

# Utilização de geogrelhas como elemento de reforço nas contenções de viaduto do Lote 28 da duplicação da BR-101 em SC

**RESUMO:** A duplicação da BR-101, foi uma obra de grande complexidade e com muitos desafios geotécnicos. No lote 28 desta obra foram construídas três passagens inferiores cujos aterros foram contidos com muros de solo reforçado de paramento semirrígido. O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de caso que relatará a revisão dos conceitos e necessidades do projeto assim como os ensaios de laboratório, informações do aterro e o acompanhamento da obra, apresentando, como se deu a elaboração e desenvolvimento de uma solução geotécnica em meio a execução da obra e toda a complexidade envolvida no processo. Concluindo-se que as soluções de solo reforçado com paramento semirrígidas são plenamente aplicáveis à contenção de aterros de encontro de pontes e viadutos, inclusive como estruturas portantes.

## 1. Introdução

A rodovia BR-101 é a principal rodovia federal do estado de Santa Catarina, cortando todo seu litoral, ligando aos estados do Paraná e Rio Grande do Sul, além de acessar seus importantes portos. Entre os anos de 2005 e 2015 o trecho entre as cidades de Palhoça/SC e Osório no RS, foi duplicado e dividida em 13 lotes, devido a sua complexidade.

O Lote 28 encontrava-se entre os municípios de Criciúma e Araranguá conforme figura 1.

Em três pontos, km 5+200, km 11+900 e km 15+100 foram adotadas no projeto original, como solução de contenção para as passagens inferiores, muros de solo reforçado por geogrelhas com paramento semirrígido. Nos km 11+900 e 15+100, estes muros eram portantes.

No decorrer da obra surgiu a necessidade de revisão e detalhamento destes projetos. Para realizar a mesma o Consórcio responsável pela execução do Lote 28 contratou uma empresa de consultoria, para redimensionar e detalhar os muros de solo reforçado levando em consideração as modificações na geometria dos mesmos, os materiais disponíveis para serem utilizados como aterro estrutural e a topografia do terreno natural.

O Objetivo deste artigo é descrever este processo de revisão do projeto, bem como a execução destas obras. Para isto, tomou-se como exemplo o Terramesh System do km 15+100.



Figura 1. Localização do Lote 28

## 2. Projeto da PI do km 15+100

Para a passagem inferior do km 15+100, que contempla um viaduto de 28m, foi adotada como solução de contenção do aterro o muro de solo reforçado por geogrelhas com face

semirrígida. Esta solução se caracteriza por um paramento de gabiões, cuja a própria malha serve de reforço secundário, e pela inclusão de geogrelhas como reforço primário.

Neste caso o projeto previa que o aterro seria portante, ou seja, as longarinas do viaduto da PI do km 15+100 seriam apoiadas no aterro reforçado, sobre de um berço de concreto armado. Sendo assim, na região do apoio se previu além dos reforços em malha metálica, reforços principais com geogrelhas de resistência de 400 e 800 kN/m. As geogrelhas de 400 kN/m, com 8m de comprimento, eram previstas como reforços principais na seção longitudinal (Figura 2b), enquanto na seção transversal (Figura 2a) foram previstas além das geogrelhas de 400 kN/m, geogrelhas de 800kN/m, ambas com 8m de comprimento.

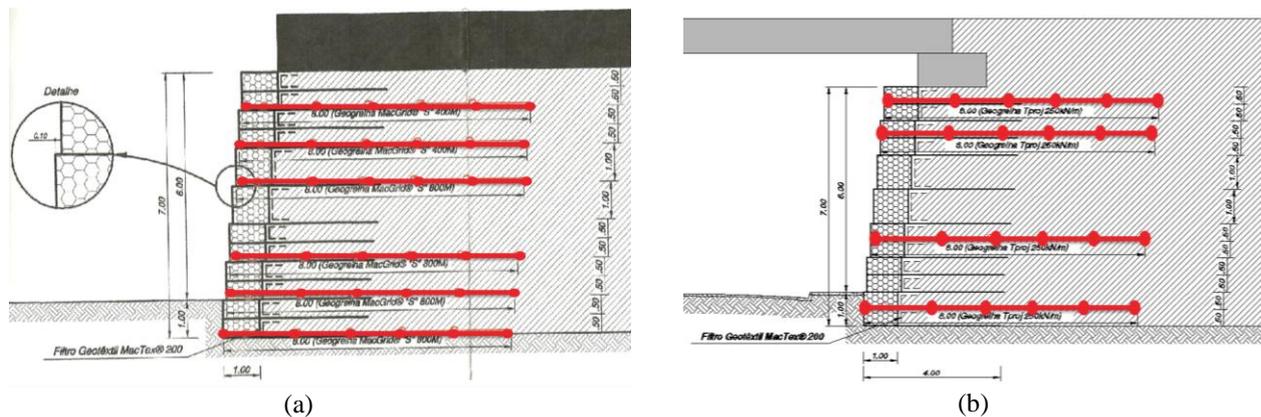


Figura 2 . Seção transversal e longitudinal – Corona (2007)

Quadro 1 – Dados da obra

Tipo de Obra	Rodovias
Início da Obra	2006
Conclusão da obra	2010
Local	Maracajá/SC
Solução	Muro de solo reforçado
Geossintético utilizado	Geogrelha soldada
Função do geossintético	Reforço
Vantagem do geossintético	Econômica / Executiva

No projeto definiu-se como material de aterro um solo residual de diabásio (Formação Serra Geral), cujos parâmetros físicos, mecânicos e de resistência ao cisalhamento encontram-se nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Os referidos parâmetros foram determinados através de ensaios realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Tabela 1. Parâmetros físicos e mecânicos do solo do aterro – UFSC (2006)

Origem	HRB	$\gamma_s$ máx (kN/m <sup>3</sup> )	$h_{ótima}$ (%)	Expansão (%)
Jazida 04	A7-6	14,00	27,1	0,4

Tabela 2. Parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo do aterro – UFSC (2006)

Origem	$\gamma_s$ máx (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
Jazida 04	14,00	17,8	7,0	36

### 3. Revisão do Projeto

No decorrer da obra constatou-se que não haveria quantidade suficiente de solo da Jazida 04 para a execução dos aterros e, portanto, definiu-se como fonte deste recurso a Jazida 09, que se encontrava localizada no km 16+540 - LD - Lote 28 da BR 101 Sul. O material da referida jazida é uma areia pouco siltosa, avermelhada, cujos parâmetros físicos, mecânicos e de resistência ao cisalhamento encontram-se nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. Os referidos parâmetros foram determinados através de ensaios realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Tabela 3. Parâmetros físicos e mecânicos do solo do aterro – UFSC (2007)

Origem	HRB	$\gamma_s$ máx (kN/m <sup>3</sup> )	hótima (%)	Expansão (%)
Jazida 09	A2-4	18,00	12,2	0

Tabela 4. Parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo do aterro – UFSC (2007)

Origem	$\gamma_s$ máx (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
Jazida 09	18,00	20,0	0	33

A análise dos dados das Tabelas 2 e 4, demonstram a redução significativa dos parâmetros  $c'$  e  $\phi'$  do material da Jazida 09, em relação aos do material da Jazida 04. Devido a redução da resistência ao cisalhamento do novo material de aterro fez-se necessária uma revisão dos cálculos, com o objetivo de verificar se a estrutura do km 15+100 poderia permanecer como foi definida na primeira revisão, ou se haveria necessidade de se reforçar a mesma, de forma a garantir o coeficiente de segurança mínimo de 1,4, estabelecido em projeto, para a estabilidade interna e global.

Além do problema de redução dos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo de aterro surgiu também uma dificuldade de se adquirir as geogrelhas de 800kN, pelo fato deste material ser importado e o cronograma da obra não permitir uma espera de mais de 70 dias. Logo, o Consórcio construtor solicitou que a verificação de estabilidade das contenções com o novo material de aterro incluísse também uma substituição das geogrelhas de 800 kN/m por 400 kN/m, estas últimas com disponibilidade para a entrega dentro do prazo aceitável pelo Consorcio

#### 3.1. Análise de Estabilidade

Para as análises de estabilidade utilizou-se o um software, cujo modelo de dimensionamento é por equilíbrio limite e do tipo *slope stability* (Guevara, 2007), usando variações de Bishop e Janbu (Duran e Santos, 2005). Se fez a modelagem das estruturas e verificação dos Fatores de Segurança (FS), referentes as proposições de alterações de materiais do aterro estrutural e/ ou adequações do projeto, como a substituição da geogrelha de 800 kN/m pela de 400 kN/m.

Com base nas sondagens fornecidas pela empresa Projetista do Lote 28 e pelo Consórcio construtor, além das informações das cargas fornecidas pela empresa Calculista dos viadutos, modelou-se a estrutura seguindo a definição geométrica de projeto alterando-se o material do aterro estrutural. Num primeiro momento, manteve-se os reforços em malha metálica (gabião) com 4m de comprimento e reforços adicionais com geogrelhas de 400kN/m e de 800kN/m e num segundo momento substituiu-se as geogrelhas de 800kN/m pela de 400kN/m com comprimentos de 8m.

### 3.1 Perfil do Solo de Fundação

A determinação do perfil do subsolo (Figura 3) foi realizada com base na análise do laudo de sondagem mistas (SM) já existentes e disponibilizados pela Contratante. A sondagem adotada na análise foi a SM-07 executada no km 15+100.

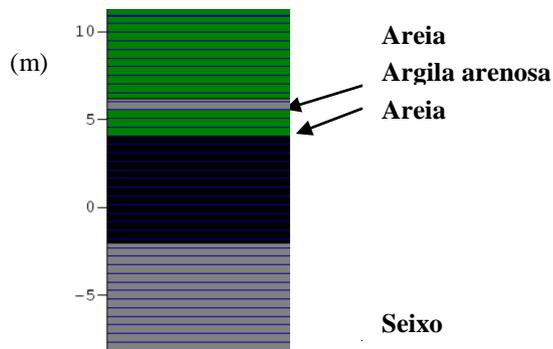


Figura 3. Perfil estratigráfico do solo de fundação

A figura 3 ilustra o perfil referente a sondagem SM-07 realizada quando da elaboração do projeto básico de duplicação. Nesta observa-se uma camada inicial de aproximadamente 4m descrita como Areia, pois como é de praxe em obras rodoviárias houve substituição das camadas superficiais de solo mole. Dos 5 a 6m de profundidade até cerca de 15m a sondagem mostrava a ocorrência de camadas intercaladas de argila mole e areia com SPT variando entre 3 a 5 até encontrar uma camada de seixo.

### 3.2 Sobrecargas

Como no presente caso o aterro é portante, isto é, servirá de apoio para as longarinas da obra de arte especial, obteve-se da memória de cálculo da empresa Calculista os valores das reações de apoio do viaduto, com base nos quais adotou-se uma carga de 250kN/m<sup>2</sup> distribuídas num berço de concreto armado de 2m de largura (Figura 4).

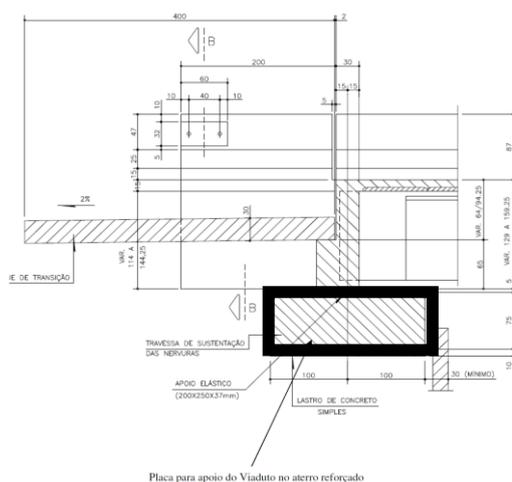


Figura 4. Seção do berço de concreto.

No restante da seção adotou-se uma sobrecarga de trabalho de 60kN/m<sup>2</sup>, referente ao tráfego de veículos e ao acréscimo de aterro sobre a placa de transição.

### 3.3 Seções de Análise

Com as informações de projeto e dos dados dos itens 3.1 e 3.2, elaborou-se os modelos de análise, representados pelas seções longitudinal (Figura 5a) e transversal (Figura 5b) do encontro portante.

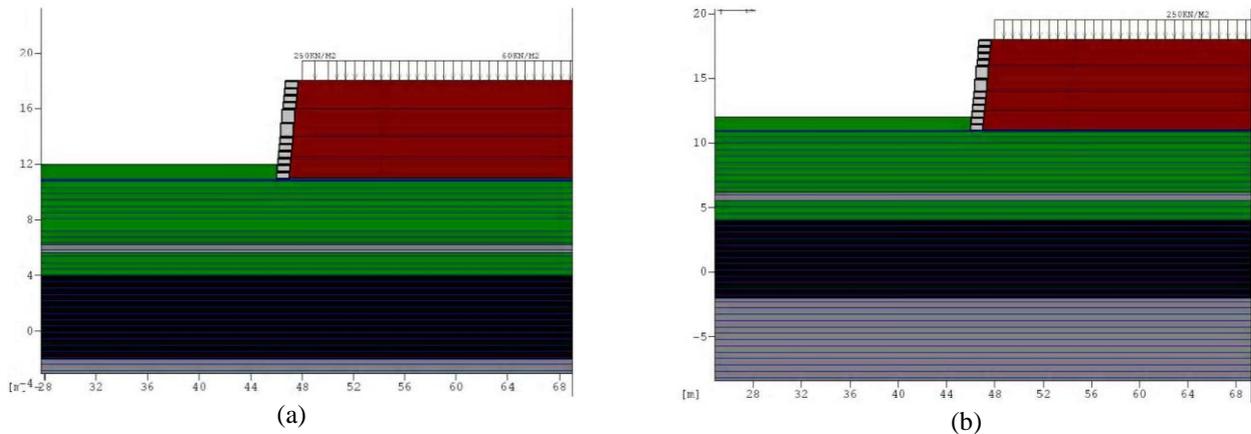


Figura 5. Seções da modelagem

### 3.4 Verificação

Nesta verificação modelou-se a estrutura seguindo a definição geométrica de projeto, mantendo-se os as malhas do gabião com 4m de comprimento e reforços principais com geogrelhas Macgrid S 400, com 8m de comprimento, atendendo à solicitação do Consórcio Construtor e adotando-se como material do aterro estrutural areia pouco siltosa da Jazida 09.

Em função da diferenciação de esforços solicitantes, determinou-se uma distribuição das geogrelhas de forma diferenciada para cada trecho do aterro, sendo que a região sobre influência direta da sobrecarga do viaduto ficou mais reforçada.

A tabela 5 apresenta os parâmetros geotécnicos dos solos que constituem as seções de análise (Figura 5) e a tabela 6 apresenta o resumo dos Fatores de Segurança obtidos na verificação.

Tabela 5. Parâmetros geotécnicos. Inputs na Verificação

Solo	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	Origem
Areia*	20,0	0	33	Ensaio CD
Areia**	18,0	0	31	Correlação
Argila arenosa**	16,5	30, 0	0	Correlação
Argila**	17,0	40	0	Correlação
Seixo**	20,0	0	45	Correlação
Folhelho**	18,0	24	34	Correlação
Gabião***	21,0	20	40	Correlação

Tabela 6. Resultados das verificações do km 15+100

Análise	Seção	
	Longitudinal (FS)	Transversal (FS)
Tombamento	5,42	7,17
Deslizamento	11,73	3,36
Tensão na Fundação	1,48	3,79
Interna (Crítica)	2,32	2,32
Global	1,69	<b>1,33</b>

A análise dos resultados tabela acima, concluiu-se que:

- A seção longitudinal da contenção da PI pode ser implantada com o material da Jazida 09 e com geogrelhas de 400kN/m, com 8m de comprimento, sem nenhum problema, uma vez que todos os fatores segurança foram atendidos;
- A seção transversal da contenção da PI, não pode ser implantada com o material da Jazida 09 e com geogrelhas de 400kN/m, com 8m de comprimento, uma vez que o

mesmo apresenta um  $FS_{\min}$  de **1,33** quanto a estabilidade global, valor este, menor que o FS estabelecido em projeto que é de **1,4**.

#### 4. Solução

Para atender ao FS estabelecido em projeto, quanto a estabilidade global, modelou-se a estrutura (seção Transversal) seguindo a definição geométrica de projeto, mantendo-se material do aterro estrutural da Jazida 09, as malhas dos gabiões com 4m de comprimento e os reforços principais com as geogrelhas de 400kN/m, no entanto aumentou-se o comprimento das mesmas de 8m para 12m de comprimento.

Os parâmetros geotécnicos dos solos que constituem as seções de análise (Figura 5) são os mesmos da Tabela 5.

A Tabela 7 apresenta o resumo dos Fatores de Segurança obtidos na verificação.

Tabela 7. Resultados das verificações do km 15+100

Análise	Transversal (FS)
Tombamento	>7,7
Deslizamento	>3,36
Ruptura na Fundação	>3,79
Interna (Crítica)	2,32
Global	<b>1,43</b>

A análise dos resultados tabela acima, deixa claro que o aumento do comprimento das geogrelhas de 8m para 12m de comprimento, na seção transversal é suficiente para atender o FS estabelecido em projeto.

#### 5. Substituição da geogrelhas soldada por geogrelhas tecida

Após a revisão do projeto e reinício das obras constatou-se a que a disponibilidade da geogrelhas soldada era insuficiente para atender a necessidade da obra. Desta forma fez-se uma substituição para uma geogrelhas tecida.

Como o fator de redução global (Creep + Danos de Instalação + Danos ambientais) da geogrelhas soldada é menor do que o da geogrelhas tecida, foi necessária uma adequação no valor da resistência nominal da nova geogrelha.

A resistência de projeto era 250 kN/m, e, portanto, para um fator de redução total de 1,83, foi necessário uma geogrelha de 460kN/m de resistência nominal.

#### 6. Desempenho da obra

Apesar desta obra não ter sido instrumentada e não haver uma quantificação de suas deformações, pôde-se observar cerca de 8 anos após a sua construção que o nível de assentamento da obra de arte foi mínimo, sensível ao usuário da rodovia tanto quanto em outras PIs que tiveram outras soluções de aterro, contenção ou fundações.

As deformações da face existem, porém foram observadas deformações pontuais, de abaulamento das caixas de gabiões e não necessariamente deformações do maciço de solo reforçado, conforme figuras 11 e 12.

## 7. Conclusões

As estruturas de solo reforçado com geossintéticos são em geral as opções de contenções mais econômicas para obras de média a grande altura. Este case mostra que podemos utilizar soluções de paramento em gabiões, inclusive apoiando grandes estruturas em seu aterro reforçado.

Um outro ponto interessante é a influência dos parâmetros geotécnicos e flexibilidade de dimensionamento da solução em função, uma vez que esta não especifica um tipo de solo específico para seu aterro estrutural, permitindo que utilizemos materiais coesivos e aproveitemos os benefícios deste parâmetro nos cálculos de estabilidade.

Além disso, pode-se comprovar nesta obra a versatilidade dos geossintéticos como materiais de reforço, uma vez que alterada uma condição determinante na estabilidade, pôde-se facilmente readequar o dimensionamento da estrutura sem grandes impactos.

Foi possível também observar que a capacidade de customização dos geossintéticos possibilitou um ganho no prazo de execução da obra, uma vez que se pode lançar mão de um material nacional em detrimento de um importado, mesmo que com uma resistência customizada.

## 8. Fotos da obra



Figura 6. Obra em execução



Figura 7. Obra em execução

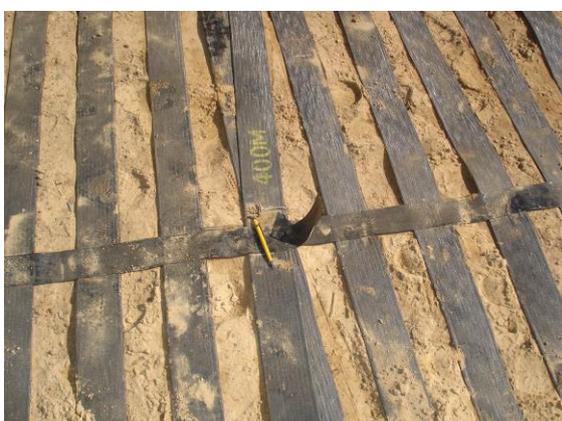


Figura 8. Detalhe da geogrelha



Figura 9. Obra em Execução



Figura 9. Obra em Execução



Figura 10. Obra Concluída



Figura 11. Obra Concluída



Figura 12. Obra Concluída

## 9. Referências

Domingues, G.; Santos, A.A.; Maccarini, M. Borges Jr, A. - Passagens Inferiores com Apoios e Aterros Contidos por Solos Reforçados de Paramento Flexível do Lote 28 da Duplicação da BR-101 Sul : Caso de Obra. Anais do VII Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental e VI Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, Belo Horizonte, 2011.

Maccarini e Santos Relatório de revisão dos projetos dos encontros dos viadutos – km5+200, km 11+900 e km 15+100 (Lote 28 da BR-101-SC), Relatório Técnico da obra, 2007.

Vertematti, J.C. Coordenador – Manual Brasileiro de Geossintéticos, São Paulo, Editora Blücher, 2004.

Duran, J. ; Santos, P. – Estruturas de solo reforçado com sistema terramesh – Encarte Técnico – Maccaferri do Brasil – 2005

Guevara, F.N. P. – Comparação de métodos de projeto para muros de solo reforçado com geossintéticos – Dissertação – PUC-Rio - 2007