

Solo Reforçado com Geogrelhas e Tirantes, Paramento Frontal em Gabiões, Região Serrana do Rio de Janeiro

Camyla Margarete Magalhães de Oliveira

Maccaferri do Brasil, Rio de Janeiro, Brasil, camyla.oliveira@maccaferri.com.br

Kayo Antonio Dascanio Borges

Maccaferri do Brasil, Rio de Janeiro, Brasil, kayo@macservice.com.br

Emerson José Ananias

Maccaferri do Brasil, Rio de Janeiro, Brasil, emerson@macservice.com.br

Fernando Xavier Pereira

Maccaferri do Brasil, Rio de Janeiro, Brasil, fernando.pereira@maccaferri.com.br

RESUMO: Para a duplicação de uma rodovia que possui como início o entroncamento da BR-450 com a BR-251 no Distrito Federal e término no Rio de Janeiro (RJ), passando pelo município de Petrópolis (RJ), região da Serra Fluminense situada na área das Serras do Mar e da Mantiqueira, famosa por elevada acentuação do seu relevo proporcionando grandes desníveis, foi preciso pensar num sistema de contenção que se comportasse corretamente em grandes alturas, fosse viável economicamente e com menor prazo de execução em relação à solução proposta inicialmente. A obra consiste numa duplicação que tem como objetivo proporcionar maior segurança aos condutores no trajeto e reduzir o tempo de viagem. A fim de avaliar o local da obra corretamente foram realizadas algumas investigações geotécnicas e, a partir destes resultados, foi possível realizar um perfil geológico geotécnico da área. Após a avaliação desta caracterização foram encontrados alguns desafios para execução da contenção: solo de fundação com baixa capacidade de suporte, nascente de água nos sentidos longitudinais e transversais à contenção, existência de uma galeria transversal à contenção para encaminhamento das águas provenientes das nascentes, falta de espaço para escavação da base dos reforços primários, dificuldade acesso e a necessidade de conservar totalmente a área de divisa que é uma Área de Supressão Vegetal. Foram implantadas as seguintes soluções mediante os desafios encontrados: troca de solo na fundação por agulhamento com pedra rachão, um reforço primário (geogrelhas) e um reforço secundário (malha metálica). O reforço secundário consiste de um sistema de solo reforçado composto pela associação de um reforço metálico em malha hexagonal de dupla torção a um paramento frontal formado por uma gaiola metálica preenchida com rachão, ambos formados por um único pano que forma: o reforço, a base, a face e a tampa da gaiola, fabricados com arames em aço de baixo teor de carbono revestidos com uma liga de elevada resistência à tração e baixos níveis de alongamento. Esta solução foi associada a geogrelhas tecidas (reforço primário) produzidas a partir de filamentos de poliéster com baixos valores de alongamento revestidas com PVC. Na área onde não foi possível executar a escavação da base para instalação dos reforços primários, a solução descrita foi associada à execução de tirantes monobarra com inclinação de 10 com placas de ancoragem. A estrutura de contenção obteve como altura máxima 28 metros, com extensão de 164 metros, área de face de 3.286 m², inclinação de 6°.

PALAVRAS-CHAVE: solo reforçado, geogrelhas, tirantes, deformações.

1 INTRODUÇÃO

A técnica de solo reforçado consiste em introduzir no solo elementos resistentes à tração, devido a transfêrencia de esforços para os elementos resistentes, aumentando desta forma a resistência do maciço e diminuindo a sua deformabilidade, como mostrado na figura abaixo.

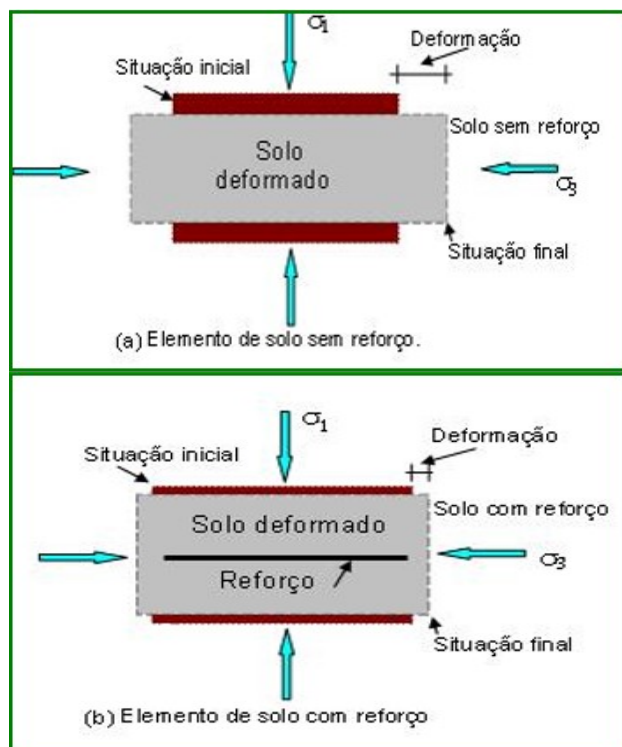


Figura 1. Elemento de solo sem reforço (a) e elemento de solo com reforço (b). Adaptada de Abramento, 1998.

Como pode-se observar pela imagem, quando o solo é carregado verticalmente, sofre deformações neste sentido de compressão e nas laterais de tração. Porém se o maciço estiver com um reforço incluído essas deformações são restritas graças a transferência dos esforços de tração no elemento de reforço.

Pode-se ilustrar o efeito do reforço em uma massa de solo com um experimento empírico e simples que demonstra a restrição de deformações laterais que ocorrem em uma massa de solo reforçado com elementos horizontais. A sequência de imagens abaixo mostra as etapas desse experimento.



Figura 2. Experimento para ilustrar o conceito de solo reforçado.

Inicialmente se colocou areia bem compactada em um copo plástico, adquirindo a forma do mesmo, em seguida é extraído copo plástico. Em seguida pode-se observar que ao ser carregado verticalmente com 70% de volume do copo preenchido com areia, o corpo de prova imediatamente desmorona devido a falta de resistência interna e restrição lateral.

A última etapa do experimento consiste em adicionar três camadas de uma fina malha de polipropileno. Mantendo nesse caso a mesma umidade e compactação da primeira etapa do experimento anterior. O objetivo desta malha será em restringir os movimentos laterais causados pelo carregamento vertical. Da mesma maneira que a primeira etapa, foi adicionada uma carga vertical equivalente a 70% do volume do copo com areia e verificamos neste caso que o solo com a malha reforçando manteve-se estável e não rompeu com a adição do carregamento vertical, como podemos ver na imagem "D".

2 LOCAL DA OBRA

O local da obra em questão situa-se na duplicação da BR-040. A BR-040 possui como

início o entroncamento da BR-450 com a BR-251 no Distrito Federal e término no Rio de Janeiro (RJ), passando pelo município de Petrópolis (RJ), região da Serra Fluminense situada na área das Serras do Mar e da Mantiqueira, famosa por elevada acentuação do seu relevo proporcionando grandes desníveis.



Figura 3. Localização da obra (amarelo). Fonte: Google Earth 2016.

3 METODOLOGIA

Para elaborar uma solução para este local foi preciso pensar num sistema de contenção que se comportasse adequadamente para elevadas alturas e que fosse uma solução viável economicamente e com menor prazo de execução em relação à solução proposta inicialmente.

Após o estudo de algumas alternativas que atendessem as necessidades mencionadas anteriormente optou-se pela utilização de um sistema em solo reforçado composto pela associação de um reforço metálico em malha hexagonal de dupla torção (reforço secundário) a geogrelhas tecidas (reforço primário).

O reforço metálico consiste de um paramento frontal formado por uma gaiola metálica, que é preenchida com rachão, formado por um único pano para o reforço, a base, a face e a tampa da gaiola. A malha que compõe essa solução é de de dupla torção fabricada com arames em aço de baixo teor de carbono revestidos com uma liga de elevada resistência à tração e baixos níveis de alongamento.

As geogrelhas tecidas que foram associadas a esta estrutura são produzidas a partir de

filamentos de poliéster com baixos valores de alongamento revestidas com PVC com resistências de 90 kN/m², 200 kN/m² e 300 kN/m² na direção longitudinal e 30 kN/m² na direção transversal. A adição das geogrelhas nesta contenção ocorreu em função das cargas que serão aplicadas e a altura da estrutura.

Foram aliados tirantes monobarra em parte da base da contenção, esta solução se deu pelo fato de não haver espaço suficiente para instalação do reforço primário (geogrelhas) com o comprimento necessário, sendo neste caso instaladas geogrelhas com comprimento variável, como pode ser verificado na Figura 4.

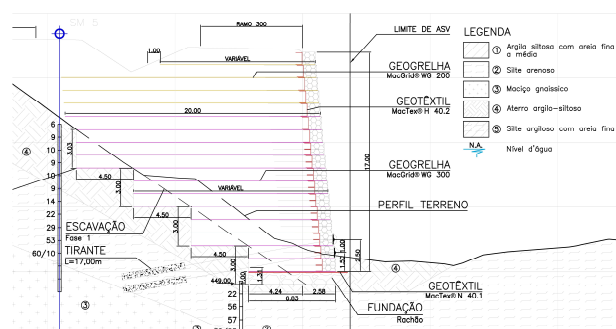


Figura 4. Seção de projeto da solução proposta

Como a estrutura é monolítica e possui um paramento frontal flexível, foi preciso atentar quanto às deformações desta face no período de protensão dos tirantes monobarra. Visando minimizar tais deformações foi adotado um sistema de preenchimento dos gabiões com calda de cimento, a mesma utilizada na execução dos tirantes.

A protensão dos tirantes monobarra foi executada em quatro etapas de juntamente com o alteamento da contenção, onde a carga aplicada em cada etapa foi rigorosamente apontada, assim como a verificação de possíveis ganhos de carga dos tirantes através apenas do alteamento.

Estas etapas serão descritas mais detalhadamente nos itens abaixo.

3.1 Levantamento e locação topográfica e investigação geotécnica

Como foi apresentada muita dificuldade de acesso a área, com muita vegetação e solo muito mole, o levantamento topográfico inicial foi

realizado através de um sistema aéreo fotométrico.

As investigações geotécnicas realizadas na área consistiram na execução de sondagens SPT com, no mínimo, 22m de profundidade. No ponto crítico da contenção, foram encontradas as seguintes camadas de solo no perfil estratigráfico: inicialmente argila siltosa com areia fina à média com SPT médio de 4 golpes, em seguida uma camada de silte argiloso com areia fina com SPT médio de 6 golpes, silte arenoso com SPT médio de 15 golpes, por fim uma camada resistente composta por um maciço gnáissico com SPT acima de 45 golpes.

3.2 Remoção da camada vegetal

A contenção foi executada em torno de uma Área de Supressão Vegetal de total controle do INEA, IBAMA e do departamento de meio-ambiente da concessionária responsável pela duplicação, é importante ressaltar que existem inúmeras espécies de árvores nativas e nascentes de água em torno da estrutura, e que a construção desta contenção visa principalmente a preservação desta Área de Supressão Vegetal, a remoção da camada vegetal foi feita somente na área de construção do muro.

Toda atividade construtiva da obra e tráfego dos equipamentos de terraplanagem se deu pelo lado interno do muro afim de evitar a violação desta área.

3.3 Escavação e troca do solo de fundação

Com a definição do comprimento dos reforços primários, foi feita a escavação para implantação da contenção. Em uma determinada área não foi possível atingir o comprimento previsto em projeto para instalação das geogrelhas, visto que à montante da estrutura a ser construída encontra-se em utilização a BR-040. Neste caso a solução encontrada pelo projetista foi a execução de tirantes associados ao sistema de solo reforçado com geogrelhas para impedir qualquer tipo de problema.

Conforme previsto em projeto, foi encontrado solo de baixa capacidade de suporte durante a escavação no local de implantação da

contenção, a solução executada foi a troca do mesmo por agulhamento em rachão. No ponto crítico (descrito na investigação geotécnica) houve troca de solo com espessura em torno de 3m. Sobre o agulhamento foi instalado um filtro geotêxtil não-tecido com as funções de separação do agulhamento e material de aterro, e proteção mecânica da geogrelha. Na Figura 5 nota-se o processo supracitado.



Figura 5. Escavação e troca de solo da base

3.4 Execução do sistema de solo reforçado

3.4.1 Instalação do reforço primário (geogrelhas)

Por se tratar de uma estrutura que atingirá 28m de altura e sofrerá cargas elevadas após sua finalização, foi imprescindível o uso de geogrelhas associadas ao reforço metálico. De acordo com os cálculos ficou definido que o comprimento necessário do reforço primário é de 20m com espaçamento a cada metro. Quanto a resistência, foi utilizada uma geogrelha de 300 kN/m² até a metade da altura da contenção, ou seja, em 50% da seção mais crítica, devido a maior solicitação nesta área, em seguida utilizou-se geogrelha com resistência de 200 kN/m² atingindo 75% da altura da seção crítica, no restante a resistência da geogrelha foi de 90 kN/m². No total foram utilizados 92.700,00 m² de geogrelhas em todo projeto.

3.4.2 Execução da gaiola e reforço secundário (metálico)

Como mencionado anteriormente, o reforço

metálico consiste de um paramento frontal formado por uma gaiola metálica, que é preenchida com rachão, formado por um único pano para: o reforço, a base, a face e a tampa da gaiola. Cada elemento de reforço apresenta duas medidas padrões, largura de 1m e comprimento de 2m, a altura varia de 0,5m e 1m. Os elementos com altura de 0,5m quando utilizados aumentam a densidade de reforços secundários, pois, devido ao seu espaçamento a cada 0,5m diminuem consideravelmente possíveis deformações no paramento frontal.

Com base nisso, foi utilizada a caixa de 0,5m até a metade da altura total da contenção onde haverá maior solicitação da estrutura. No restante do muro foram utilizados elementos com altura de 1m. É importante frisar que independente da altura do elemento, todos possuem o fio de borda único, onde a amarração da malha hexagonal é feita de maneira mecanizada e possui duas voltas e meia em torno do fio de borda, alcançando uma resistência altíssima nesta ligação. Cada elemento de reforço foi costurado um ao outro e entre si, garantindo a monoliticidade da estrutura.

Em seguida as gaiolas foram preenchidas com rachão, sendo este preenchimento ocorrido em 3 etapas para as gaiolas com altura de 0,5m e com a colocação de dois tirantes, um a cada terço da gaiola. Para as gaiolas com altura de 1m o preenchimento o preenchimento foi realizado em 4 etapas para que fosse colocado três tirantes na gaiola. A execução dos tirantes é imprescindível pois os mesmos contribuem consideravelmente com a minimização da deformação do paramento frontal.

3.4.3 Instalação do filtro geotêxtil não-tecido ao tardo da gaiola

Após o preenchimento das gaiolas, foi instalado ao tardo da contenção um filtro geotêxtil não-tecido com a função de filtração e separação do solo de aterro, evitando que possíveis materiais finos passassem do aterro para o interior das gaiolas, evitando assim um processo erosivo que poderia comprometer a integridade da contenção.

3.4.4 Execução do aterro estrutural e controle tecnológico

O material utilizado na composição do aterro estrutural apresentou os seguintes resultados de laboratório para o ensaio de compactação: densidade seca máxima de 2,108 g/cm³, umidade ótima de 8,7%, energia de compactação modificada. O índice de suporte Califórnia (CBR) obtido foi de 146,0% e a análise granulométrica mostrou que o material se encaixa na faixa “A”.

O controle tecnológico seguiu as premissas de projeto, onde a indicação foi a utilização do método pelo frasco de areia para averiguação do grau de compactação e a umidade ótima foi medida pelo método “*speedy*”.

3.4.5 Deformação do paramento frontal em função do desempenho do sistema de solo reforçado

As deformações do paramento frontal apresentadas pela contenção em função dos esforços provenientes do processo construtivo, foram mínimas, praticamente imperceptíveis a olho nu. Os fatores que mais influenciaram este excelente desempenho foram a execução dos tirantes adicionais nas gaiolas, o tipo de material utilizado na composição do aterro estrutural e o controle tecnológico, ambos descritos no item anterior. Pode-se notar na Figura 6 o acabamento do paramento frontal da estrutura.



Figura 6. Vista do paramento frontal da estrutura.

3.5 Execução dos tirantes monobarra

3.5.1 Característica dos Tirantes Monobarra

Em uma determinada área da contenção se fez necessário a utilização de tirantes, o objetivo foi compensar a falta de espaço para instalação das geogrelhas, como mencionado anteriormente. Foram utilizados tirantes monobarra permanentes, executados conforme norma NBR 5629, inclusive no que se refere a proteção contra corrosão e ao teste de protensão e incorporação.

Os tirantes têm uma capacidade de carga nominal de 37,7 tf. e são dotados na região dos bulbos, de manchetes a cada 0,5m, permitindo a injeção em estágios e manchete a manchete via obturador duplo. Na Figura 7 visualiza-se a área de aplicação dos tirantes.

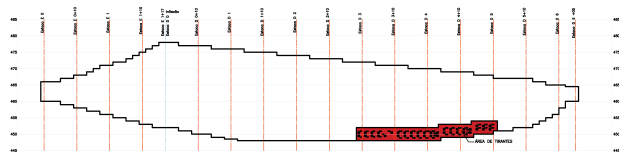


Figura 7. Vista frontal indicando a área aplicação dos tirantes.

3.5.2 Perfuração dos tirantes monobarra

Durante a perfuração de todos tirantes, foi encontrada uma situação similar quanto ao tipo de material do maciço a ser perfurado, inicialmente a perfuração se deu em solo predominantemente argiloso, passando em seguida por alteração de rocha e finalizando em rocha sã, onde os tirantes foram ancorados. O diâmetro mínimo dos furos foi de 10cm e a inclinação horizontal de 10°.

3.5.3 Instalação dos tirantes monobarra

Os tirantes foram instalados e injetados conforme norma NBR 5629, e respeitaram rigorosamente o projeto.

Mesmo com a utilização de tirantes em determinada área da contenção não dispensou o uso de geogrelha como reforço a Figura 8 mostra a vista frontal da estrutura.



Figura 8. Vista do paramento frontal da estrutura.

3.5.4 Protensão dos tirantes monobarra

Por se tratar de uma contenção de solo reforçado, onde o aterro vai sendo alteado conforme avanço da construção, foram determinadas quatro etapas de protensão dos tirantes, visando controlar rigorosamente a carga aplicada de cada tirante, a carga acumulada a partir da etapa 02 e possíveis ganhos de cargas gerada pelo alteamento da estrutura. Abaixo na Figura 9. ilustra-se a sequência executiva da solução proposta em projeto.

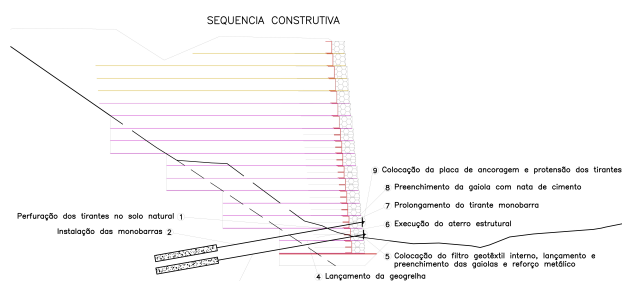


Figura 9. Croqui esquemático da sequência construtivas.

3.5.5 Deformação do paramento frontal em função do puncionamento dos tirantes no paramento frontal flexível

Houve uma grande preocupação quanto a deformação da face da estrutura, e como mencionado anteriormente a estrutura é monolítica e dotada de uma face flexível. Por isso adotou-se duas soluções visando minimizar as possíveis deformações no paramento flexível.

Em relação às gaiolas a solução encontrada foi a execução de “vigas” na área dos tirantes, as gaiolas foram revestidas internamente com

geotêxtil não-tecido antes do preenchimento com a função de vedação, em seguida houve a colocação tradicional de pedras tipo rachão sobre o geotêxtil e posteriormente a injetou-se nata de cimento (a mesma utilizada na injeção dos tirantes) nas gaiolas. Quanto à placa de ancoragem, esta foi dimensionada com espessura de 1 polegada, quadrada com lados de 70 cm e de aço SAE 1020. O resultado obtido durante as protensões foi muito satisfatório, nota-se na Figura 10.



Figura 10. Vistas da área de tirantes.

colaboradores envolvidos.

Podemos concluir que o resultado final atendeu às expectativas do projeto e obra, sendo demonstrado que a utilização da solução em solo reforçado com paramento frontal flexível pode ser aplicada juntamente com tirantes, desde que haja um controle rigoroso de qualidade nos processos executivos de cada solução.

AGRADECIMENTOS

A Maccaferri do Brasil, agradece a Eng. Consultoria e a Concer e Consórcio Nova Subida da Serra pela disponibilização de todas as ferramentas e suporte técnico necessárias para elaboração deste trabalho.

4 CONCLUSÃO

O projeto apresentado teve grande êxito devido à qualidade de todas as informações obtidas desde a etapa de projeto até o término da obra.

Os desafios superados foram de grande magnitude devido às soluções aplicadas concomitantemente, região com altíssima incidência de chuvas, condições desfavoráveis de acesso, conservação total da área de supressão vegetal e segurança de todos