



## Utilização de Reforço Metálico em Muros de Solo Reforçado

Nicholas Matheus Bachaus Stein  
UNISINOS, Porto Alegre, Brasil, nicholastein@hotmail.com

Felipe Gobbi Silveira  
UNISINOS, Porto Alegre, Brasil, fgobbi@unisinoss.br

**RESUMO:** Este trabalho apresenta uma análise da utilização de reforço com tela metálica de alta resistência em muros de contenção de solo reforçado. Foi utilizada a metodologia de projeto proposta por Ehrlich e Mitchell (1994). Foi desenvolvido, um modelo deste muro, em laboratório para obtenção de dados reais do comportamento deste reforço quando empregado nestas estruturas. Os esforços foram medidos através de uma instrumentação desenvolvida neste trabalho para medir tração nas telas com a utilização de *Strain Gages*. O muro foi construído utilizando uma tela metálica como reforço juntamente com uma manta geossintética para retenção de finos no faceamento auto envelopado, utilizando como material de aterro uma areia média comercial. Para simulação de estruturas maiores, foi desenvolvido um sistema de sobrecarga para esta estrutura, capaz de simular muros de maior altura. Os dados obtidos foram considerados satisfatórios, apresentando um bom comportamento do material na distribuição das tensões ao longo da estrutura, sendo possível compará-lo com outros autores e assim verificar a similaridade no comportamento de muros reforçados tanto com geossintéticos quanto com reforços metálicos. Concluiu-se que a tela metálica se apresenta como uma boa opção para muros de solo reforçado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Contenção, Muro de Solo Reforçado, Tela Metálica, Reforço metálico.

### 1 INTRODUÇÃO

As estruturas de contenção são de vital importância nos projetos de engenharia, sendo responsáveis por propiciar estabilidade e segurança para que os projetos envolvendo cortes e aterros possam ser executados em geometrias diferentes daquelas suportadas pelo terreno natural.

Dentre as diversas formas de contenção, existe a tecnologia de solo reforçado, amplamente difundido com a utilização de geossintéticos como elemento de reforço. São estruturas que se destacam por ser economicamente e estruturalmente viáveis, além de competitivas em comparação com as demais técnicas de contenção.

A tecnologia do solo reforçado consiste em unir a capacidade de resistência a compressão do solo com a resistência a tração dos reforços,

formando assim uma estrutura mais resistente que consiste no muro propriamente dito, podendo possuir faceamento vertical.

A utilização de geossintéticos nas estruturas de solo reforçado é uma prática já consagrada, entretanto exige a aplicação de fatores de redução importantes. Tais reduções são menos necessárias em elementos metálicos. Atualmente existem algumas aplicações de malhas em reforço, porém utilizando-se telas compostas por arames de aço comum, com  $f_{yd}$  500 MPa. Desta forma este trabalho avaliou a viabilidade técnica da adoção de telas metálicas com fios de alta resistência em substituição aos geossintéticos em estruturas de reforço.

Neste trabalho o uso da malha como elemento de reforço foi avaliado em um muro experimental, executado nas dependências da UNISINOS, e calculado de acordo com métodos correntes de projeto de muros de solo reforçado.



Este muro foi comparado com um mesmo projeto utilizando geossintéticos como elemento de reforço, já testados por BARBOSA JUNIOR(2003) e OLIVEIRA(2006).

A substituição do material de reforço na tecnologia do solo reforçado pode fornecer uma nova ferramenta para ser utilizada na execução de obras de contenção, podendo assim superar algumas das desvantagens que são apresentadas no modo consagrado, propiciando outra alternativa aos projetistas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Muros de Arrimo em Solo Reforçado

Apesar da tecnologia de solo reforçado ser relativamente nova, Budhu (2013) cita que há relatos de estruturas de solo reforçado serem executadas à mais de 5000 anos, pelos Babilônios, que utilizavam fibras vegetais como reforço de aterro na construção de templos chamados de Zigurates, uma espécie de pirâmide terraplenada. As alturas de algumas ruínas no Iraque, sugerem que as estruturas originais chegavam a apresentar 87 metros de altura.

Os muros de solo reforçado ganharam popularidade devido a sua flexibilidade, bases largas e boa relação custo-benefício quando são comparados as estruturas convencionais de concreto armado ou outra tecnologia. (BUDHU, 2013).

De acordo com Ehrlich e Becker (2009), apesar do histórico de estruturas de solo reforçado, o conceito moderno do solo reforçado para contenção foi desenvolvido na década de 1960, na França, por Henry Vidal (Vidal, 1969), que nos anos seguintes difundiu a técnica da Terra Armada, normatizada no Brasil pela NBR 9286 (ABNT,1986).

### 2.2 Conceito Solo Reforçado

O solo quando compactado adequadamente, apresenta boa resistência a compressão e ao cisalhamento, porém não resiste à tração, com

isso, assim como no concreto armado, a inclusão de reforços propicia ao solo, resistência a tração, fazendo com que a associação de solo e reforço gere um material composto com características mecânicas melhoradas. (EHRlich e BECKER, 2009).

Quando instalados reforços em um maciço de solo, nas direções horizontais, o atrito gerado entre as partículas de solo e o material do reforço irá restringir os deslocamentos laterais. Esta imposição de restrição de movimento lateral na massa de solo, faz com que o círculo de Mohr seja deslocado para longe da linha de ruptura e diminua de tamanho, isto fornece ao solo a capacidade de suportar forças cisalhantes maiores em relação ao mesmo material sem reforço. (BUDHU, 2013).

Budhu (2013) resume que o ponto principal é que o reforço trabalha como um confinamento interno horizontal, fornecendo ao solo maior resistência ao cisalhamento.

### 2.3 Características dos Reforços

As Estruturas de Contenção em Solo Reforçado podem receber diversos tipos de materiais como reforço, como por exemplo reforços metálicos, geogrelhas, geotêxteis tecidos e geotêxteis não tecidos. (EHRlich e BECKER, 2009).

#### 2.3.1 Reforços Metálicos

A era moderna da tecnologia do solo reforçado foi iniciada com o emprego de tiras metálicas utilizadas no sistema Terra Armada, as dimensões variam de acordo com as necessidades do projeto. Deve ser prevista uma forma de proteção a corrosão. São utilizadas também malhas de outras técnicas de contenção, como por exemplo, as malhas de gabião. (EHRlich e BECKER, 2009).

#### 2.3.2 Geotêxteis Tecidos e não Tecidos

Os geotêxteis são materiais polímeros (polipropileno, polietileno, poliéster, poliamida, e náilon), são fabricados a partir de fios e



filamentos que são combinados de forma descontínua, formando os geotêxteis não tecidos, ou são entrelaçados formando vários tipos de malha, produzindo assim os geotêxteis tecidos. Estes processos de fabricação produzem as mantas geotêxteis, que são amplamente utilizadas em obras de geotecnia. (BUDHU, 2013).

### 2.3.3 Geogrelhas

Existem dois tipos principais de geogrelhas: unidirecional e bidirecional, diferenciando assim se o material apresenta resistência elevada a tração em uma ou duas direções ortogonais. São produzidas a partir de polímeros (polietileno de alta densidade, poliéster e álcool de polivinila) e apresentam baixa deformabilidade e alta resistência a tração. (EHRlich e BECKER, 2009).

### 2.4 Fluência e Deformabilidade dos Reforços

Quando utilizado geossintético como elemento de reforço na estrutura de solo reforçado, deve se considerar o efeito da fluência, que é uma propriedade dos materiais a base de polímeros. A fluência é a tendência do material de sofrer deformações crescentes ao longo do tempo quando carregados constantemente. (EHRlich e BECKER, 2009).

Devido ao geossintético possuir um comportamento tensão-deformação ligado ao tempo de carregamento, isto é, sofre alteração das suas características quando carregado constantemente por muito tempo, torna a consideração da fluência fundamental, pois ela pode resultar em dois efeitos prejudiciais a estrutura: (a) deformações excessivas impossibilitando a utilização; (b) ruptura da estrutura, gerando consequências catastróficas. (LINS COSTA, 2004).

Para se evitar os problemas com fluência, os projetistas adotam fatores de redução para a resistência a tração do material, geralmente entre 2 e 5, dependendo do polímero e do tipo de estrutura. (LINS COSTA, 2004).

Cabe ressaltar também que os materiais geossintéticos, principalmente as geogrelhas, sofrem redução das capacidades de carga quando expostos à radiação solar, com isso deve se tomar cuidados durante a execução da obra para não expor este material por longos períodos a luz solar. (BUDHU, 2013).

### 2.5 Método de Dimensionamento

Neste trabalho é considerado o método consagrado de Ehrlich e Mitchell (1994), Riccio Filho (2007) destaca que neste método, a interação solo-reforço é modelada considerando a compatibilidade de deformações entre o solo, que tem comportamento elástico não linear, e o reforço que apresenta comportamento elástico linear. O dimensionamento da máxima tensão atuante no reforço pode ser desenvolvido tanto analiticamente, quanto por meio de ábacos adimensionais. Este método tem a vantagem de poder ser aplicado a qualquer tipo de sistema de reforço, pois considera a rigidez do solo e do material de reforço, o movimento entre estes dois materiais e as tensões induzidas pela compactação do solo.

### 2.6 Instrumentação: *Strain Gage*

Para se medir tensão de tração ou compressão em reforços, são utilizados extensômetros acoplados a estrutura de reforço. Os strain gage, são conjuntos de resistências elétricas, geralmente em lâminas, que formam pequenos circuitos elétricos que sofrem variação de acordo com as tensões induzidas nas peças as quais estão acoplados. Estes extensômetros são instalados na estrutura que se deseja medir a tensão, e conforme a tensão aplicada, de tração ou compressão, sofre variação na resistência elétrica, que é induzida por um circuito fechado controlado, fornecendo assim a variação que é convertida e determina o valor de tensão a qual a estrutura está submetida. (NATIONAL INSTRUMENTS, 1998).



### 3 METODOLOGIA E RESULTADOS

O presente trabalho usou como base para realização do ensaio, trabalhos já desenvolvidos por SARAMAGO (2002), BARBOZA JUNIOR (2003), OLIVEIRA (2006), em que foram realizados ensaios de mesma dimensões realizando medições de tensão nos reforços geossintéticos.

#### 3.1 Características do Projeto

Foi desenvolvido uma caixa com perfis metálicos e chapas de madeira compensada com as seguintes dimensões: 2 m de largura, 3 m de comprimento e 1,5 m de altura, com as mesmas dimensões utilizadas, de mesmas dimensões dos ensaios realizados pelos autores citados para comparação.

Para aproximar o modelo de um estado plano de deformações, é necessário que as faces laterais da caixa sejam lubrificadas e cobertas por uma camada de lona plástica, afim de minimizar o atrito entre o solo e as paredes fornecendo condições mais realistas ao modelo.

De acordo com SARAMAGO (2002), devido as dimensões reduzidas do ensaio, é necessário transladar a superfície potencial de ruptura para dentro do modelo, afim de melhorar a precisão dos resultados obtidos com a instrumentação. Para isso foi proposto pelo autor, e utilizado nos demais trabalhos um sanduíche de camadas de borracha lubrificadas entre si com graxa de silicone, transferindo assim a superfície de ruptura para um metro dentro do modelo, afastando da face.

Com este método o modelo passa a representar uma porção do muro em projeto, podendo estudar o comportamento de estruturas de até 7 m de altura. Assim, neste trabalho será simulado um muro de solo reforçado com telas metálicas de 7 metros de altura e face vertical, com sistema de faceamento feito a partir da própria malha dobrada com geossintético para evitar a fuga de finos, sendo o modelo, representativo da fatia do muro hipotético entre as cotas 0,80 m até 2,20 m.

#### 3.1.1 Aplicação de Sobrecarga

Para aplicação da sobrecarga foi desenvolvido um sistema de roldanas que, através da tração controlada de cabos de aço, promove a aplicação de uma pressão uniforme por uma tampa colocada sobre o aterro da caixa.

O sistema foi dimensionado com 3 roldanas no topo e 4 roldanas na base, esta configuração fornece um fator de amplificação de carga de 7,5 vezes. Ou seja, para uma aplicação de carga de tração de 8 toneladas, 4 toneladas em cada lado da caixa, uma carga de 60 toneladas é aplicada na tampa, gerando uma pressão de até 100 kPa. Na Figura 1 é apresentada uma ilustração da montagem da caixa utilizada no ensaio.

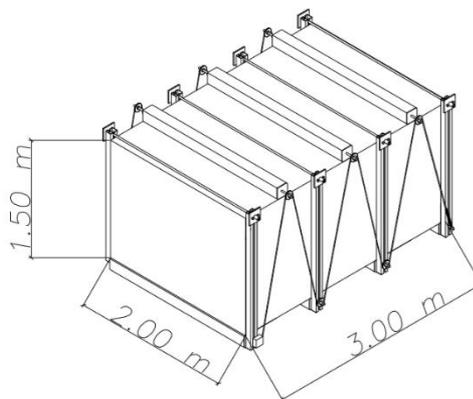


Figura 1: Esquema da máquina desenvolvida.

O sistema de tração no cabo de aço é composto por um motor elétrico de 2 cv montado com duas caixas de redução em sequência para aplicação de torque em um eixo maciço que, por sua vez, é o responsável por tracionar os cabos de aço que distribuem a carga na tampa.

#### 3.1.2 Solo, Reforço e Faceamento

O solo utilizado neste trabalho constitui-se de uma areia média comercial com ensaio de caracterização do material conhecido.

O reforço utilizado será uma tela metálica composta por fios de aço de alta resistência (1770 MPa) utilizada para contenção de rochas e instabilidade de taludes, da fornecedora



Geobrug, modelo Deltax G80/2. Possui diâmetro de fio de 2 mm e resistência nominal para tração longitudinal de 53 kN/m.

O faceamento do muro será montado a partir da própria malha de reforço, junto com uma manta geossintética do mesmo fabricante (TECMAT), com o sistema de faceamento envelopado.

### 3.2 Método de Dimensionamento

O dimensionamento da estrutura de solo reforçado é realizado seguindo o método proposto por Ehrlich e Mitchell (1994). O questionamento deste método de dimensionamento não é escopo deste trabalho, devido a este fato, não é apresentado o estudo detalhado deste método de dimensionamento, apenas sua aplicação.

### 3.3 Execução

O muro foi simulado com o uso de uma caixa, de dimensões internas idênticas as utilizadas por BARBOSA JUNIOR (2003) e OLIVEIRA (2006) para fins de comparação de resultado.

O equipamento é composto por perfis metálicos, vigas de madeira, chapas de madeira compensada e um motor elétrico que compõe o sistema de sobrecarga. Foi idealizado um projeto de estrutura de aço que permite a montagem e desmontagem do equipamento para transporte.



Foto 01 – Estrutura metálica da caixa de ensaio

Foram utilizadas vigas de madeira com seção de 15 cm x 7,5 cm espaçadas a cada 40 cm na base e na tampa da caixa, para melhor

distribuição da carga. Os fechamentos das paredes, base e tampa, foram realizados com chapa de madeira compensada naval de 25 mm de espessura e dimensões de acordo com a posição utilizada.



Foto 02 – Montagem das paredes da caixa

Para evitar a influência do atrito das paredes laterais da caixa e da base, foi realizado uma proteção com lona plástica envolta com lubrificante. Também foi confeccionado o sanduíche de borracha com lubrificante com 1 metro de largura na base do muro, próximo a face, para assim provocar a translação da superfície de ruptura para o interior do maciço.



Foto 03 – Sanduíche lubrificado para translação da superfície de ruptura

Após esta etapa de lubrificação das paredes foi realizada a execução do aterro. Com a utilização da caixa, a montagem do muro seguiu os procedimentos construtivos normais, o procedimento de montagem é feito com a instalação das camadas de reforço nas cotas projetadas, e lançamento de solo em camadas de 20 cm seguido de compactação com utilização de placa vibratória. A face do muro é constituída da própria malha de reforço, junto com uma



manta geossintética, com o sistema de faceamento envelopado.

O aterro do muro de solo reforçado foi realizado com areia média, com ensaio de caracterização do material conhecido.

Conforme descrito no projeto, são quatro camadas, sendo três delas instrumentadas. O faceamento é envelopado com a própria malha do reforço junto com um geossintético para retenção dos finos.

A primeira malha de reforço não recebeu instrumentação e é posicionada junto a base da caixa. A segunda camada de reforço recebeu a instalação de sensores. Os sensores são assim distribuídos: alinhados junto ao centro da malha, com conjuntos de três sensores em três distâncias diferentes da face: a 26 cm, outra a 96 cm e última a 1,66 m da face.



Foto 04 – posicionamento dos sensores

A terceira e quarta camada de reforços também receberam a mesma distribuição de sensores. Após a compactação da 4ª camada é realizada a instalação da tampa, responsável pela aplicação da sobrecarga. Esta carga é aplicada através da tração de cabos de aço interligados entre a tampa e a base da caixa por um motor elétrico.

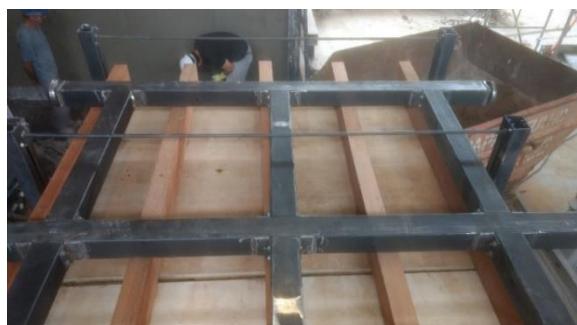


Foto 05 – Montagem do sistema de sobrecarga

As leituras dos dados foram realizadas durante a fase construtiva, a cada camada instalada e durante o ensaio com a aplicação dos estágios de carregamento. Com toda a estrutura montada realiza-se a aplicação da sobrecarga com intervalos de 500 kgf, chegando no máximo de 4 tf. A cada estágio de carregamento de 500kgf de tração no cabo, corresponde a uma sobrecarga de 12,5 kPa no topo do aterro. Em cada um destes estágios é realizada uma campanha de leitura de todos o sensores.

### 3.4 Instrumentação

Os reforços foram instrumentados com células de carga, tipo Strain Gage, instalados em perfis de alumínio, que substituíram trechos das malhas. Estes equipamentos permitiram a leitura da tensão de tração atuante em alguns pontos dos reforços, fornecendo assim o comportamento da malha em situação de serviço.

Foram utilizadas 30 células de carga para instrumentação do trabalho, sendo estas distribuídas em 3 camadas de reforço em 3 diferentes posicionamentos por nível de reforço, fornecendo assim uma curva de tensão atuante no material ao longo da estrutura.

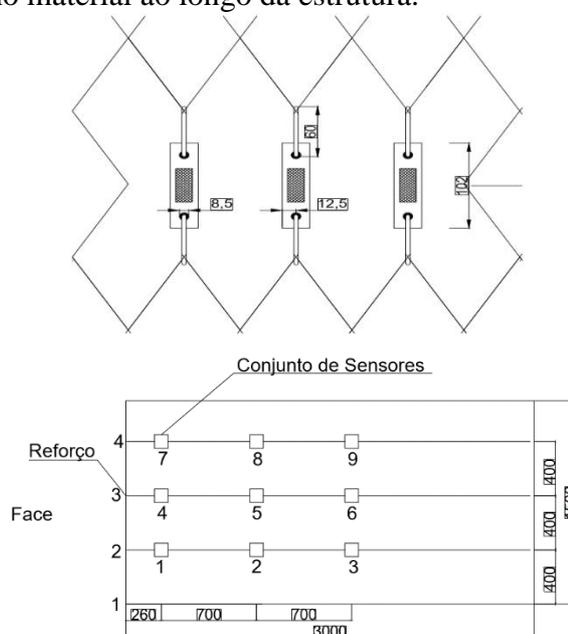


Figura 01 – Esquema de montagem e posicionamento dos sensores



Todos os sensores foram confeccionados exclusivamente para este trabalhos, sendo utilizados Strain Gages montados no sistema chamado de  $\frac{1}{4}$  de *Ponte de Wheatstone*. Estas células de carga montadas foram calibradas com auxílio de prensa hidráulica certificada, para obtenção das constantes de carga de cada equipamento.



Foto 06 – Célula de carga finalizada

### 3.5 Dimensionamento

Os parâmetros utilizados no dimensionamento são um muro com 7 metros de altura, sem sobrecarga, composto de um solo arenoso com  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$  e ângulo de atrito interno de  $34,5^\circ$ , sem coesão.

O reforço é composto por telas metálicas, espaçadas verticalmente em 0,40m. A resistência a tração longitudinal da malha de 53 kN/m, com fios de espessura de 2mm de alta resistência (1770Mpa).

Na Figura 02, é apresentado o gráfico com a previsão de Tensão máxima no reforço em cada nível instrumentado e em suas posições em relação a face do muro.

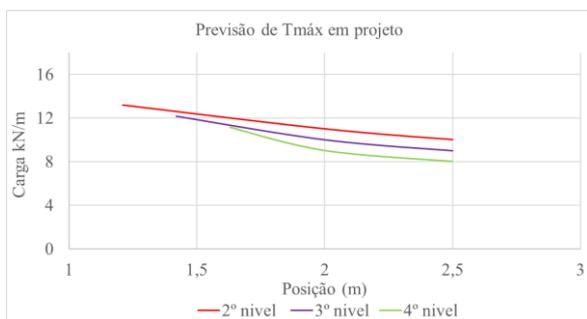


Figura 02 – previsão de Tmáx em dimensionamento

### 3.6 Ensaio

A realização do ensaio se deu com o monitoramento das células de carga durante a fase construtiva do muro, com a análise do incremento de tensão no reforço com as etapas de compactação e aterro das novas camadas.

Após a finalização da fase construtiva do muro, o ensaio segue com a análise das tensões atuantes nos reforços com a aplicação da sobrecarga no topo do aterro, esta sobrecarga foi realizada em estágios de 12,5kPa, partindo de 0 até 37,5 kPa.



Foto 07 – Estrutura finalizada para ensaio

A Figura 03 apresenta o comportamento das tensões de acordo com a camada de reforço. Foram realizadas leituras nos níveis 2, 3, 4, conforme indicado no gráfico. A cor da linha indica a camada de reforço e o traço o estágio de carregamento.

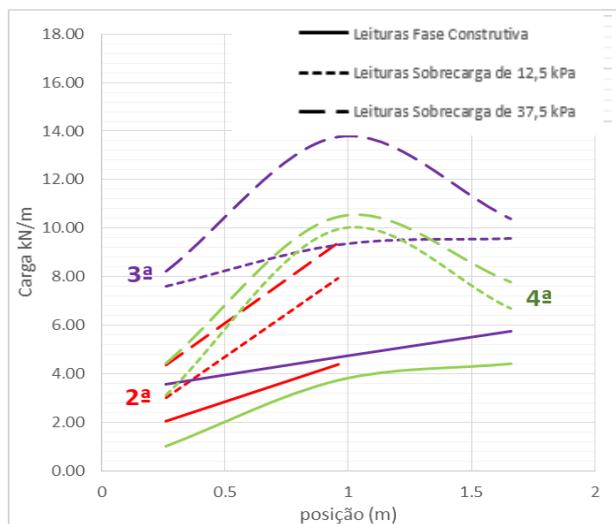


Figura 03 – Resultados ensaio.



#### 4 CONCLUSÕES

Com base nos estudos desenvolvidos, pode-se concluir que o método de dimensionamento estudado e aplicado durante este trabalho, para desenvolvimento do projeto de um muro de solo reforçado, apresenta bom resultado frente a valores obtidos na estrutura executada. Sendo possível aplicá-lo tanto para reforços geossintéticos como para reforços metálicos.

Os reforços metálicos, junto com a utilização deste método de projeto, podem otimizar estes muros, conferindo-lhes maiores capacidades de carga e menor consumo de reforços.

Sobre a instrumentação, os sensores propostos para obtenção das medidas forneceram resultados precisos e confiáveis.

O comportamento do muro apresentou uma distribuição de cargas de acordo com o esperado e similar a estruturas reforçadas com outros materiais. Entretanto o nível de carga no reforço foi bastante superior ao obtido pelos outros pesquisadores. Isto pode ter ocorrido devido a diferença do material de aterro empregado e também à rigidez do reforço.

As curvas de carregamento obtidas durante o ensaio são satisfatórias, possuindo comportamento parecido com resultados obtidos por outros autores na utilização de outros materiais.

A tela metálica suportou as cargas e as distribuiu conforme o esperado, com menor deslocamento da face, que foi bastante reduzido, mesmo utilizando material puramente friccional como aterro do muro. Possivelmente devido a rigidez do reforço.

Com isso, conclui-se que, o emprego de tela metálica em muro de solo reforçado pode ser uma solução para estruturas com maior solicitação de carregamento, apresentando bom desempenho e comportamento similar aos geossintéticos. Os fatores de redução devem ser estudados em detalhes para estes materiais, podendo torna-los alternativas interessantes.

#### REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9286: Terra Armada. Rio de Janeiro. 1986. 20p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11682: Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro. 2009. 33p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457: Amostras de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização. Rio de Janeiro. 1986. 9p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6508: Grãos de Solo que Passam na Peneira 4,8mm – Determinação da Massa Específica. Rio de Janeiro. 1984. 8p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro. 1984. 13p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro. 1986. 10p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7185: Solo – Determinação da Massa Específica aparente, in situ, com Emprego de Frasco de Areia. Rio de Janeiro. 2016. 8p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12004: Solo – Determinação do índice de Vazios máximo de solos não coesivos. Rio de Janeiro. 1990. 6p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12051: Solo – Determinação do índice de Vazios mínimo de solos não coesivos. Rio de Janeiro. 1991. 14p.
- BARBOZA JÚNIOR, J. C. Estudo Através de Modelos Físicos da Influência da Face e da Compactação em Muros de Solo Reforçado. Rio de Janeiro, 2003. 194 p. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2003) Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- BENJAMIN, C. V. dos S. Avaliação Experimental de Protótipos de Estruturas de Contenção em Solo Reforçado com Geotêxtil. São Carlos, 2006. 326 p. Tese(Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- BUDHU, M. Fundações e estruturas de Contenção; [tradução e revisão técnica] Luiz Antônio Vieira Carneiro, Maria Esther Soares Marques. - 1. ed. - Rio de Janeiro : LTC, 2013.
- CARVALHO, P. A. S. et al; Manual de Geotecnia: Taludes de Rodovias: Orientação para Diagnóstico e Soluções de Seus Problemas. São Paulo, 1991. Instituto de Pesquisas tecnológicas (Publicação IPT; n. 1843).
- COSTA, C. M. L. Deformações Dependentes do Tempo em Muro de Solo Reforçado com Geotêxteis. São Carlos, 2004. 362 p. Tese(Doutorado) – Escola de



- Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- DIAS, D.; EHRLICH, M.; RICCIO, F. M. V. Field monitoring and analyses of the response of a block-faced geogrid wall using fine-grained tropical soils. 2014. *Geotextiles and Geomembranes*, v.42, issue 2, p.127-138.
- EHRLICH, M.; BECKER, L.(2009), Muros e Taludes de Solo Reforçado: Projeto e Execução. Oficina de Textos, Coleção Huesker: engenharia com geossintéticos, São Paulo, 126p
- EHRLICH, M.; MIRMORADI, S. Numerical Evaluation of the Behavior of GRS Walls with Segmental Block Facing under Working Stress Conditions. Rio de Janeiro, 2014. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001235, 04014109.
- EHRLICH, M.; MIRMORADI, S.H.; SARAMAGO, R. P. Evaluation of the Effect of Compaction on the Behavior of Geosynthetic-reinforced soil walls. 2012. *Geotextiles and Geomembranes*, v.34, p.108-115.
- EHRLICH, M.; MITCHELL, J. K. Working stress design method for reinforced soil walls. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Reston, Virginia, v.120, n. 4, p.625-645, 1994.
- EHRLICH, M.; RICCIO, F. M. V. Comportamento de um Muro de Solo Reforçado com Face em Blocos Segmentais – O Papel da Face e da Compactação do Solo nas Tensões Atuantes. In: COBRAMSEG 2010: Engenharia Geotécnica para o Desenvolvimento, Inovação e Sustentabilidade. Gramado, 2010. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- HEAD, K. H. Manual of Soil Laboratory Testing vol 2: Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests. Pentech Press Ltd., London. 1988. p. 747.
- MARCHETTI, O. Muros de Arrimo. São Paulo, 2008, 1ª edição, Editora Blucher.
- MITCHELL, J.K., VILLET, W. C. B., 1987, Reinforcement of Earth Slopes and Embankments. Report NCHRP N° 290, Transportation Research Board, Whashington, D.C., USA.
- MOLITERNO, A. Caderno de muros de arrimo. São Paulo, 2010, 2ª edição revista, Editora Edgard Blucher Ltda.
- NATIONAL INSTRUMENTS. Corporation. Strain Gauge Measurement – A Tutorial, Application Note 078. Austin, 1998. Disponível em <<http://www.ing.unp.edu.ar/electronica/assignaturas/ee016/anexo/r-an078.pdf>>. Acesso em 30 de junho 2016.
- OLIVEIRA, G. A. Verificação da Influência do Reforço em Muros de Solo Reforçado Através de Modelos Físicos. Rio de Janeiro, 2006. 166 p. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2006) Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- OLIVEIRA, G. A.; EHRLICH, M. Influência da Rigidez do Reforço em Muros de Solo Reforçado. Rio de Janeiro, 2006. 5 p. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2006) Artigo - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas, 3ª edição Carlos de Sousa Pinto. São Paulo, 2006, Oficina de Textos.
- PINTO, S. E. L.; Retroanálise de ruptura de estrutura contenção em retângulos em Belo Horizonte/MG. Belo Horizonte, 2013.180 p. Tese(Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.
- RICCIO, F. M. V. Comportamento de um muro de solo reforçado com solos finos tropicais. Rio de Janeiro, 2007. 441 p. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2007) Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- RICCIO, F. M. V. Estudo Experimental da Interação Solo-Reforço, Incluindo a Simulação da Compactação. Rio de Janeiro, 2001. 232 p. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2001) Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- SARAMAGO, R. P. Estudo da Influência da Compactação no Comportamento de Muros de Solo Reforçado com a Utilização de Modelos Físicos. Rio de Janeiro, 2002. 294 p. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2002) Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- SILVA, N. H. da. Muros de Terra Armada – Verificação da Segurança. Lisboa, 2012, 140 p. Tese (Mestrado) – Universidade Nova de Lisboa