

Associação de técnicas tradicionais e inovadoras de estabilização e reforço de maciço de solo

Association of traditional and innovative techniques for stabilization and reinforcement soil

Vinícius Rocha Gomes Pereira

Geo Soluções Engenharia Geotécnica e Ambiental Ltda., São Paulo, Brasil.

vinicius.rocha@geosolucoes.com

Marcus Vinicius Weber de Campos

Geo Soluções Engenharia Geotécnica e Ambiental Ltda., São Paulo, Brasil.

marcus.campos@geosolucoes.com

José Orlando Avesani Neto

Geo Soluções Engenharia Geotécnica e Ambiental Ltda., São Paulo, Brasil.

avesani.neto@geosolucoes.com

Fagner Alexandre Nunes de França

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.

fagneranfranca@gmail.com

RESUMO: Este artigo apresenta um caso de obra para estabilização de uma encosta, com desnível superior a 80 m, por meio de um sistema misto de solo reforçado com geossintéticos e tirantes, em Itapevi/SP, para permitir a construção de um galpão industrial no seu topo. Foram empregadas geogrelhas como elemento de reforço nos muros, cujas faces receberam acabamento de acordo com a estética desejada. Tirantes com 45 m de comprimento complementaram a solução geotécnica utilizada. Enfatiza-se aspectos importantes inerentes ao reforço de solos com geossintéticos, como rapidez construtiva, flexibilidade na associação a outras técnicas e economia e proteção ao meio ambiente devido ao uso de solo local.

ABSTRACT: This paper presents a study case in which an 80 m high slope was reinforced by means of two geosynthetics reinforced soil (GRS) walls associated with anchors. It is located in Itapevi, SP, Brazil, and allowed the construction of industrial warehouses on top of the slope. Geogrids were used as reinforcement in both walls. Facing techniques were selected considering aesthetic requirements. In addition, 45 m long anchors were used in association with the GRS walls. It emphasizes key aspects related to geosynthetics used as soil reinforcement, e.g. speed of construction, flexibility in their use with other techniques, benefits of using local soil (cost reduction and environmental protection).

PALAVRAS-CHAVE: Geossintéticos, Solo reforçado, Sistemas de faceamento, Sistemas de drenagem, Tirantes.

1 INTRODUÇÃO

Obras de contenção em solo reforçado com geossintéticos apresentam-se como uma alternativa com grande apelo técnico e econômico. Nesta técnica, camadas de solo compactado são

intercaladas com a disposição de materiais geossintéticos. Dentre os geossintéticos, as geogrelhas e os geotêxteis são os mais comumente utilizados como reforço. A interação entre estes elementos e o solo restringe os deslocamentos da massa de solo contida e aumenta a segurança da estrutura.

A face de obras de solo reforçado com geossintéticos possui grande diversidade de tipos. Podem ser deixados geossintéticos expostos, numa técnica denominada solo envelopado. Podem ser utilizados blocos de concreto para execução do acabamento de face. Técnicas consagradas como o concreto projetado também podem ser empregadas. Encontram-se, também, casos de cobertura vegetal nas faces de obras de solo reforçado com geossintéticos. É comum que a cobertura de face atenda às necessidades do cliente, uma vez que a sua função técnica diz respeito à redução de processos erosivos localizados. Em outras palavras, a face em obras de solo reforçado com geossintéticos não possui função essencialmente estrutural.

Um aspecto importante que deve ser mencionado em relação ao uso de materiais geossintéticos em obras de solo reforçado diz respeito à capacidade de combinação com outras técnicas. A utilização de geossintéticos para reforço de solo é comumente associada a técnicas consagradas que fazem parte das opções do Engenheiro Geotécnico para execução de estruturas de contenção (e.g. solo grampeado, tirantes). Salienta-se também a contribuição da técnica de solo reforçado com geossintético, para a redução de custos e para a proteção do meio ambiente, uma vez que é comumente empregado o solo local como material de contenção. Essa característica implica em redução do transporte de material, custo bastante representativo em obras de terraplenagem, e da necessidade de busca por jazidas e locais de bota fora de solo.

Este artigo apresenta um caso de obra de destaque no qual a técnica de solos reforçados com geossintéticos foi empregada juntamente com outras técnicas para contenção de solo e em que diferentes tipos de cobertura de face foram utilizados. Trata-se da criação de diversos platôs para construção de galpões de grande porte e que receberão tráfego pesado de caminhões. O local onde os muros foram construídos apresenta relevo bastante acidentado.

2 CARACTERÍSTICAS DA OBRA

2.1 Designação e localização

O caso de obra apresentado neste artigo foi designado como “Centro de Distribuição Praia Brava”. Conforme mencionado, trata-se da construção de muros de solo reforçado para a criação de platôs, sobre os quais serão construídos galpões de logística, devido à sua localização estratégica, próximo a rodovias (Castello Branco e Rodoanel) e à Cidade de São Paulo. A obra localiza-se em um terreno com relevo extremamente acidentado, no município de Itapevi /SP. Devido ao relevo, o projeto de terraplenagem teve que considerar diversas contenções, para o melhor aproveitamento do espaço útil do terreno. Dessa forma, houve a necessidade da execução de 7 (sete) contenções, 5 (cinco) em situação de aterro com solo reforçado com geossintéticos e 2 (duas) em situação de corte com solo grampeado. Sendo que em 1 (um) muro de solo reforçado foi utilizada uma cortina atirantada em frente ao muro. A obra ocorreu no período compreendido entre 08/2013 e 06/2014.

2.2 Parâmetros geotécnicos

Conforme campanhas de sondagens fornecidas, foram utilizadas algumas sondagens de referência para balizamento dos parâmetros de resistência adotados. De acordo com esta sondagem, o subsolo local é composto por uma camada de cerca de 1 a 3 m de um silte argiloso / argila siltosa, marrom a vermelho, de consistência mole a médio, com N_{SPT} inferior a 5 golpes. Sob esta camada superficial, foi identificado um solo residual composto por um silte arenoso (ou argilo-arenoso) de coloração variegada (marrom, vermelho, cinza e amarelo), de consistência médio a duro, com N_{SPT} variando entre 10 e 40 golpes. Na região onde estão localizados os Muros 02 e 03, o nível d'água não foi observado até a profundidade de 10 m, aproximadamente.

Nas análises abordadas no presente estudo, e para o solo de fundação (solo residual), foram considerados, além da origem do solo, os parâmetros de resistência e físicos correlacionados com as sondagens e balizados conforme as faixas descritas na NC-03 (1980), e em Pinto et al. (1993).

Para o solo do aterro compactado, foram utilizados os resultados dos ensaios de cisalhamento direto fornecidos, balizados pelos dados ilustrados em da Cruz e Ferreira (1993), especificamente para aterros compactados de solos residuais de granito e gnaiss.

Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros adotados para os solos em estudo.

Tabela 1 – Parâmetros de resistência adotados para os solos em estudo.

Solo	Prof. (m)	N _{SPT}	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Aterro compactado	-	-	18	15	30
Solo residual (1ª camada)	0 a 3	0 a 5	16	5	28
Solo residual (2ª camada)	>3	15 a >40	18	25	32

2.3 Apresentação do problema de engenharia

O local da obra apresenta um desnível de 80 m de altura, aproximadamente, cujo projeto prevê lances de taludes intercalados com bermas, nas quais devem ser executadas canaletas de drenagem superficial. No platô criado na parte superior deste desnível está sendo construído um galpão de armazenamento que receberá tráfego de caminhões pesados. Na Figura 1 é mostrada a base do muro de solo reforçado (Muro 03) na etapa de regularização e compactação de solo.



Figura 1 - Base do Muro 03 na etapa de preparação.

A criação dos platôs através de muros de solo reforçado com geossintéticos trouxe consigo a necessidade do reforço global do talude, para a sustentação do peso próprio e da nova massa de solo criada com a construção dos muros. Análises preliminares indicaram diversos problemas geotécnicos numa mesma seção, que incluem a necessidade de reforço de solo na base e no corpo do talude, e a execução de muros para a criação dos platôs. Os principais pré-requisitos para a escolha da técnica a ser empregada neste caso de obra estão associados à possibilidade de associação de técnicas adequadas a serem aplicadas num local com significativa dificuldade de acesso. Assim, foi escolhida a tecnologia empregada na construção de muros de solo reforçado com geossintéticos unida à execução de tirantes, conforme descrito no item a seguir.

3. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO COM A UTILIZAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS

A necessidade de uma estrutura versátil, que pudesse ser executada com diferentes geometrias, inclusive com a face convexa, levou à escolha de muros de solo reforçado com geossintéticos para a ampliação do platô onde serão construídas as edificações desta obra. Essa

versatilidade também diz respeito à associação com outras técnicas, neste caso, com o uso de tirantes. Além disso, dada à complexidade deste problema de engenharia, a solução proposta é composta por diversos sistemas de estabilização. A Figura 2 apresenta a seção típica proposta neste caso de obra.

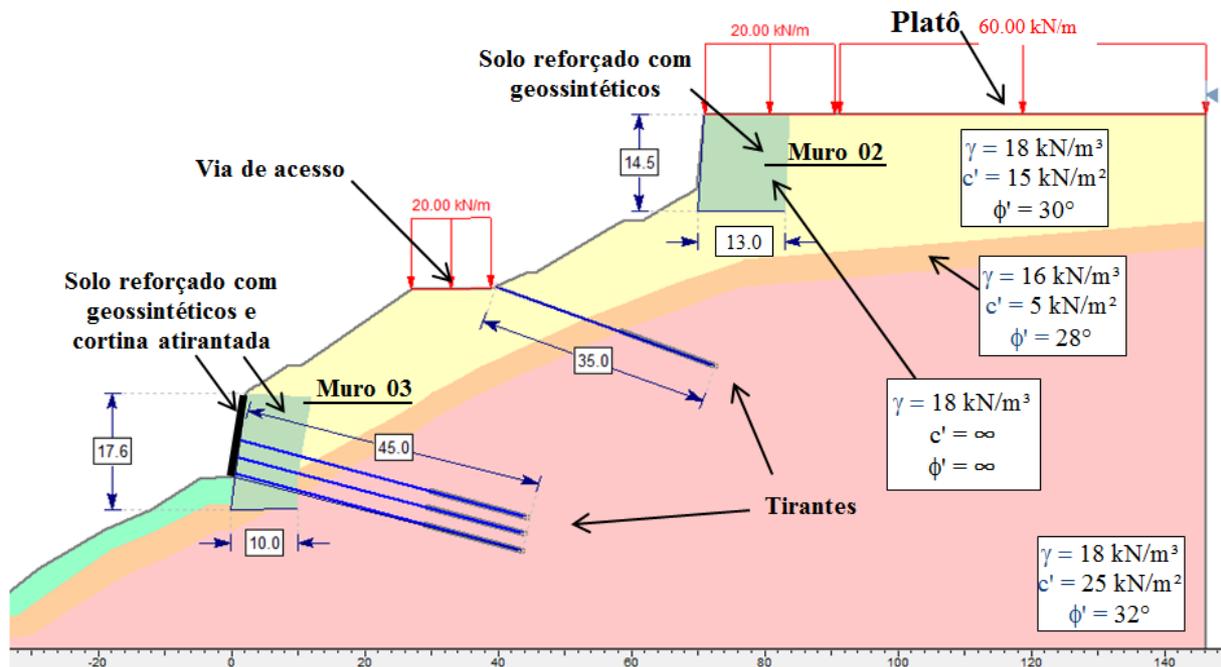


Figura 2 - Seção típica (unidades em metros).

Como pode ser visualizado na Figura 2, a ampliação do platô no topo do talude exigiu o projeto de um muro de solo reforçado com geossintéticos na parte superior do talude e outro na sua parte inferior. Adicionalmente, na porção central do talude, foi prevista uma linha de tirantes com 35 m de comprimento. Outras três linhas de tirantes (45 m de comprimento) foram previstas na construção do muro inferior. Os sistemas de faceamento foram escolhidos de acordo com a estética necessária a cada parte do muro e dependendo do quão visível ficaria a respectiva porção da obra. Porém, no caso do Muro 03, o sistema de faceamento deveria ter rigidez suficiente para resistir aos esforços de protensão dos tirantes.

3.1 Muro de solo reforçado superior

O muro de solo reforçado com geossintéticos situado na região superior do talude (Muro 02) foi executado com geogrelhas uniaxiais manufaturadas pela Geo Soluções/Strata. O projeto previu a disposição de geogrelhas com resistência nominal variando entre 40 kN/m e 120 kN/m, espaçadas verticalmente a cada 60 cm. Neste muro foi utilizado um sistema de faceamento composto por blocos segmentais de concreto (Geobloco H), devido à sua maior visibilidade e necessidade de apelo estético. Este sistema de faceamento apresenta considerável vantagem construtiva, devido à elevada produtividade, mesmo em períodos chuvosos. Este muro possui 230 m de comprimento.

3.2 Muro de solo reforçado inferior

Na base do talude, foi previsto um muro de solo reforçado com geossintéticos juntamente com a execução de três linhas de tirantes. Neste muro, foi previsto reforço do solo com geogrelhas uniaxiais Stratagrid. O projeto previu a disposição de geogrelhas com resistência nominal variando entre 40 kN/m e 120 kN/m, espaçadas verticalmente a cada 50 cm. A face foi executada com utilização de sacaria de rafia preenchida com solo local e geotêxtil não-tecido para confinamento das camadas. A conclusão deste muro considera a execução de uma cortina de concreto armado na face do aterro reforçado (Muro 03), de modo a trabalhar como uma estrutura de reação capaz de absorver os esforços de protensão dos tirantes de 45 m de comprimento, cada. O comprimento total desse muro é 70 m, aproximadamente.

3.3 Outros aspectos e técnicas

O local onde foi executado o Muro 03 e a situação topográfica no seu entorno inviabilizava a substituição do solo de fundação, que apresentava N_{SPT} entre 3 e 4. Assim, como alternativa à técnica de substituição de solo foi adotado o sistema de injeção de consolidação do solo com utilização de calda de cimento (microestacas) em toda a base do Muro 03, de modo a melhorar a capacidade de carga dessa porção de solo e permitir a execução do aterro.

Sistemas de drenagem foram previstos na parte posterior dos muros, na interface entre o solo contido e a região reforçada. Esses sistemas foram executados com geocompostos drenantes fabricados por empresas nacionais, dispostos ao longo dessa interface.

4 EXECUÇÃO DA OBRA

A obra para ampliação de platôs e construção de galpões foi executada entre os meses de agosto de 2013 e junho de 2014 e envolveu diferentes etapas, apresentadas a seguir.

4.1 Limpeza, regularização e reforço do terreno de fundação do muro inferior

A primeira etapa da obra refere-se à limpeza mecanizada da área onde foi construído o muro de solo reforçado na parte inferior do talude (Muro 03). O solo de fundação desse muro apresentou baixa resistência à penetração nas sondagens de simples reconhecimento executadas (N_{SPT} entre 3 e 4), insuficiente para o apoio deste aterro reforçado. Além disso, a substituição do solo de fundação se mostrou inviável tecnicamente devido à topografia altamente acidentada. Assim, foi necessário recorrer às técnicas de reforço de solo *in loco* por meio da injeção de consolidação com calda de cimento (microestacas) (Figura 3). Portanto, após a limpeza do terreno e regularização da superfície para a entrada de maquinário, foram executadas 88 estacas com 6 m de comprimento.



Figura 3 - Reforço do solo de fundação do muro inferior com injeção de consolidação.

4.2 Muro de solo reforçado inferior

Com o solo de fundação devidamente regularizado e reforçado se iniciou a execução do Muro 03. Camadas de solo compactado foram executadas com a disposição adequada da geogrelha até atingir a altura desejada (17,6 m), considerando o trecho de embutimento no maciço de solo. O fechamento e estabilização da face foi executado com sacaria de ráfia preenchida com solo local, envolta por manta geotêxtil não tecido com gramatura 130 g/cm² (Figura 4) fabricado e fornecido por fabricante nacional. Após a construção do aterro reforçado, foram executadas três linhas de tirantes com 45 m de comprimento, cada. A fase final do muro contempla a execução de uma cortina de concreto armado, para possibilitar a protensão dos tirantes.



Figura 4 - Vista geral do muro de solo reforçado (Muro 03) com visualização de uma linha de tirantes.

4.3 Muro de solo reforçado superior

O Muro 02 foi executado em um local de maior visibilidade, portanto, optou-se por executar um faceamento de maior apelo estético. A construção do muro procedeu igualmente ao procedimento utilizado no Muro 02, com a alternância de camadas de solo compactado e a disposição de geogrelhas para reforço. Salienta-se que este muro foi concebido de forma curva para ajustar-se à geometria do local. Além disso, é importante ressaltar a possibilidade de instalação destes blocos mesmo em dias de chuva. Esses aspectos ilustram, juntamente com outros destacados anteriormente, a versatilidade e o apelo econômico da técnica empregada em solos reforçados com geossintéticos. A Figura 5 ilustra a execução da construção do Muro 02.



Figura 5 - Execução do Muro 02, com indicação do Muro 03 e localização da seção ilustrada na Figura 2.

4.4 Outras técnicas empregadas

A execução do Muro 03 foi associada à execução de três linhas de tirantes, totalizando 54 unidades. A adoção desta técnica convencional de contenção e estabilização de maciços de solo, neste caso, tinha como objetivo principal garantir a estabilidade global do talude mostrado na Figura 3. Cada tirante utilizado foi composto por dez cordoalhas de aço, com capacidade de carga total de 80 ton. Os trechos livre e de ancoragem destes tirantes foram 30 m e 15 m, respectivamente. Em relação aos tirantes utilizados na seção intermediária do talude (27 unidades), os mesmos também possuem capacidade de carga de 80 ton e comprimento de 35 m, sendo 15 m de

comprimento de ancoragem e 15 m de trecho livre. Na Figura 6 é mostrada a face do Muro 3 e a primeira linha de tirantes já executados, porém sem protensão.

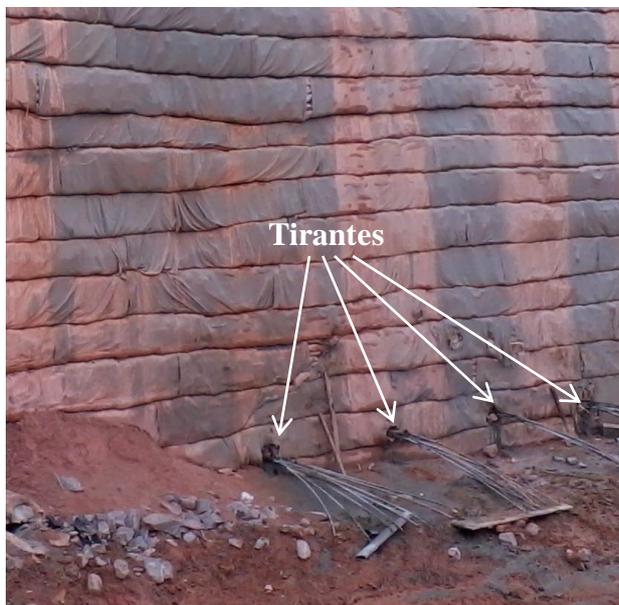


Figura 6 – 1º linha de tirantes do Muro 03, detalhe da face envelopada.

4.5 Aspecto final da obra

Após a execução dos dois muros de solo reforçado, associados a tirantes, foi possível atender à necessidade do cliente de ampliação do platô superior para construção dos galpões desejados com acabamento estético no muro superior. Na Figura 7 é ilustrado o aspecto da obra parcialmente finalizada.



Figura 7 - Aspecto do Muro 02 em fase de conclusão.

5 VANTAGENS TÉCNICAS E ECONÔMICAS OBTIDAS

Este caso de obra destaca-se como um exemplo da aplicação de geossintéticos com a função de reforço de solo em uma obra de grande porte. Foram empregadas geogrelhas como elemento de reforço em muros, associada a tirantes em um deles, para ampliação do platô superior de um talude com cerca de 80 m de altura. As principais vantagens técnicas que podem ser destacadas nesta obra

devido à utilização de geossintéticos referem-se, principalmente, à flexibilidade, à versatilidade e à rapidez da construção.

Destaca-se que os processos construtivos executados foram similares nos dois muros executados, diferindo apenas em relação à opção empregada na face dos mesmos. Como o muro superior apresenta maior visibilidade, o cliente desejava que a obra resultasse numa face esteticamente mais agradável e, por isso, a face em blocos segmentais foi adotada. A face do muro inferior, por sua vez, precisava suportar os esforços resultantes da protensão dos tirantes, logo se optou por um procedimento mais simples e econômico (sacaria preenchida com solo), uma vez que posteriormente seria executada uma cortina de concreto armado à frente do muro, para absorver tais esforços. Destaca-se também, que o muro inferior teve sua construção associada ao emprego de tirantes, solução classicamente empregada na Engenharia Geotécnica.

O muro superior contou ainda com outro aspecto interessante relacionado às vantagens técnicas do uso de geossintéticos como reforço de solos, o fato de apresentar uma curvatura acentuada ao longo de sua extensão. Isso demonstra a facilidade desse tipo de técnica em ser aplicada em diferentes geometrias com a mesma facilidade e rapidez de execução.

Este caso de obra não contou com um estudo econômico, para determinar a redução dos custos devido à escolha da técnica de reforço de solos com geossintéticos. Porém, pode-se destacar que foram evitados a aquisição e o transporte de solo para o local, além de operações de bota fora, itens relacionados à parte dos custos em obras de reforço e terraplenagem. Essas operações foram evitadas devido ao uso de solo local, característica intrínseca à técnica de solos reforçados com geossintéticos. Esse aspecto apresenta também um apelo sobre a proteção do meio ambiente, uma vez que não é necessário destinar áreas de bota fora e de jazidas de material. Destaca-se ainda, que o relevo fortemente acidentado dificulta o acesso de máquinas, para o transporte de solo. Dessa forma, enfatiza-se o aspecto econômico da solução com geossintéticos em relação a outras técnicas consagradas na Engenharia Geotécnica.

6 CONCLUSÃO

Este artigo apresentou um caso de obra referente à construção de muros de solo reforçado com geossintéticos, para a ampliação de um platô com desnível de 80 m, aproximadamente. Dois muros foram executados com a utilização de geogrelhas como elementos de reforço. O muro superior, devido à maior visibilidade, foi construído com face em blocos segmentais, que resultam em um faceamento esteticamente mais agradável. O muro inferior, por sua vez, foi associado à execução de tirantes e, conseqüentemente, deveria possuir um sistema de face capaz de resistir aos esforços de solicitação causados pela protensão dos tirantes. Como alternativa à substituição de solo de fundação foram feitas injeção de calda de cimento na porção de solo localizada na base do muro, de modo a melhorar a resistência à penetração. Geocompostos drenantes foram usados na interface entre o solo contido e o solo reforçado para promover a drenagem de água provenientes da percolação pelo interior do maciço de solo.

Este caso de obra mostra-se interessante para demonstrar uma aplicação dos materiais geossintéticos como reforço de solo numa obra bastante particular. Destaca-se a versatilidade e flexibilidade dessa técnica em sua aplicação com outras técnicas consagradas (tirantes), bem como com a facilidade de aplicação em geometrias diversas. Além disso, o apelo econômico desta obra é enfatizado pela utilização de solo local, evitando assim o transporte de materiais de jazidas e para áreas de bota fora.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a GeoSoluções Engenharia Geotécnica e Ambiental Ltda. pela disponibilização dos dados referentes ao caso de obra descrito neste artigo e ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte pelo suporte técnico à sua elaboração.