CONTENÇÃO EM SOLO REFORÇADO COM PARAMENTO FRONTAL VEGETADO: ESTUDO DE CASO EM TALUDE RODOVIÁRIO

Reinforced soil with vegetated frontal face: case study in a road slope

Larissa Vieira[a], Bianca Penteado de Almeida Tonus[b]

[a] Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná, Brasil.
[b] Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil.

RESUMO – Trata-se de estudo de caso de um talude de aterro na alça de uma interseção rodoviária no município de Colombo, Paraná, no qual foi executado solo reforçado por meio de elementos de malha metálica com paramento frontal vegetado combinados com geogrelhas. Durante a elaboração do projeto, concluiu-se que o sistema empregado seria a alternativa mais vantajosa, técnica e economicamente, comparado às demais alternativas. Os benefícios observados foram o menor custo, o baixo impacto ambiental, o aspeto estético natural do paramento frontal vegetado, a desnecessidade de mão de obra especializada e de equipamentos especiais para a execução. As principais dificuldades identificadas foram a necessidade de controle topográfico rigoroso antes e durante a execução do aterro, necessidade de controle tecnológico constante e a execução da obra ter coincidido com o período chuvoso, acarretando num prazo de execução maior do que o previsto. Constatou-se que tais dificuldades foram causadas por fatores não atinentes ao tipo de contenção em si, mas sim às condições pluviométricas e às características geométricas da interseção.

ABSTRACT – A case study of an embankment slope in a highway intersection access road in Colombo municipality, Paraná, in which reinforced soil was executed using metal mesh elements with vegetated facing combined with geogrid is presented. In the design phase, it was concluded that the system used would be the most advantageous alternative, both economically and technically compared to other alternatives. The benefits observed were the lower cost, the low environmental impact, the natural aesthetic aspect of the vegetated frontal wall, and the fact that no specialized manpower or special equipment were needed for the execution. On the other hand, the main difficulties identified were the need for strict topographic control before and during the execution of the embankment, the need for constant technological control and the execution coincided with the rainy season, resulting in an execution period longer than expected. Such difficulties were caused by factors not related to the type of containment itself, but to the rainfall conditions and the geometric characteristics of the intersection.

Palavras Chave – Talude, contenção, solo reforçado.

Keywords – Slope, soil support, reinforced soil.

1 – INTRODUÇÃO

O Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná (DER/PR) é a autarquia responsável pela execução do programa rodoviário cuja finalidade é programar, executar e controlar todos os serviços relacionados a estudos, projetos, obras, conservação, operação e administração das rodovias estaduais do Paraná.

E-mails: larissavieira@der.pr.gov.br (L. Vieira), bpatonus@uepg.br (B. Tonus)

Para atender à demanda crescente de tráfego na rodovia estadual PR-417, que faz a ligação entre a capital do Estado e o município de Colombo, o Departamento contratou, em 2018, os serviços para ampliação da sua capacidade de tráfego. Entre as melhorias previstas, estava a implantação de uma interseção em desnível (viaduto) no cruzamento entre a referida rodovia e a Avenida Santos Dumont, no município de Colombo, conforme apresentado na Figura 1.

Para tanto, foram contratadas empresas especializadas para a elaboração do projeto das obras de artes especiais, que seriam os dois viadutos adjacentes, e de estruturas de contenção necessárias para viabilizar a execução da interseção.

Entre as estruturas de contenção cuja necessidade foi observada durante a elaboração do projeto geométrico da interseção, destaca-se o talude do aterro da alça de acesso ao viaduto. Devido às condições topográficas do local, que possui relevo acidentado, houve necessidade de um grande volume de aterro para vencer o desnível existente, e, portanto, havia que se estudar uma solução para uma contenção de altura de aproximadamente 8 metros.

Fig. 1 – Projeto da interseção da rodovia PR-417 com a Av. Santos Dumont, em Colombo com destaque para localização da contenção (Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná, 2018)

Historicamente, as soluções usualmente adotadas para contenções nos projetos e obras contratados pelo DER/PR são muros de gravidade com concreto ciclópico ou gabiões e cortinas atirantadas. No decorrer dos anos, as contenções em concreto armado, com ou sem o uso de tirantes, foram e ainda são muito utilizadas, contudo, quando há necessidade de executar contenções com maiores alturas, o custo deste tipo de estrutura eleva-se consideravelmente (Ehrlich e Becker, 2009).

No caso em estudo, devido ao grande volume do aterro e à altura necessária da contenção, após realizar estudos comparativos das alternativas, optou-se por uma solução diferente das comumente empregadas no âmbito do órgão.

A solução adotada foi a execução de solo reforçado, dotado de paramento frontal com revestimento vegetal, que consiste na instalação de elementos de malha metálica revestida por polímero, que são resistentes à tração e convenientemente orientados para aumentar a resistência do solo e diminuir a deformabilidade do maciço. Comercialmente, este tipo de contenção é denominado pelo fabricante como Terramesh Verde. Além disso, também foram utilizadas geogrelhas ancoradas no terreno, amarradas aos elementos citados, para reforço do maciço.

ISSN 0379-9522; e-ISSN 2184-8394 – Geotecnia nº 156 – novembro/noviembre/november 2022 – pp. 55-75
https://doi.org/10.14195/2184-8394_156_3 – © 2022 Sociedade Portuguesa de Geotecnia

O paramento frontal deste tipo de contenção contém uma geomanta flexível tridimensional que apresenta mais de 90% de vazios, fabricada a partir de filamentos grossos de polipropileno fundidos nos pontos de contato. Além de proteger o solo exposto da ação das intempéries, facilita o crescimento da vegetação, pois retém os insumos utilizados para a implantação da vegetação (sementes, por exemplo) que, sem a geomanta, seriam carreadas devido à inclinação do talude. Assim, obtém-se o revestimento com cobertura vegetal, e a interferência na paisagem é mínima, configurando-se como uma solução de baixo impacto ambiental (Maccaferri, 2020).

Neste trabalho, serão apresentados alguns aspetos do projeto, abordando a concepção da contenção e seu dimensionamento, e na sequência aspetos da execução, no que se refere às principais vantagens e dificuldades na utilização deste tipo de estrutura. O objetivo é analisar a solução de contenção proposta, já que a mesma não é usualmente empregada nas obras rodoviárias públicas do estado.

2 – BREVE REFERENCIAL TEÓRICO

Os solos reforçados têm se mostrado como uma alternativa de contenção de taludes de aterro com boa vantagem técnica, econômica e ambiental, tornando-se uma opção bastante interessante para aplicação em diversas obras de engenharia. A seguir são apresentadas as principais informações obtidas do levantamento bibliográfico realizado sobre os tópicos considerados mais relevantes para o estudo.

2.1 – Solo reforçado

Segundo a norma NBR 11682 (ABNT, 2009), as estruturas de solo reforçado são aquelas cuja estabilidade é garantida pelo reforço do terreno com elementos resistentes introduzidos em seu interior, que trabalham conjuntamente com o terreno, podendo ser grampos, fitas, geossintéticos e outros.

A técnica de contenção de taludes por meio de estruturas de solo reforçado é caracterizada por apresentar soluções mais econômicas, simples e de fácil e rápida execução, quando comparadas às estruturas convencionais de contenção (Pedroso, 2000).

No geral, os solos possuem elevada resistência aos esforços de compressão, porém baixa resistência aos esforços de tração. Quando uma massa de solo é carregada verticalmente, ela sofre deformações verticais devido à compressão e deformações laterais devido à tração (extensão). No entanto, se a massa de solo estiver reforçada, as deformações laterais são reduzidas devido ao desenvolvimento de esforços de tração no elemento de reforço (Sieira, 2003).

Há diversos tipos de estrutura de solo reforçado, contudo neste trabalho será dado enfoque à solução objeto deste estudo de caso, que consiste na introdução de elementos específicos resistentes à tração, orientados convenientemente para aumentar a resistência do solo e reduzir a deformabilidade do maciço.

Os elementos utilizados nesta solução são constituídos por malha hexagonal de dupla torção feita de arames de aço de baixo teor de carbono revestidos por liga metálica de Zn/Al e por um cobrimento polimérico, e associam-se a um paramento frontal plano composto pela mesma malha, geralmente inclinado a 70°. O paramento é reforçado por varetas de aço e possui revestimento de tela eletrosoldada associada a uma geomanta ou biomanta, e é sustentando por dois elementos metálicos em forma de "mão francesa (Maccaferri, 2017).

Na contenção deste estudo de caso, o solo reforçado também possui geogrelhas tecidas (ou entrelaçadas) amarradas aos elementos da contenção, como reforço secundário da estrutura.

A interação entre o solo e a geogrelha é função dos mecanismos de cisalhamento na interface entre o solo e as tiras longitudinais e transversais da geogrelha; e do cisalhamento do solo confinado nas aberturas da malha, que pode ser dividido em dois componentes: cisalhamento do solo

intertravado e puncionamento dos membros de ancoragem (Bauer e Mowafy, 1988; Oostveen *et al.,* 1994 *apud* Sieira, 2003).

A resistência ao arrancamento de solos reforçados com geogrelhas depende da resistência da interface e da resistência passiva do solo aos elementos transversais, sendo que a primeira é devida ao desenvolvimento de atrito e de adesão ao longo da superfície de reforço. O efeito preponderante sobre o valor da resistência ao arrancamento depende da relação entre a abertura da geogrelha, do tipo de solo – especialmente da granulometria, entre outros (Jewell *et al.*, 1984).

A resistência ao cisalhamento mobilizada ao longo da interface solo-reforço depende majoritariamente do tipo de reforço empregado. Nas geogrelhas, a resistência ao arrancamento é primeiramente mobilizada pelo atrito e pela adesão superficial, que necessitam de um pequeno deslocamento para que sejam mobilizados. Posteriormente, ocorre a mobilização da resistência passiva, para maiores deslocamentos. O atrito na interface entre o solo e a geogrelha depende do tipo do solo e da rugosidade da geogrelha, enquanto a resistência passiva do solo aos elementos transversais depende de muitos fatores, como a tensão de confinamento, a geometria da geogrelha e a relação entre diâmetros, ou seja, entre o tamanho médio dos grãos do solo e o tamanho das aberturas da geogrelha (Farrag *et al.*, 1993).

Dentre os diversos tipos de soluções para solos reforçados, a combinação com o paramento vegetado alia o fator estético, eliminando a agressividade visual de materiais como o concreto no cenário da obra (Ananias *et al.*, 2009), à proteção contra processos erosivos superficiais e até danos por vandalismo ou furto de materiais.

Neste contexto, alguns autores analisaram a solução de solo reforçado com paramento vegetado, com relação às suas aplicações e potencialidades. Segundo Santos (2004), a associação da malha constituinte do paramento frontal com uma biomanta ou geomanta favorece o crescimento da vegetação semeada por todo o talude, protegendo sua superfície contra possíveis processos erosivos. O autor também menciona que uma das vantagens desse sistema seria a flexibilidade do tipo de estrutura, pois é possível acompanhar os desníveis do terreno mantendo sua integridade estrutural. Como desvantagem, o autor menciona a necessidade de grandes volumes de empréstimos de material para a implantação.

No trabalho elaborado por Reis (2018), o autor realizou modelagens com três alturas diferentes de contenções:7,93, 9,76 e 12,20 metros, a serem executadas com a solução objeto deste estudo, para verificar qual o comprimento do reforço (porção da malha do elemento ancorada no terreno) necessário para cada altura, para atingir o fator de segurança global mínimo igual a 1,5. Os valores dos comprimentos obtidos foram iguais a 7, 10 e 13 metros, respectivamente.

Segundo Alves (2017), o sistema de solo reforçado com elementos de malha metálica e paramento vegetado possibilita a preservação da permeabilidade e da capacidade drenante do terreno e combina, portanto, as necessidades de estabilização e sustentabilidade ambiental, sem afetar a competitividade econômica do produto. Assim, torna-se uma opção eficiente e adaptável às mais diversas condições.

Entre os casos de obras de contenções com a tecnologia objeto deste estudo, o próprio fabricante apresenta alguns casos de aplicação do sistema em diversos locais: muro de contenção de altura aproximada de 4,20 metros em Brasília; contenção para criação de nova célula de aterro sanitário no município de Betim em Minas Gerais, com 156 metros e extensão e 8 metros de altura; muro de contenção em condomínio na Guatemala, com 7,20 metros de altura; reforço de talude de aterro rodoviário em Kiratpur, na Índia (Maccaferri, 2014, 2016a, 2016b, 2016c).

Costa Junior *et al.* (2016) estudaram a utilização da técnica para reforço de um aterro com altura de 30 metros na seção crítica, na pista de um aeroporto executivo no município de São Roque, em São Paulo. Segundo os autores, a solução foi escolhida devido à necessidade de se indicar um acabamento frontal que possuísse a função de proteção dos geossintéticos utilizados para reforço do terreno, aumento da rigidez, integração à paisagem e flexibilidade.

2.2 – Análise de custos de obras de solo reforçado

Um aspeto de grande importância, principalmente no âmbito de obras públicas, é o custo deste tipo de estrutura. Há poucos estudos específicos de custo de implantação do sistema objeto deste estudo, mas é possível fazer uma analogia com sistemas de solo reforçado no geral.

Diversos autores afirmam, a partir de seus estudos, que as técnicas de solo reforçado apresentam custos menores quando comparadas aos métodos tradicionais. Segundo Benjamin (2006), muros e taludes executados com solo reforçado custam, em geral, de 30 a 50% menos do que as soluções convencionais, de modo que a economia aumenta com a altura da estrutura.

Elias *et al.* (2001, *apud* Magalhães, 2016) realizaram um estudo comparativo entre custos de alternativas de estruturas de contenções nos Estudos Unidos, demonstrando a vantagem econômica do solo reforçado sobre as demais opções.

Com relação aos autores que realizaram análises de custos no Brasil, Avesani Neto *et al.* (2013) realizaram um levantamento de custos de execução no estado de São Paulo e uma análise comparativa entre alternativas de muro de flexão em concreto armado, gabião, terra armada e solo reforçado com geossintéticos, considerando três alternativas para o faceamento do último: bloco, painel e envelopamento. Os resultados mostraram que, para todas as alturas avaliadas, a alternativa de solo reforçado com geossintético foi a mais econômica.

Pessoa (2016) desenvolveu um estudo comparativo entre técnicas de contenção de solo reforçado com geogrelhas com faceamento em blocos pré-moldados, terra armada e muro de gravidade em concreto. Para as alturas analisadas (2 a 10 metros), considerando os custos do município de Natal, no estado do Rio Grande do Norte a terra armada apresentou o menor custo por metro quadrado de face, enquanto o muro de gravidade em concreto resultou em custos mais competitivos apenas para alturas inferiores a 4 metros. O autor afirma que seus resultados diferem de Avesani Neto *et al.* (2013) possivelmente devido à escolha do material da face em blocos pré-moldados, que podem tornar a opção de solo reforçado mais onerosa.

Torres *et al.* (2019) apresentam a evolução de custos com a altura da contenção, com base em preços do município de Jataí no Estado de Goiás , comparando um muro a flexão e um muro de solo reforçado com geogrelha. Para a menor altura analisada, igual a 3 metros, o custo do muro a flexão supera o custo do solo reforçado em 188,8%, e para a maior altura analisada, de 6 metros, a diferença sobe para 260,2%.

Assunção *et al.* (2019), em seu estudo comparativo entre o sistema de contenção com solo reforçado com geogrelhas e muro de gabiões, considerando custos vigentes no Estado de São Paulo concluíram que o primeiro é mais viável economicamente e mantém uma proporção linear no aumento de seu custo à medida que se aumenta a altura da contenção. Já os muros de gabiões, além de apresentarem um custo inicial maior, tem seu preço crescendo exponencialmente com o aumento da altura da contenção.

Em contrapartida, Campelo *et al.* (2015) comentam, em sua publicação sobre estabilidade de muros de gravidade com gabiões em Manaus, no Estado do Amazonas, que a utilização de sistemas estruturais específicos como o Terramesh nem sempre constituem a solução mais econômica, uma vez que os insumos precisam ser importados de outros centros do país, acarretando em prazos maiores e custos sobrelevados para a execução da obra.

Entre os fatores que levam as contenções de solo reforçado a apresentar uma melhor relação custo benefício se pode citar, primeiramente, que a inclusão de elementos sintéticos no aterro permite adotar estruturas com face vertical ou taludes mais íngremes resultando, portanto, em um menor volume de aterro compactado ao comparar com um aterro sem reforço e taludes menos íngremes, que resultam em extensões maiores devido à inclinação no talude e portanto, aterros de maior volume (Sieira, 2003; Ehrlich *et al.*, 2015).

É sabido que o custo do transporte é um fator decisivo na escolha da jazida para se obter o material de aterro. Neste contexto, o uso de reforço permite o emprego de solos locais, ainda que

sejam de qualidade inferior, reduzindo a necessidade de transportar solos de jazidas mais distantes da obra (Lopes, 2001; Santos, 2004).

Também é possível citar que o processo executivo não exige mão de obra qualificada nem equipamentos específicos, podendo utilizar equipamentos convencionais de terraplenagem. Por fim, complementa-se ainda que o tempo de execução da obra geralmente é reduzido, já que dispensa o uso e montagem de formas, escoramentos e andaimes, bem como não há necessidade de espera pela cura do concreto.

3 – ASPETOS DO PROJETO

A contenção deste estudo foi necessária pois, de acordo com a geometria proposta para a referida interseção, apresentada na Figura 2, a alça de acesso precisava vencer um desnível de aproximadamente 12 metros de altura, considerando as condições do terreno local, que é bastante acidentado.

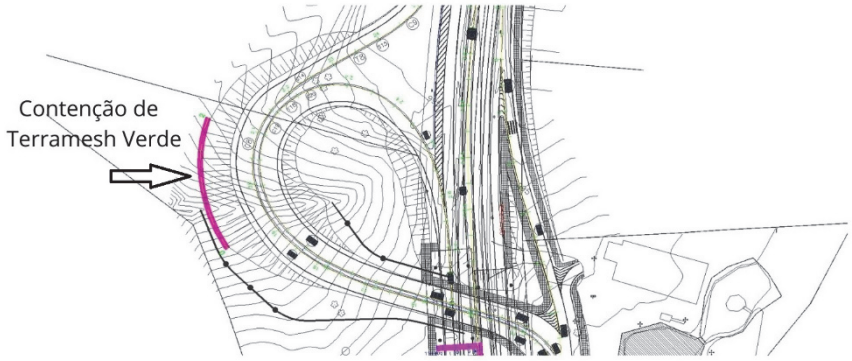


Fig. 2 – Planta de localização da contenção na alça de acesso da interseção (adaptado de Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná, 2018)

A faixa de domínio da rodovia em epígrafe, segundo o Decreto n.º 14.647 (1969), é igual a 40 metros, sendo 20 metros para cada lado a partir de seu eixo. Para viabilizar a execução da alça de acesso da interseção com a geometria proposta, foi necessário desapropriar parte dos terrenos adjacentes à rodovia. Com o objetivo de minimizar a área a ser desapropriada, foi proposta a execução da contenção no local.

Inicialmente, o projetista estudou uma contenção de aproximadamente 5,50 metros de altura, localizada desde a base do talude até aproximadamente metade da sua altura, sendo o restante do talude tendo sua inclinação abatida por aterro sem reforço.

Além da altura do aterro, outro aspeto considerado no projeto foi a existência de uma surgência de água no terreno, próxima ao local do aterro, que resulta em um curso d'água perpendicular ao aterro, de regime intermitente. Sendo assim, a solução dada deveria também permitir que essas águas aflorantes fossem escoadas de forma eficiente e sem prejudicar a estabilidade do aterro.

Além disso, o órgão ambiental local responsável pela Outorga de Águas – o atual Instituto de Água e Terra (IAT), também apontou a necessidade de apresentar uma solução de engenharia que não causasse a supressão deste afloramento de água, procurando manter as características hidrogeomorfológicas naturais do terreno.

ISSN 0379-9522; e-ISSN 2184-8394 – Geotecnia nº 156 – novembro/noviembre/november 2022 – pp. 55-75
https://doi.org/10.14195/2184-8394_156_3 – © 2022 Sociedade Portuguesa de Geotecnia

3.1 – Alternativas de contenção estudadas na fase de projeto

Considerando as premissas da altura da contenção e da existência da surgência de água, as alternativas estudadas inicialmente no projeto foram: Terramesh, Terramesh Verde, terra armada e muro a gravidade de concreto ciclópico.

A alternativa de utilização do sistema Terramesh foi apontada como uma solução eficiente pois, além de atender ao requisito da altura, também possui uma adaptação satisfatória ao sistema de drenagem. Além da grelha existente do elemento Terramesh ancorada no terreno, o projetista apontou que estruturalmente seria necessário o reforço secundário com geogrelhas resistentes à tração.

Como aspeto negativo deste tipo de contenção, o DER apontou o material constituinte do paramento frontal da contenção, que possui tela metálica aparente. Em locais de fácil acesso por pedestres, como é o caso desta interseção, é possível que ocorra vandalismo ou furto do material do paramento, prejudicando a estabilidade da contenção.

Para superar esse aspeto, o projetista sugeriu a solução com o sistema Terramesh Verde, pois nesse caso o paramento frontal ficaria sem nenhum material aparente, somente com vegetação. Além disso, essa solução também poderia ser adaptável à existência de um elemento drenante em sua base, para permitir o fluxo do curso d'água intermitente existente no local.

A alternativa em terra armada, muito comum na execução de aterros, permite que a inclinação do paramento frontal seja vertical. Contudo, além de possuir um elevado custo inicial, exige, com o passar do tempo, manutenção das placas de concreto de seu paramento, o que poderia encarecer ainda mais seu custo. Além disso, a solução não apresenta boa compatibilidade com a necessidade de drenagem do local.

O muro de gravidade de concreto ciclópico foi incluído na análise de alternativas por ser a solução usualmente adotada pelo DER, já que seu método executivo é amplamente conhecido, ainda que altura da contenção resultaria em um elevado consumo de concreto, acarretando o aumento significativo do custo da contenção.

Na matriz de análise das alternativas analisaram-se critérios considerados relevantes para a escolha da contenção, classificando cada solução proposta como "atende ao requisito" e "não atende ao requisito", com exceção do custo, que foi avaliado com relação a sua expressividade em três níveis, sendo Nível 1 custo mais baixo e Nível 3 custo mais alto.

Os critérios analisados na matriz de decisão são apresentados a seguir:

a) Mobilização de equipamento: avalia a viabilidade de utilizar os equipamentos necessários para a execução da contenção no local, no que se refere à disponibilidade do equipamento para a região. Nesse caso, todas as alternativas estudadas foram classificadas como "atende ao requisito".

b) Espaço necessário para instalação do equipamento: avalia se o espaço disponível para a execução da contenção é suficiente para utilização do respectivo equipamento. Novamente, todas as alternativas foram classificadas como "atende ao requisito".

c) Compatibilização com a drenagem local: avalia se a alternativa é compatível com a execução de um sistema drenante para escoamento da água aflorante no local. A única alternativa que não atendeu ao requisito foi a solução em terra armada.

d) Altura da contenção: verifica se a solução proposta é viável, estruturalmente, para conter a altura do aterro. Todas as alternativas atenderam ao requisito.

e) Espaço para a implantação da contenção: avalia se o espaço existente é suficiente para a execução das soluções propostas devido à inclinação de sua face, de modo que quanto mais vertical o paramento, menor será o espaço necessário. Todas as alternativas atenderam ao requisito.

f) Método executivo da obra: avalia se o método construtivo da contenção é compatível com o tipo de talude (aterro). Todas as alternativas atenderam ao requisito.

g) Interferências locais com infraestrutura existente: avalia se a solução proposta tem execução viável mesmo com a interferência de outros elementos (postes, dutos etc.). Todas as alternativas atenderam ao requisito.

h) Custo: a expressividade do custo de cada solução foi estimada de acordo o conhecimento prévio do projetista, resultando em um custo Nível 3 (mais caro) para as soluções de terra armada e muro a gravidade, Nível 2 para o Terramesh e Nível 1 para o Terramesh Verde.

Após análise prévia dos critérios, embora não tenham sido atribuídos pesos para cada critério analisado, verificou-se que os mais relevantes para a escolha seriam a compatibilidade com a drenagem do curso d'água local; e o espaço disponível para a contenção, que deveria ter uma inclinação próxima à vertical.

Neste sentido, a opção pela solução de terra armada foi descartada, pois ainda que seu paramento possua inclinação vertical, seu método executivo não é compatível com a necessidade de drenagem do local, devido ao posicionamento das placas de concreto do paramento frontal, além de seu custo ser usualmente mais elevado.

A solução de Terramesh, embora atenda aos critérios considerados mais relevantes, também foi descartada, por conta de sua suscetibilidade à ocorrência de vandalismo e furto do material do paramento frontal (tela metálica e rachão).

Sendo assim, as opções consideradas mais adequadas ao local foram o Terramesh Verde e o muro a gravidade de concreto ciclópico. Para essas alternativas, foi elaborado um orçamento pelo projetista, com a finalidade de comparar os custos e realizar a decisão do tipo da contenção.

Para a contenção em Terramesh Verde, foi considerada a execução de uma base do muro em material rochoso (enrocamento de pedra de mão), elementos Terramesh Verde, geogrelhas tecidas com duas resistências à tração diferentes (200 kN/m para as primeiras camadas, em maior profundidade e 120 kN/m para as demais camadas), material terroso (1ª categoria[1]) para o aterro e sua compactação, além de hidrossemeadura na face do talude.

Na Tabela 1 a seguir são apresentados os custos resultantes do orçamento, considerando a Tabela de Preços do DER/PR vigente à época do projeto (data base 2017, com desoneração) e demais cotações realizadas pelo projetista para os serviços que não constavam na tabela.

Tabela 1 – Orçamento para a solução Terramesh Verde com base na Tabela de Preços do DER/PR (data base 2017, com desoneração)

Serviço	Unid.	Qtde.	Custo unitário (R$)	Custo (R$)
Enrocamento pedra de mão arrumada	m³	275,600	226,61	62.453,72
Terramesh Verde 70º x 0,60 x 3,00m un 153,000 926,66 141.778,98	un	153,000	926,66	141.778,98
Geogrelha tecida com filamentos de poliester + PCV resistência longitudinal 120 kN/m inclusive colocação	m²	2.081,000	31,56	65.676,36
Geogrelha tecida com filamentos de poliester + PCV resistência longitudinal 200 kN/m inclusive colocação	m²	581,000	42,10	24.460,10
Escavação e carga mat. jazida 1a. cat. Inclusive transporte	m³	2.821,906	57,89	163.360,14
Reaterro e apiloamento mecânico	m³	2.555,337	27,21	69.530,72
Compactação de aterros 95% da energia Proctor Normal	m³	5.110,695	3,86	19.727,28
Hidrossemeadura para face do terramesh verde	m²	183,600	6,69	1.228,28
			Total	**548.215,58**

[1] Materiais de 1ª categoria referem-se aos solos em geral, residuais ou sedimentares, seixos rolados ou não, com diâmetro máximo inferior a 0,15 m (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2009).

Para o orçamento da solução de muro de gravidade com concreto ciclópico, foi considerada uma seção típica trapezoidal com base alargada e altura variável, e calculado o volume necessário de concreto ciclópico com base na distância média entre as estacas. Também foram considerados as formas e o escoramento para a concretagem, além do solo para o aterro e sua compactação, resultando no orçamento apresentado na Tabela 2, obtido a partir da Tabela de Preços do DER/PR (data base 2017, com desoneração) e cotações para os serviços não constantes na tabela.

Tabela 2 – Orçamento para a solução de muro a gravidade com concreto ciclópico, com base na Tabela de Preços do DER/PR (data base 2017, com desoneração)

Serviço	Unid.	Qtde.	Custo unitário (R$)	Custo (R$)
Concreto ciclópico Fck=15 MPa, inclusive lançamento	m³	1.343,410	275,32	369.867,64
Formas de madeira compensada resinada	m²	400,000	86,56	34.624,00
Escoramento simples	m³	304,000	58,73	17.853,92
Compactação de aterros 95% da energia Proctor Normal	m³	7.666,032	3,86	29.590,88
Escavação e carga mat. jazida 1a. cat. Inclusive transporte	m³	2.821,910	57,89	163.360,37
Local - caminhão basculante (transporte de bota-fora)	t	200,000	55,71	11.142,00
			Total	**626.438,81**

Com base nos custos resultantes do orçamento, verificou-se que a solução em Terramesh Verde apresentou o menor custo inicial, ainda que a diferença não tenha sido tão expressiva, sendo o custo do Terramesh Verde aproximadamente 12% inferior ao custo do muro a gravidade de concreto ciclópico.

A escolha pelo Terramesh Verde também foi motivada, além do menor custo, por possuir menor impacto ambiental, principalmente quando comparada ao elevado consumo de concreto que seria necessário para a estrutura a gravidade. Visualmente, o aspeto estético do paramento vegetado também se demonstra vantajoso à agressividade do concreto, já que o local da contenção, ainda que esteja situado em uma área urbanizada, é utilizado para criação de ovinos e possui vegetação abundante, inclusive espécies nativas.

3.2 – Características do solo local

Para o reconhecimento do solo local, o projeto previa a execução de sondagens de simples reconhecimento com SPT, em acordo com a Norma NBR 6484 (ABNT, 2001). No local da contenção objeto deste estudo de caso, foram realizados dois furos, cuja localização com relação à posição da contenção pode ser observada na Figura 3.

No furo denominado SP-005, foi identificada uma camada superficial (até 1,70 metros de profundidade) de argila siltosa média, pouco plástica, de cor vermelha, com índice NSPT igual a 6; seguida de uma camada silte arenoso até 4,70 metros de profundidade, não plástico, pouco a medianamente compacto, de cor vermelha, com índice N_{SPT} médio igual a 9.

Na sequência, foi identificada uma camada de silte não plástico, medianamente compacto a compacto de cor amarelada até atingir o impenetrável ao amostrador SPT (segundo os critérios da norma NBR 6484 de 2001) na profundidade de 12,45 metros. Para a última camada, o índice N_{SPT} médio foi igual a 26. Neste furo, não foi identificado o nível d'água na data de realização do ensaio.

No furo denominado SP-006, o solo encontrado foi uma argila plástica média de cor marrom, até a profundidade de 1,70 metros, com N_{SPT} igual a 6. Em seguida, foi identificada uma camada de

silte não plástico, pouco compacto a compacto de cor variegada, até atingir o impenetrável ao amostrador SPT (pelos critérios da NBR 6484) a 14,45 metros de profundidade. Nesta camada, o índice N_{SPT} médio foi igual a 19. Neste furo, localizado em uma cota mais baixa que o furo SP-005, o nível d'água foi encontrado a uma profundidade de 8,10 metros.

Para a caracterização do solo local, também foram realizados ensaios de limite de liquidez, limite de plasticidade e análise granulométrica, de acordo com as normas DNER-ME 122 (1994a), DNER-ME 082 (1994b) e DNER-ME 080 (1994c) respectivamente.

3.3 – Dimensionamento da contenção

Tendo em vista que o contrato de elaboração do projeto não abrangia a realização de ensaios para determinação direta dos parâmetros de resistência do solo (ângulo de atrito interno e coesão), os mesmos foram adotados pelo projetista, com base em diversas bibliografias e sua experiência prévia, a partir dos valores do índice de resistência à penetração (N_{SPT}) resultantes do ensaio SPT realizado e a classificação granulométrica das amostras de solo.

Para o cálculo da estabilidade global, foi considerado um Fator de Segurança (FS) mínimo igual a 1,50, em acordo com o estipulado na norma NBR 11682 (2009). A verificação foi realizada pelo Método de Bishop Simplificado, pelo qual é considerada uma superfície de ruptura circular, de modo que seja obtido o equilíbrio de forças solicitantes e resistentes em cada uma das lamelas. O *software* utilizado para a análise de estabilidade foi o Rocscience Slide.

O dimensionamento da estrutura, neste caso, foi realizado a partir da análise do equilíbrio quantos aos fatores internos e externos à estrutura. Para os fatores externos, foi verificada a segurança em relação ao deslizamento e ao tombamento da estrutura, quanto à capacidade de carga da fundação e à possibilidade de ruptura global. Quanto aos fatores internos, foi verificada a possibilidade de ruptura à tração e o arrancamento dos reforços, no *software* Macstars 2000 (1998).

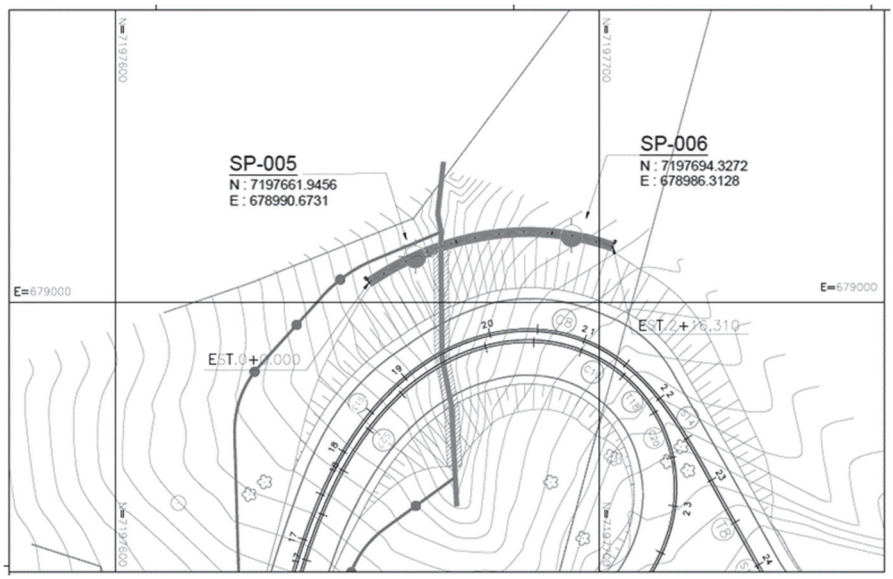
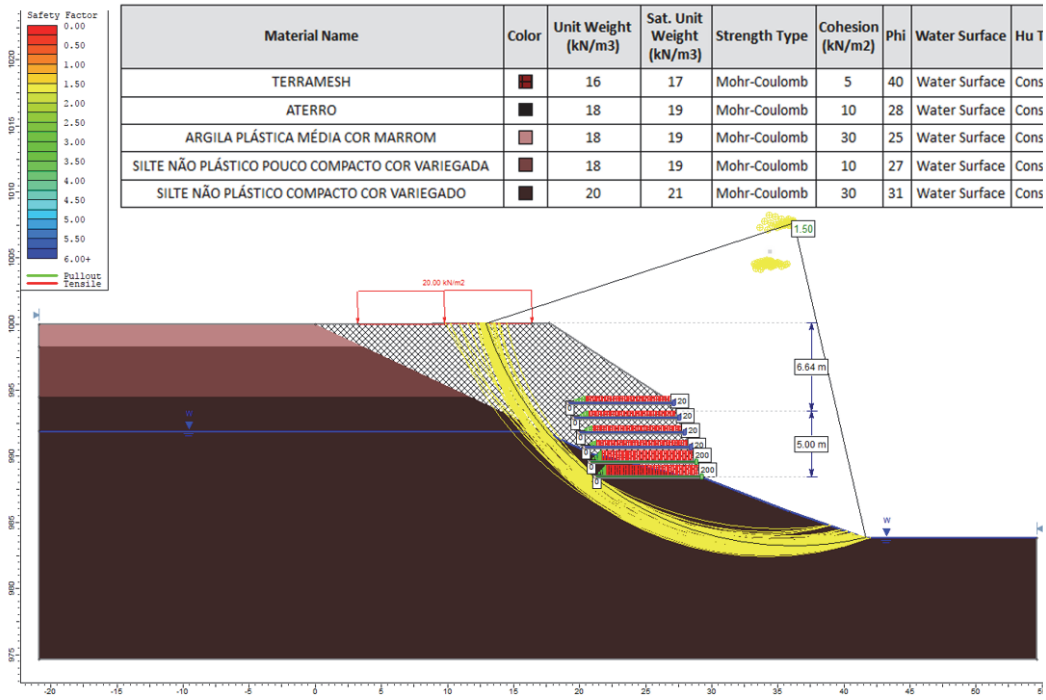


Fig. 3 – Posição dos furos de sondagem SPT realizados no local da contenção, na fase de projeto (Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná, 2017)

Após algumas simulações no software, considerando a seção mais crítica da contenção, o FS mínimo de 1,50 foi atingido com duas camadas na base reforçadas com geogrelha tecida com resistência à tração de 200 kN/m e mais 4 camadas com reforço de geogrelha tecida com resistência

ISSN 0379-9522; e-ISSN 2184-8394 – Geotecnia nº 156 – novembro/noviembre/november 2022 – pp. 55-75
https://doi.org/10.14195/2184-8394_156_3 – © 2022 Sociedade Portuguesa de Geotecnia



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Sat. Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu T
TERRAMESH		16	17	Mohr-Coulomb	5	40	Water Surface	Cons
ATERRO		18	19	Mohr-Coulomb	10	28	Water Surface	Cons
ARGILA PLÁSTICA MÉDIA COR MARROM		18	19	Mohr-Coulomb	30	25	Water Surface	Cons
SILTE NÃO PLÁSTICO POUCO COMPACTO COR VARIEGADA		18	19	Mohr-Coulomb	10	27	Water Surface	Cons
SILTE NÃO PLÁSTICO COMPACTO COR VARIEGADO		20	21	Mohr-Coulomb	30	31	Water Surface	Cons

Fig. 4 – Superfície de ruptura com FS = 1,50 (Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná, 2017)

à tração de 120 kN/m, ambas com 8 metros de comprimento de ancoragem no aterro, conforme pode ser observado na Figura 4.

Após o dimensionamento da estrutura da contenção, foi entregue ao DER/PR o Projeto Executivo de Engenharia com os elementos para execução da obra: planta da contenção, perfil longitudinal, seções transversais e demais detalhes, tais como costuras, sobreposições, reforço da curva entre outros, bem como o método executivo.

A contenção projetada resultou em aproximadamente 56 metros de comprimento (em curva), com alturas variáveis, divididas em camadas de 60 cm de solo compactado intercaladas com os elementos de Terramesh Verde. Tais elementos possuem 2 metros de largura e 3 metros de comprimento (nos quais foram sobrepostos 8 metros de geogrelha de reforço), 60 cm de altura da

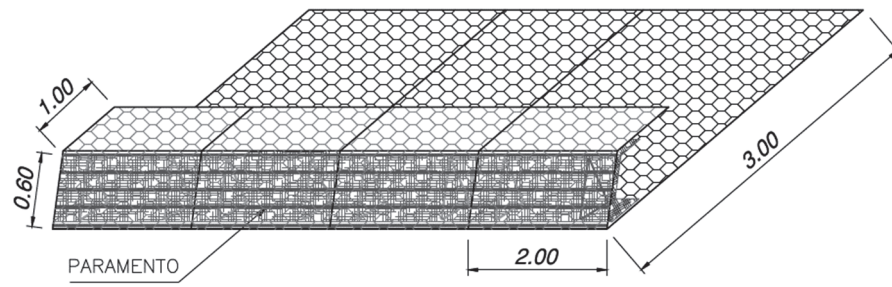


Fig. 5 – Detalhe dos elementos Terramesh Verde no Projeto Executivo (Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná, 2017)

face do elemento e 1,0 metro para a dobra, tudo em uma tela única, que permite que a estrutura da contenção trabalhe em conjunto (Figura 5).

O perfil longitudinal projetado pode ser observado na Figura 6. Nas camadas mais inferiores (em vermelho), foi previsto o reforço com geogrelha com resistência à tração de 200 kN/m, e as demais camadas (superiores) possuem reforço com geogrelha com resistência à tração de 120 kN/m.

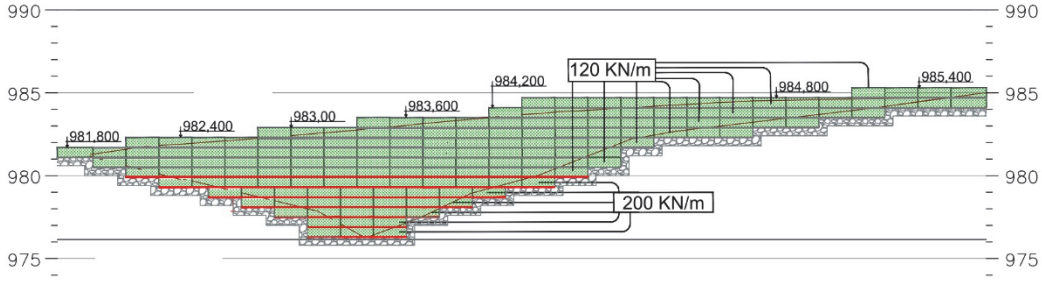


Fig. 6 – Perfil longitudinal na contenção de Terramesh Verde (adaptado de Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná, 2017)

Nas notas de projeto, foram estabelecidas algumas condicionantes necessárias ao sucesso da contenção, tais como:

- Necessidade de confirmação dos parâmetros de resistência do solo a ser utilizado no aterro, que deve atender, no mínimo, ao considerado na análise de estabilidade: ângulo de atrito interno igual a 25°, coesão igual 10 kPa e peso específico natural igual a 18 kN/m³;
- O solo empregado no corpo do aterro deve estar isento de matéria orgânica e outras impurezas, bem como deve apresentar expansividade inferior a 2,0%, aferida pelo ensaio *California Bearing Ratio* (CBR);
- A execução da face e a respectiva instalação dos elementos Terramesh Verde devem ocorrer simultaneamente à execução do aterro, que deverá ser compactado em camadas com espessura máxima acabada de 20 cm, até atingir o grau de compactação mínimo de 98% da energia normal de compactação;
- A compactação do aterro na faixa de 1 metro adjacente à face da contenção, deve ser realizada com equipamentos manuais (placa vibratória ou sapo mecânico), para evitar danos aos elementos da face; e
- Necessidade de confirmação da topografia do terreno natural.

4 – ASPETOS DA EXECUÇÃO

O projeto da contenção em Terramesh Verde previa a utilização, para a execução do aterro, do material existente sob os viadutos, que seria escavado para a abertura da pista sobre as obras de arte especiais. Contudo, devido ao elevado volume do aterro, esse material não seria suficiente, sendo necessário importar solo de uma jazida comercial para complementar o aterro.

No decorrer da execução da obra de ampliação de capacidade da rodovia, foi identificada a necessidade de algumas alterações na geometria da interseção, que acabaram por afetar também a geometria da contenção, reduzindo sua extensão para 54 metros e modificando a distribuição dos elementos na face da contenção. Tais alterações foram realizadas pelo projetista a partir da demanda da fiscalização da obra.

Antes de se iniciar a execução do Terramesh Verde e conforme orientação do projetista de verificar a topografia do terreno natural, foi realizado o levantamento de seções ao longo da extensão da contenção, aproximadamente a cada metro, com o objetivo de emitir as notas de serviço à empresa executora da contenção.

ISSN 0379-9522; e-ISSN 2184-8394 – Geotecnia nº 156 – novembro/noviembre/november 2022 – pp. 55-75
https://doi.org/10.14195/2184-8394_156_3 – © 2022 Sociedade Portuguesa de Geotecnia

Geralmente as notas de serviços são emitidas com espaçamentos maiores, contudo, como a geometria da contenção é em curva, foi necessário reduzir a distância de cada seção para poder obter um bom nível de detalhamento, considerando também que o terreno no local é bastante acidentado.

Com relação às condicionantes colocadas pelo projetista para os parâmetros de resistência mínimos do material do aterro, foram realizados ensaios de cisalhamento direto adensado rápido para determinação do ângulo de atrito e da coesão do solo a ser empregado no aterro. Os ensaios foram realizados com velocidade de carregamento de 0,70 mm/min para tensões normais de 49,03, 98,07, 147,10 e 196,13 kPa, e resultaram em um ângulo de atrito de 31,8° e coesão nula.

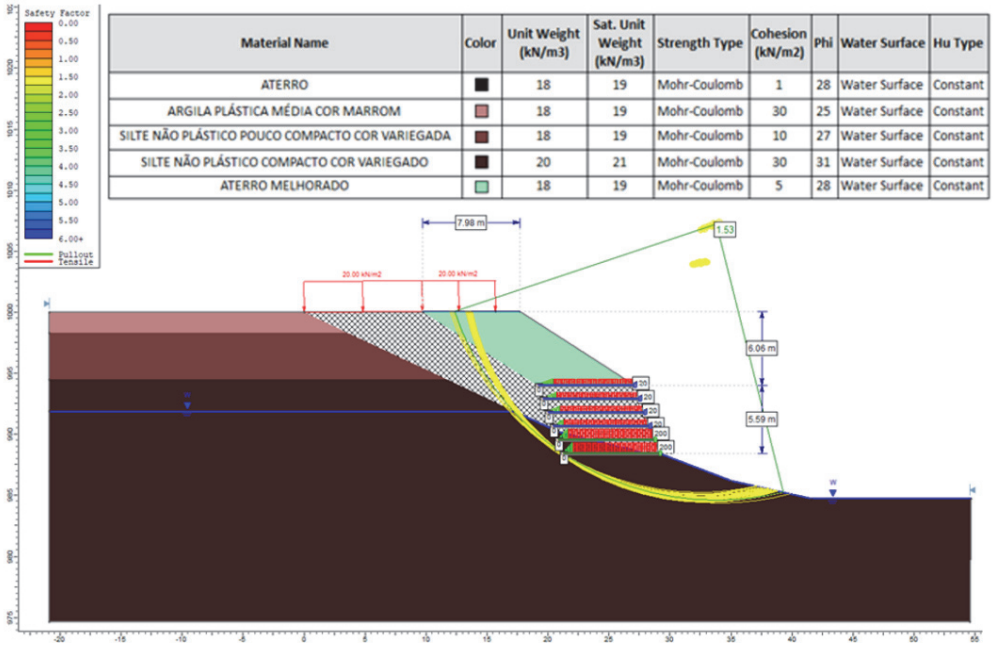
Tendo em vista que os parâmetros considerados na análise de estabilidade eram um ângulo de atrito de 25° e coesão de 10 kPa, o projetista foi contatado para verificar se o solo ensaiado que se pretendia empregar no aterro atendia ao FS de estabilidade global mínimo de 1,50.

Com relação à expansividade do material, os ensaios de CBR indicaram um valor de expansão igual a 0,5%, sendo inferior ao máximo de 2,0% estipulado pelo projeto.

Após adequação dos dados do solo no software de análise de estabilidade, foi verificado que a estabilidade global do maciço foi mantida, com FS igual a 1,50. Contudo, para a porção do aterro sobre a contenção, cujo talude teria inclinação aproximada de 1,5:1 (h:v), o FS resultante seria igual a 1,12, ficando abaixo do recomendado pela norma NBR 11682 (2009).

Isso porque o solo que se pretendia empregar no aterro é arenoso e apresenta um bom comportamento mecânico quando confinado, mas nessa porção do aterro não estaria nesta situação. Ainda, cabe ressaltar que os solos arenosos são mais suscetíveis à erosão, podendo afetar a parte mais superficial do talude de aterro.

A solução dada pelo projetista para atingir o FS mínimo estabelecido pela norma foi substituir o material do aterro em uma faixa de aproximadamente 8 metros mais próximos à face, por um material com coesão mínima de 5 kPa, conforme exibido na Figura 7. Assim, seria atingido um FS igual a 1,53. Tal solução foi adotada na execução da contenção.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Sat. Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type
ATERRO		18	19	Mohr-Coulomb	1	28	Water Surface	Constant
ARGILA PLÁSTICA MÉDIA COR MARROM		18	19	Mohr-Coulomb	30	25	Water Surface	Constant
SILTE NÃO PLÁSTICO POUCO COMPACTO COR VARIEGADA		18	19	Mohr-Coulomb	10	27	Water Surface	Constant
SILTE NÃO PLÁSTICO COMPACTO COR VARIEGADO		20	21	Mohr-Coulomb	30	31	Water Surface	Constant
ATERRO MELHORADO		18	19	Mohr-Coulomb	5	28	Water Surface	Constant

Fig. 7 – Nova análise de estabilidade para o aterro, considerando a substituição da faixa de material (verde claro) por um solo com coesão mínima de 5 kPa

https://doi.org/10.14195/2184-8394_156_3 – © 2022 Sociedade Portuguesa de Geotecnia

Foi localizado um material para utilização na faixa mais externa no aterro, para o qual foi realizada a caracterização, resultando em solo argiloso com as seguintes propriedades: limite de liquidez igual a 56%; limite de plasticidade igual 41%; índice de plasticidade igual a 15% e classificação no sistema TRB como solo A-7-5. Contudo, não foi realizado novo ensaio de cisalhamento direto para confirmação da coesão.

Após a verificação das características do solo a ser utilizado na execução do aterro e a emissão das notas de serviço, foi iniciada a execução do aterro, em acordo com o método executivo e demais indicações do Projeto Executivo de Engenharia. Primeiramente, foi executada uma camada de rachão, com espessura aproximada de 0,50 metros, para constituir a base da porção do aterro com os elementos Terramesh Verde.

Na sequência, os elementos do Terramesh Verde foram posicionados em seu local definitivo e o segmento da face foi armado na inclinação prevista em projeto, igual a 70º. A geogrelha de reforço foi sobreposta à malha horizontal do Terramesh, a partir da parte inferior face, e a ela conectada por meio de costuras, conforme detalhamento do projeto. Não foi previsto, portanto, o envelopamento da camada com a geogrelha, somente com a face do elemento Terramesh. Em seguida, foi espalhado o material para compactação da primeira camada, cuja espessura é de 20 cm (acabada). O arranjo da execução da primeira camada pode ser observado na Figura 8.

Fig. 8 – Execução da primeira camada do Terramesh Verde, sob a base de rachão

Após o espalhamento do material, foi realizada sua compactação com teor de umidade ótimo de 22,1%, até atingir a espessura de 0,2 m cm e o grau de compactação previsto em projeto. Conforme orientações do fabricante, reforçadas pelo projetista, os equipamentos pesados de compactação mantiveram, durante a execução, uma distância mínima de 1,0 metro do paramento frontal (Figura 9). A faixa mais próxima da face da contenção foi compactada com equipamentos leves (placa vibratório ou sapo mecânico), conforme exibido na Figura 10.

Com relação ao controle tecnológico, foi necessário realizar ensaios para a determinação da massa específica aparente seca *in situ*, com emprego do frasco de areia, em acordo com o prescrito na norma DNER-ME 092 (1994d), para controlar se o grau de compactação cumpria o designado em projeto. Tal verificação foi feita a cada camada, em dois pontos diferentes, sendo um na região compactada com equipamentos mecânicos pesados e outro na região cuja compactação foi realizada com equipamentos leves.

ISSN 0379-9522; e-ISSN 2184-8394 – Geotecnia nº 156 – novembro/noviembre/november 2022 – pp. 55-75
https://doi.org/10.14195/2184-8394_156_3 – © 2022 Sociedade Portuguesa de Geotecnia

Fig. 9 – Compactação das camadas do aterro

Fig. 10 – Compactação manual próxima ao paramento frontal

Após a execução de todas as camadas da contenção, foi realizada a parte superior do aterro, sem contenção, acima do Terramesh Verde, até atingir as cotas de projeto. Por fim, foi realizada a hidrossemeadura da face do Terramesh Verde, que possui em seu paramento uma geomanta – amarrada ao elemento previamente pelo fabricante - para retenção das sementes, facilitando sua aderência ao solo para o crescimento da vegetação (Figura 11).

Fig. 11 – Aterro com contenção em Terramesh Verde 2 meses após conclusão

A execução da contenção em Terramesh Verde foi iniciada em outubro de 2019 e teve sua conclusão em fevereiro de 2020, resultando em um prazo aproximado de 5 meses. Um aspeto relevante, nesse caso, é que o projeto previa a execução da contenção em um período de 60 dias. Essa diferença entre o cenário previsto e o ocorrido se deve ao fato de que o início da obra coincidiu com o início do período chuvoso na região.

Assim, a ocorrência frequente de chuvas fez com que o solo ficasse constantemente com um elevado teor de umidade, impedindo que fosse executada sua compactação, que deve ser feita quando o solo se encontra na umidade ótima, ou próximo a ela.

Para poder retomar os serviços, foi necessário aguardar a redução do teor de umidade do solo, o que pode levar dias, sem chuva, para ocorrer.

Após alguns dias sem a ocorrência de chuvas, quando o solo estaria próximo à umidade ótima, os trabalhos de execução da contenção eram retomados, porém logo ocorria uma nova precipitação, interrompendo a execução novamente. Sendo assim, o prazo previsto para execução da contenção foi consideravelmente dilatado.

5 – ANÁLISE E DISCUSSÃO

O emprego da contenção por meio do sistema Terramesh Verde em uma obra pública apresentou algumas particularidades que serão aqui discutidas, abordando os aspetos de projeto e da execução relatados acima.

Primeiramente, com relação ao projeto, um ponto crítico que pode ser citado é o fato de o contrato não ter previsto ensaios para determinação direta da resistência ao cisalhamento do solo, quais sejam, ângulo de atrito interno e coesão. Dessa forma, o projetista teve que realizar os cálculos de estabilidade do talude a partir da adoção dos parâmetros citados com as informações disponíveis para o solo local, que seriam, basicamente, os índices de resistência à penetração obtidos no ensaio SPT.

Nesse caso, ainda que fossem conhecidos os parâmetros de resistência do solo local, o aterro projetado possui um volume considerável e, portanto, foi necessário importar material para sua execução. Então, mesmo que o contrato do projeto tivesse previsto ensaios de determinação direta do ângulo de atrito interno e da coesão, também seria necessário estabelecer, ainda na fase de projeto, de qual jazida deveria ser importado o material.

Contudo, em obras públicas, não é desejável que sejam estabelecidos pela Administração itens de origem mandatória, pois fica a cargo da empresa executora decidir onde irá adquirir os materiais necessários para a execução da obra, desde que os mesmos atendam às especificações do projeto.

Dessa forma, o procedimento de realizar o ensaio de cisalhamento direto somente durante a execução da obra foi coerente. Como o material que se pretendia empregar no corpo do aterro não atendeu às especificações do projeto, já que resultou em coesão nula, o projetista sugeriu a solução de utilizar um material mais argiloso na faixa mais externa da contenção, para garantir o FS mínimo exigido pela norma vigente.

A dinâmica de alteração do projeto no decorrer da obra, ainda que nem sempre bem vista pelos órgãos de controle externo, é comum e, na maioria das vezes, trata-se de adequações que não poderiam ser previstas na fase de projeto. Nesse sentido, cita-se a razoabilidade das legislações mais recentes para contratação de projetos e obras públicas, por exemplo nas modalidades de contratação integrada, que possuem bastante potencial para aplicação na contratação de obras rodoviárias.

De acordo com o Artigo 9º da Lei 12.462 (2011),

> § 1º A contratação integrada compreende a elaboração e o desenvolvimento dos projetos básico e executivo, a execução de obras e serviços de engenharia, a montagem, a realização de testes, a pré-operação e todas as demais operações necessárias e suficientes para a entrega final do objeto.

ISSN 0379-9522; e-ISSN 2184-8394 – Geotecnia nº 156 – novembro/noviembre/november 2022 – pp. 55-75
https://doi.org/10.14195/2184-8394_156_3 – © 2022 Sociedade Portuguesa de Geotecnia

Assim, pode ser estabelecida uma matriz de riscos no qual as empresas contratadas gerenciam essas necessidades de alteração de projeto no decorrer da obra, tornando a entrega do objeto mais célere quando comparada à contratação separada da elaboração do projeto e posteriormente da execução da obra.

Nesse caso em estudo, também ocorreu a alteração do projeto geométrico da interseção no decorrer da execução da obra, devido a alguns ajustes realizados nas alças de acesso. Tais alterações impactaram também no projeto da contenção, que precisou ser adequado à nova geometria do aterro.

Nesse sentido, pode-se observar que pequenas alterações no projeto geométrico levam a uma reação em cadeia, pois acabam por alterar todas as demais disciplinas de projeto, ainda que não tenham sido mudanças significativas na geometria. De qualquer forma, o projetista realizou as adequações necessárias no projeto da contenção, inclusive nas quantidades de materiais que haviam sido previstas. Tais alterações de quantidades, desde que se encontrem dentro dos limites previstos na Lei 8.666 (1993), são aceitáveis.

Com relação ao nível de detalhe da fase de projeto, foram apresentadas secções transversais aproximadamente a cada 10 metros, adequadas ao nível do levantamento topográfico fornecido ao projetista das contenções à época da elaboração do projeto. Contudo, para executar a contenção, foi identificada a necessidade de obter um melhor nível de detalhamento para emissão das notas de serviço para a empresa executora e o respectivo controle topográfico pela fiscalização.

Assim, foram feitos novos levantamentos topográficos em secções a cada metro, aproximadamente, o que acarretou um prazo maior antes de poder iniciar a execução da obra, pois demandou as atividades das equipes de campo de topografia e da sessão técnica que não estavam previstas.

Ainda que tenham consumido certo tempo, essas atividades prévias à execução foram substanciais ao bom andamento da obra, pois a ausência dos detalhes obtidos teria levado a uma execução com menor nível de controle e consequentemente, um maior nível de erro.

Com relação à fase de obra, um dos pontos negativos mais relevantes foi o prazo de execução significativamente maior do que o estabelecido no projeto, devido à ocorrência constante de chuvas que impediam a compactação das camadas de solo do aterro, pois as mesmas se encontravam com um teor de umidade muito superior ao teor ótimo para compactação.

Uma das premissas da utilização do sistema Terramesh Verde seria a rapidez na execução, já que não é necessária a montagem de formas e escoramentos, ou ainda aguardar a cura do concreto. Contudo, a coincidência com o período chuvoso acabou por dilatar o prazo previsto para a execução do aterro de solo reforçado.

Outro aspeto não tão favorável foi a necessidade de controle topográfico rigoroso, pelo fato de a contenção possuir geometria em curva e devido ao terreno ser bastante acidentado. Sendo assim, foi mobilizada a equipe de topografia em tempo integral para realizar o controle da geometria do aterro, além da necessidade de controle tecnológico por meio da verificação do grau de compactação das camadas do aterro.

Entre os pontos positivos, é possível citar que não foi necessária mão de obra especializada para a execução da contenção, tendo ocorrido somente treinamento fornecido pelo fabricante no início da execução da contenção e, posteriormente, no decorrer da obra, o fabricante realizou o acompanhamento por meio de um de seus técnicos realizando visitas à obra regularmente.

Ainda, a opção pelo solo reforçado com o sistema Terramesh Verde, além de possuir menor custo inicial quando comparado à alternativa de muro a gravidade de concreto ciclópico, também resulta em um menor impacto ambiental, dispensando o emprego de um considerável volume de concreto. Sabe-se que o concreto, embora amplamente utilizado na construção civil, consome grandes quantidades de matérias primas não renováveis e de água, além de depender de grande quantidade de energia para seu beneficiamento, que geram diversos impactos ambientais, tais como poluição atmosférica, produção de resíduos etc.

Outro ponto positivo é o aspeto estético da contenção, que ficará recoberto por vegetação e, portanto, estará em harmonia com o local no qual foi implantado, que é bastante arborizado.

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo de caso destinou-se a realizar uma análise do emprego de um tipo de contenção não convencional no âmbito do DER/PR. Ainda que as tecnologias mais recentes de engenharia demorem certo tempo para serem inseridas no contexto de projetos e obras da Administração Pública, muitas vezes essas apresentam um melhor custo benefício do que as soluções usualmente empregadas, como é o caso abordado neste artigo, e, portanto, devem ser conhecidas e consideradas como alternativas factíveis.

Ressalta-se que as dificuldades relatadas também seriam recorrentes caso fosse optado pela alternativa da contenção em muro de concreto ciclópico, além de que a geometria da contenção em curva iria implicar a necessidade de um trabalho minucioso com as fôrmas e escoras para a concretagem.

Sendo assim, as adversidades foram, na verdade, causadas por fatores não atinentes ao tipo de contenção em si, mas sim às condições pluviométricas do local e às características geométricas da interseção.

Por fim, conclui-se que o sistema de contenção utilizado pode ser considerado bastante competitivo com relação aos métodos comumente empregados na estabilização de taludes nas rodovias estaduais assistidas pelo DER/PR, podendo ser até mais promissor, já que leva em conta o fator ambiental, que é cada vez mais valorizado na engenharia.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (2001). NBR 6484 – *Solo – sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de Ensaio*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 17 p.

ABNT (2009). NBR 11682 - *Estabilidade de encostas*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 39 p.

Alves, Y. C. (2017). *Projeto de Contenção e Drenagem em Muro de Arrimo com Uso de Geossintéticos*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 59 p.

Ananias, E. J.; Texeira, A. M. ; Duran, J. S. (2009) *O Uso Crescente de Solos Reforçados para Contenções em Áreas Urbanas:* Uma Ênfase aos 20 Anos da Solução Terramesh no Brasil. Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas, São Paulo, Brasil.

Assunção, C.; Boniolo, C.; Siebert, D.; Avoni, H.; Kuramoto, T. (2019). *Estudo Comparativo entre Sistema de Contenção em Solo Reforçado e Muro a Gravidade de Gabiões* Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário UNIFAAT, Atibaia, São Paulo, Brasil, 96 p.

Avesani Neto, J. O.; Hayashida, E. M.; Pereira, V. R. G. (2013). *Levantamento e comparação dos custos de diferentes soluções de estruturas de contenção em aterro.* 6ª Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Brasil.

Bauer, G. E.; Mowafy, y. M. (1988). *The interaction mechanism of granular soils with geogrids*. In: International Conference on Numerical Methods in Geomechanics. Roterdão, Holanda. Vol. 2, p. 1263-1272.

Benjamin, C. V. S. (2006). *Avaliação Experimental de Protótipos de Estruturas de Contenção em Solo reforçado com geotêxtil.* Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, 326 p.

Campelo, N.; Santoro Filho, M. J. G.; Paes, M. D. C.; Valadares, O. C. P; Aragão, A.F.; (2015). *Análise de estabilidade de muros de contenção em gabião.* Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, São Paulo, São Paulo, Brasil.

Costa Junior, J. R. C.; Ferretti, P.C.B.; Mazzo, E.; Abramento, M. (2016). *Instrumentação de estrutura de contenção em solo reforçado com paramento vegetado localizada em Aeroporto executivo – São Roque, SP.* Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte, Brasil.

Decreto n.º 14.647 (1969). *Declara áreas de utilidade pública para fins de desapropriação*. Estado do Paraná, Brasil.

Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná (2017). *Projeto Executivo de Engenharia de Obras de Contenção na Rodovia PR-417 (Rodovia da Uva), trecho Curitiba-Colombo, subtrecho:* acessos ao viaduto na Av. Santos Dumont. Elaborado por Oliveira&Rae Engenharia sob o Contrato n.º 025/2017 DT.

Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná (2018). *Projeto Executivo:* Viaduto, Obras de Contenção, Terraplenagem, Drenagem, Pavimentação, Sinalização e Obras Complementares na Interseção da Rodovia PR-417 com a Av. Santos Dumont. Volume Único.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2009). *Norma DNIT 10* – ES. Terraplenagem – Cortes. Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

DNER (1994a). ME 122 – *Solos – Determinação do Limite de Liquidez – método de referência e método expedito*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasília, Distrito Federal, Brasil, 7 p.

DNER (1994b). ME 082 – *Solos – Determinação do Limite de Plasticidade*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasília, Distrito Federal, Brasil, 3 p.

DNER (1994c). ME 080 – *Solos – Análise Granulométrica por peneiramento*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasília, Distrito Federal, Brasil, 4 p.

DNER (1994d). ME 092 – *Solo – Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego do frasco de areia*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasília, Distrito Federal, Brasil, 5 p.

Ehrlich, M.; Becker, L. (2009) *Muros e Taludes de Solo Reforçado:* Projeto e Execução. Editora Oficina de Textos, São Paulo, 126 p.

Ehrlich, M.; Gomes, R.C.; Sayão, A.S.F.; Azambuja, E. (2015). *Muros e taludes de solo reforçado*. Manual Brasileiro de Geossintéticos. São Paulo, São Paulo, Brasil.

Elias, V., Christopher, B. R., Berg, R. R., (2001). *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines*. In: Report FHWA-NHI-00-043, National Highway Institute Federal, Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., Estados Unidos da América.

Farrag, K., Acar, Y.B., Juran, I. (1993), *Pull-Out Resistance of Geogrid Reinforcements*. Geotextiles and Geomembranes. (12): 3, 133-159.

Jewell, R. A., Milligan, G. W. E., Sarsby, R. W., Dubois, D. (1984) *Interaction Between Soil and Geogrids*. Proceeding, Symposium on Polymer Grid Reinforcement in Civil Engineering, Science and Engineering Research Council and Netlon Limited pp. 18-30.

Lei n.º 12.462 (2011). *Institui o Regime Diferenciado de Contratações Públicas - RDC*;. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12462.htm> Acesso em 26 jul 2020.

Lei nº. 8.666 (1993). *Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências*. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8666cons.htm>. Acesso em 26 jul 2020.

Lopes, C.P.F.C. (2001) *Estudo de Interação Solo-Geossintético através de Ensaios de Corte em Plano Inclinado.* Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal. 186 p.

Maccaferri (2014). *Case History*: CTVA Essencis. 2014. Disponível em <https://www.maccaferri.com/br/produtos/terramesh-verde/> . Acesso em 01 jul 2020.

Maccaferri (2016a). *Case History:* Ampliação de Rua no Condomínio Las Ramblas. Disponível em <https://www.maccaferri.com/br/produtos/terramesh-verde/> . Acesso em 01 jul 2020.

Maccaferri (2016b). *Case History:* Brasal Veículos. Disponível em <https://www.maccaferri.com/br/produtos/terramesh-verde/> . Acesso em 01 jul 2020.

Maccaferri (2016c). *Case History:* Road Widening of the NH21 Highway. 2016. Disponível em <https://www.maccaferri.com/br/produtos/terramesh-verde/> . Acesso em 01 jul 2020.

Maccaferri (2017). *Manual Técnico:* Critérios gerais para projeto, especificação e aplicação de geossintéticos. Jundiaí, São Paulo, Brasil.

Maccaferri (2020). *Terramesh Verde*. [Consult. 01 jul. 2020]. Disponível em WWW:<URL:http://www.maccaferri.com/br/produtos/terramesh-verde/ >

Macstars 2000 (1998). *MACcaferri STability Analysis of Reinforced Slopes*. Maccaferri.

Magalhães, L. F. O. (2016) *Avaliação Numérica do Efeito da Fundação sobre o Comportamento de Muros de Solo Reforçado*. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE. 109 p. Dissertação de mestrado.

Oostveen, J. P.; Maas, K. C.; Hendrikse, C. S. H. (1994) *The coefficient of interaction for geogrids in a non-cohesive soil*. In: International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, 5. Singapura. pp. 427- 432.

Pedroso, E. O (2000) *Estruturas de Contenção Reforçadas com Geossintéticos*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil, 90 p.

Pessoa, R. G. (2016). *Avaliação dos custos construtivos de estruturas de contenção no município de Natal/RN.* Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 17 p.

Reis, J. A. (2018). *Modelagem de Estrutura de Contenção em Solo Reforçado com Terramesh Verde*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, Rio Grande do Sul, Brasil. 82 p.

Rocscience Slide. *2D limit equilibrium slope stability for soil and rock slopes*. Software.

Santos, A. (2004). *Estruturas de Contenção em Solo Reforçado com Geogrelha.* Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade São Francisco, Itatiba, São Paulo, Brasil, 35p.

Sieira, A. C. C. F. (2003). *Estudo Experimental dos Mecanismos de Interação Solo-Geogrelha*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 363 p.

Torres, L. Y.; Curado, T. S.; Silva, E. D. (2019). *Análise númerica comparativa entre soluções de contenção em solo reforçado e muro à flexão*. Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica na Região Centro-Oeste.