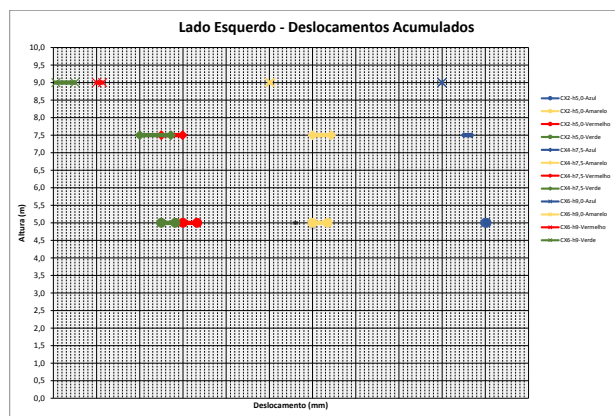


Figura 15. Deslocamentos horizontais lado esquerdo.



De forma geral, nota-se que os deslocamentos cujas ancoragens foram instaladas próximo à face e afastadas destas, as magnitudes foram as menores, para ambas seções: direita e esquerda. Este resultado indica que a distensão do solo e conseqüentemente o deslocamento e tensionamento da tela metálica foram maiores afastando-se da face do muro e mais próximo ao topo da massa reforçada.

As distensões em alguns casos puderam ser observadas com trincas de tração na superfície do material compactado. Embora não tenham sido medidas, notou-se que as trincas aparentes surgiram junto ao limite do comprimento de ancoragem dos reforços.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentado o plano de instrumentação de uma contenção mista de gabiões e Terramesh System, onde foram utilizados dois métodos. O controle topográfico: levantamento das coordenadas de 28 pontos em 14 alturas diferentes; e Tell Tales: 6 conjuntos em 4 profundidades cada, em três alturas diferentes.

Analisou-se os dados obtidos com o controle topográfico, obtendo-se a evolução das deformações de face e a curvatura destas ao longo da altura da estrutura. No segmento inferior de 4,00m, composto por gabiões caixa, houve maiores deslocamentos, mesmo tendo comprimentos de até 5,50m para o interior do maciço. No trecho logo acima, composto pelo Terramesh System, os deslocamentos diminuíram bruscamente na transição onde há um recuo de 0,50m no sentido do maciço, o que ocorreu de maneira menos acentuada aos 6,00m de altura do muro, onde há também um recuo da estrutura logo acima. Os deslocamentos aumentaram linearmente até a altura de aproximadamente 8,00m, posição do ponto de leitura mais alto (E14).

Com as análises e resultados das deformações totais da face da estrutura durante sua fase de execução conclui-se que o muro teve deformadas divergentes dos padrões esperados bibliográficos de muros de solo reforçado, com magnitudes um pouco maiores que o esperado para a altura da estrutura. Atribui-se a tal situação a complexidade do conjunto modular do muro e de possíveis divergências construtivas.

Vale ressaltar que o comportamento geomecânico da estrutura foi também influenciado pelo processo executivo, à geometria do talude, as características geotécnicas do maciço reforçado e, especificamente no caso do Terramesh, a possível falta de pré-tensionamento (esticamento) da malha de reforço do maciço, desenvolvendo maiores distensões do solo para mobilização de tensões no reforço, influenciando, portanto, nas deformações de toda estrutura.

Por fim, implantar um monitoramento geotécnico contínuo simplificado, com leituras inclusive após a conclusão das obras de estabilização é uma ótima ferramenta para análise e tomada de decisões durante execução e da vida útil da obra.

REFERÊNCIAS

- Affonso, H. (2004) *Instrumentação para medir deslocamentos em barragens de enrocamento*. 94 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Azambuja Engenharia e Geotecnia. *Projeto executivo de estabilização e reconstrução do talude de corte localizado na ERS-122 km 7+600 (lado esquerdo) (Pranchas)* (2016). Empresa Gaúcha de Rodovias. Porto Alegre.
- Barros, P. (2006) *Obras de contenção – Manual Técnico*. Jundiaí, Editora Maccaferri Gabiões do Brasil.
- Becker, L. Sayão, A. (2006) *Comportamento de geogrelhas em muros de solo reforçado e em ensaios de arrancamento*. 322 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia



- Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Bohrer, L.; Antunes, A.; Azambuja, E. (2017) *Diagnóstico e projeto de contenção-monumento para estabilização de um talude de corte em Solo Residual de Arenito Arcoseano*. XII Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. Santa Catarina.
- Bressani, L. (2009) *Instrumentação em obras geotécnicas – taludes e escavações*. 5ª Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas. São Paulo. Anais...
- Clayton, C.R.I.; Milititsky, J.; Woods, R.I. *Earth Pressure and Earth-retaining Structures*. 2 ed. London: Blackie Academic & Professional, 1993.
- Ehrlich, M. Becker, L. *Muros e Taludes de solo Reforçado: Projeto e Execução*. (2009) São Paulo, Editora Oficina de Textos.
- Floriano, C. *Mecânica dos Solos Aplicada*. (2017) Porto Alegre, Editora SAGAH.
- Gerscovich, D.; Donziger, B.; Saramago, R. (2016) *Contenções: teoria e aplicações em obras*. São Paulo, Editora Oficina de Textos.
- Lima, A. (2007) *Comportamento de uma escavação grampeada em solo residual de gnaiss*. 431 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Maccaferri do Brasil. (2008) *Reforço e estabilização de solos: Necessidades e Soluções*.
- Maccaferri do Brasil. (2017) *Terramesh®*. Disponível em: <<https://www.maccaferri.com/br/produto/s/terramesh/>>. Acesso em: 28 ago. 2017.
- Marchetti, O. (2008) *Muros de Arrimo*. São Paulo, Editora Blucher.
- Nunes, S. Sayão, A. Dias, P. (2007) *Instrumentação e monitoramento de taludes em solo reforçado*. e-Disciplinas – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Oliveira, D. Brandt, J. Leão, M. (2016) *Instrumentação geotécnica em obras subterrâneas*. Revista Fundações, p. 48-55, abr./2016.
- Ortigão, J. Palmeira, E. Zirlis, A. (1993) *Experiência com solo grampeado no Brasil – 1970-1993*. Solos e Rochas, v. 16 no. 4, pp. 291-304.
- Ortigão, J. Sayao, A. (2004) *Handbook of Slope Stabilisation*. New York, Editora Springer.
- Palacios, M. (2012) *Comportamento de uma Areia Reforçada com Fibras de Polipropileno Submetida a Ensaio Triaxiais de Extensão*. 101 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Saré, A. (2012) *Comportamento de Escavação Grampeada Instrumentada em Solo Residual*. 304 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Santos, D. (2014) *Estrutura de contenção em solo reforçado*. 77 f. Tese (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Silva, R. (2010) *Análise do comportamento de estruturas de solo grampeado através da monitoração de obra e modelos físicos (escala 1:1)*. 354 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Silva, L. C. R. Abramento, M. (1995) *Métodos de análise da estabilidade de taludes reforçados por equilíbrio limite*. 2º Simpósio Brasileiro sobre aplicações de geossintéticos. São Paulo. Anais...
- Teixeira, C. (2012) *Análise dos recalques de um aterro sobre solos muito moles da barra da tijuca – RJ*. 326 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil do Centro Técnico Científico, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Thá, P. (2007) *Estudo das Condições de Fluxo pela Barragem de Terra da Margem Esquerda de Itaipu*. 99 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Vasconcelos, S. (2010) *Influência de carregamentos externos nas tensões e deformações de muros de solo reforçado*. 134 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.