

Aspectos gerais do uso de geossintéticos em reforço de aterros sobre solos moles

José Orlando Avesani Neto

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Poli/USP / Geo Soluções, avesani@usp.br

Marcos Massao Futai

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Poli/USP, futai@usp.br

RESUMO: Reforço de solo com geossintéticos é um sistema construtivo que utiliza uma ou mais camadas alternadas de solo e um geossintético, que pode ser uma geogrelha ou um geotêxtil tecido, constituindo um maciço ou estrutura reforçada em obras de: muros, contenções e encontros de pontes e viadutos, taludes íngremes, aterros sobre solos moles e cavidades, reforço de fundações e reforço de vias e ferrovias. Aterros sobre solos moles são construções antigas e que sempre tiveram a altura máxima definida pela resistência do solo de fundação. Uma das formas de maior viabilidade técnico-econômica de permitir a construção de aterros mais elevados ou com fatores de segurança maiores é a utilização de reforços geossintéticos em sua base. Neste aspecto, o presente artigo faz uma revisão do estado da arte do uso de geossintéticos no reforço de aterro sobre solos moles explorando os principais tópicos de sua aplicação, como os mecanismos de reforço, as metodologias de dimensionamento, os geossintéticos empregados e as suas propriedades relevantes para esta aplicação.

PALAVRAS-CHAVE: Geossintéticos, Reforço de solo, Aterros sobre solos moles.

1 INTRODUÇÃO

Os geossintéticos são materiais que podem ser empregados no solo com a função de reforço, atuando em diferentes tipos de obras como muros, contenções e encontros de pontes e viadutos, taludes íngremes, aterros sobre solos moles e cavidades, reforço de fundações e reforço de vias e ferrovias (Palmeira e Ortigão 2004, Azambuja et al. 2004, Bilfinger e de Mello, 2004, Nascimento e Puppi 2004, Trichês e Bernucci 2004, Ceratti e Rodrigues 2004, Avesani Neto 2014, de Campos et al. 2015, Hadlich et al 2015, de Campos e Avesani Neto 2016a). A Figura 1 mostra as aplicações mencionadas.

O mecanismo do solo reforçado é similar ao do concreto armado, no qual a massa reforçada pode ser considerada um material composto com propriedades melhoradas, particularmente em tração, em relação ao solo sem reforço (ou ao concreto sem armadura). O princípio deste mecanismo se deve a combinação da resistência

à compressão do solo ou material granular com a resistência à tração do geossintético, resultando uma estrutura resistente internamente, capaz de suportar cargas elevadas, sem sofrer deformação excessiva, uma vez que o reforço absorverá os esforços de tração e parte das tensões de cisalhamento.

A norma inglesa BS 8006 explica de forma didática como funciona o mecanismo fundamental de um solo reforçado, como é mostrado a seguir. Quando a massa de solo é submetida a tensões de compressão, pode haver também o desenvolvimento de tensões de tração no seu interior.

A

Figura 2 Figura 2 mostra uma amostra de areia seca confinada por uma pressão externa de compressão σ_3 e carregada por uma tensão de compressão σ_1 , com $\sigma_1 > \sigma_3$. A amostra não reforçada sob a ação deste carregamento, sofrerá uma compressão axial δ_v e uma expansão lateral $\frac{1}{2}\delta_h$, como mostra a Figura 2a. Esta expansão lateral está associada a

deformações laterais de tração no interior do solo.

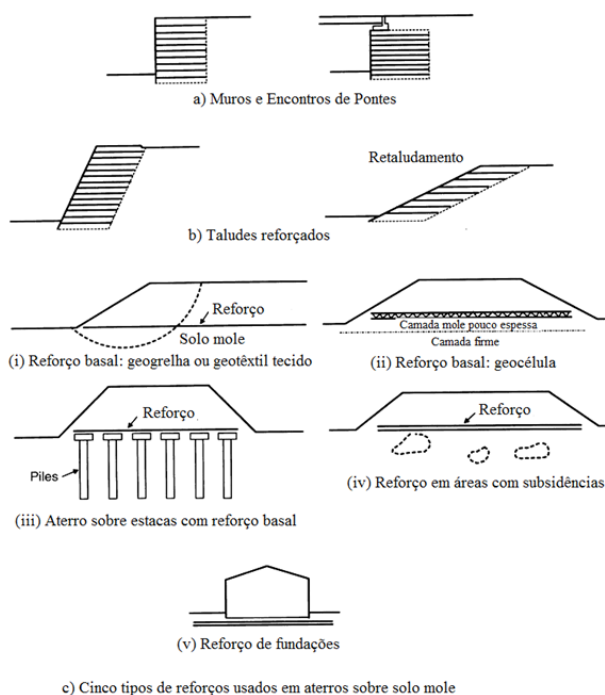


Figura 1. Aplicações de solo reforçado (BS 8006).

Se várias camadas horizontais de reforço forem inseridas no solo (Figura 2b) e as mesmas cargas externas forem aplicadas, as deformações resultantes serão δ_{vr} e $\frac{1}{2}\delta_{hr}$, onde $\delta_{vr} < \delta_v$ e $\frac{1}{2}\delta_{hr} < \frac{1}{2}\delta_h$. A redução na magnitude das deformações é resultado direto de uma tensão confinante adicional $\Delta\sigma_3$ gerada pela interação interna entre o solo e o reforço.

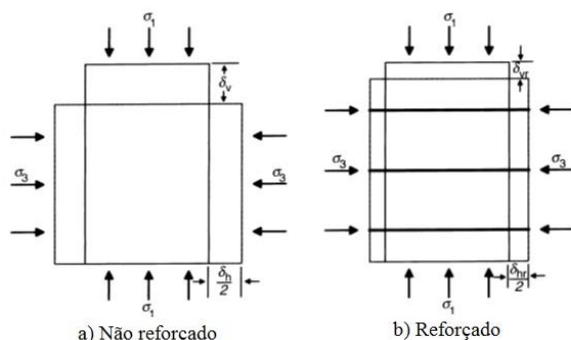


Figura 2. Efeito do reforço numa amostra de solo (BS 8006).

Quando uma carga axial é aplicada ao solo reforçado, ocorre uma deformação compressiva axial e a deformação lateral resultante de tração,

Figura 2b. Se o reforço tiver uma rigidez axial à tração maior que a do solo, o movimento lateral do solo ocorrerá somente se o solo se movimentar em relação ao reforço. Desde que a

superfície do reforço seja suficientemente rugosa, o movimento relativo do solo em relação ao reforço ocasionará tensões de cisalhamento na interface solo/reforço.

Estas tensões de cisalhamento induzem esforços de tração no reforço, os quais são redistribuídos no solo em contato, na forma de tensão de confinamento interna $\Delta\sigma_3$, a qual é adicionada a qualquer tensão externa de confinamento aplicada, σ_3 . O efeito externo resultante desta interação interna é a redução de ambas deformações axial e lateral, em comparação ao solo não reforçado.

2 USO DE REFORÇO EM ATERROS SOBRE SOLOS MOLES

Segundo Pinto (1966) e Jewell (1988), o reforço de aterros sobre solos moles é um problema similar à capacidade de carga de fundações lisas, sendo que no caso do aterro, as condições são mais críticas devido à presença de carregamentos horizontais por conta da presença do talude nas bordas.

Diferente do que ocorre com muros e taludes reforçados (Figura 3), em que as propriedades do reforço são necessárias ao longo de toda a vida útil da obra (sem a presença do reforço estas estruturas não se suportariam por toda a sua vida útil), em aterros sobre solos moles o reforço tem função apenas temporária para permitir o ganho de resistência do solo de fundação de forma a este suportar os carregamentos ao longo da vida útil da obra após ocorre o adensamento (Jewell 1988). Esta abordagem gera a necessidade de avaliar parâmetros e características particulares do reforço para o seu adequado funcionamento neste tipo de aplicação.

São diversas as motivações da utilização de reforços geossintéticos em aterros sobre solos moles. Todas as soluções técnica-economicamente mais viáveis atualmente empregam ou podem empregar geossintéticos como elemento de reforço: apenas o reforço, reforço com bermas; drenos verticais associados a reforços e estacas e colunas granulares com plataforma de geossintético de reforço (Leroueil 1997 e Almeida e Marques 2011).

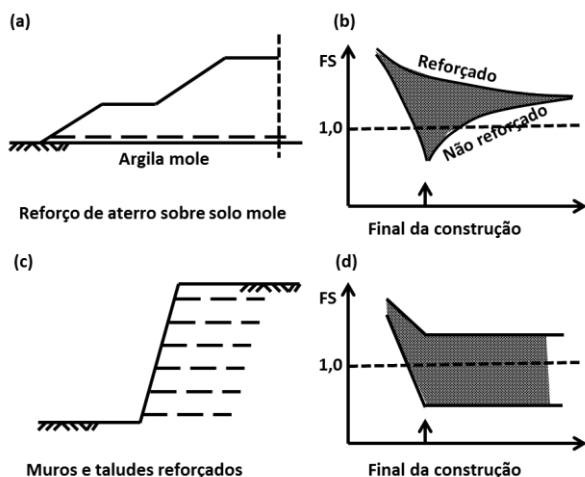


Figura 3. Comportamento e segurança de obras de reforço de solo: (a) e (b) aterro sobre solo mole; (c) e (d) muros e taludes (Jewell 1988).

3 MECANISMO DO REFORÇO

De acordo com Jewell (1988), o reforço na base de aterros sobre solos moles atua melhorando a resistência ao cisalhamento reduzindo as solicitações impostas na fundação e aumentando as forças resistentes, permitindo a aterros reforçados atingirem maiores alturas que os não reforçados, ou apresentar um maior ganho de segurança para as mesmas alturas.

3.1. Redução das Forças Solicitantes

O principal carregamento gerado pelo aterro são as tensões verticais (Figura 4a). Todavia, devido a presença dos taludes laterais, há a indução de tensões horizontais que geram na fundação uma solicitação de cisalhamento (Figura 4b).

Para um depósito de argila mole uniforme com resistência não drenada, as tensões de cisalhamento na fundação (Figura 4c) reduzem significativamente a sua capacidade de carga.

No caso da disposição de um reforço na base do aterro (Figura 4d), este suporta as tensões horizontais induzidas pelo talude, impedindo (ou reduzindo) que estas gerem tensões cisalhantes na fundação e evitando, assim, a queda na sua capacidade de carga.

3.2. Aumento das Forças Resistivas

Jewell (1988) cita que um aterro não reforçado não é capaz restringir as deformações

laterais do aterro e da fundação. Quando há possibilidade de efetuar essa restrição na superfície, há um aumento da capacidade de carga da fundação.

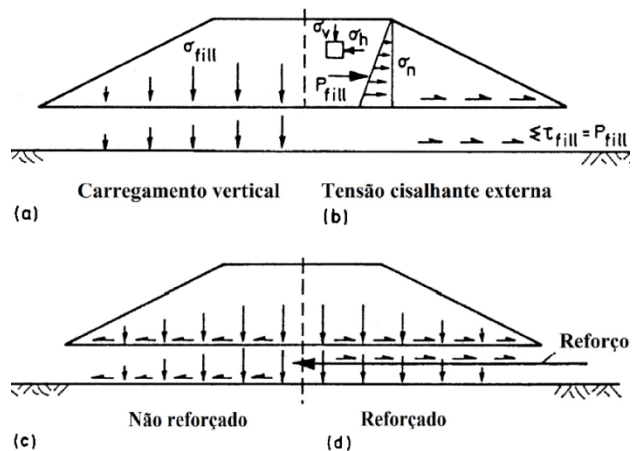


Figura 4. Ilustração esquemática dos carregamentos induzidos pelo aterro na fundação de solo mole com e sem reforço (adaptado de Jewell 1988).

O autor faz uma analogia com a diferença da capacidade de carga entre fundações lisas e rugosas, citando que esta última eleva de forma significativa a capacidade de suporte da fundação (Figura 5). Desta forma, a disposição do reforço na base do aterro restringe as deformações na fundação, elevando a sua capacidade de carga.

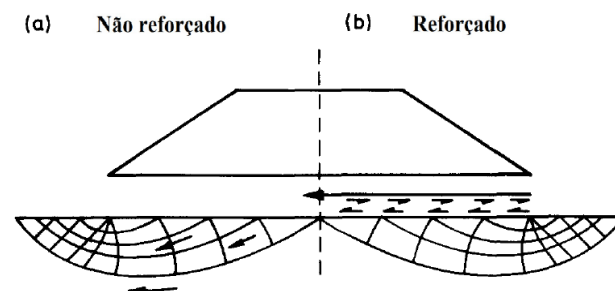


Figura 5. Ilustração esquemática da restrição das deformações na fundação de solo mole com e sem reforço (adaptado de Jewell 1988).

4 METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO

4.1. Análises Necessárias

De acordo com Almeida e Marques (2011), o modo de ruptura dos aterros reforçados são essencialmente os mesmos dos não reforçados,

sendo necessária a realização das mesmas análises e procedimentos de verificação.

Futai (2010) indica que não há normas brasileiras para aterros reforçados, sugerindo o emprego da metodologia proposta pela norma britânica BS8006. Segundo essa norma, é necessário verificar: estabilidade local (ruptura do talude do aterro), estabilidade rotacional, deslizamento lateral do aterro, extrusão da fundação e ruptura global. O autor comenta que a estabilidade rotacional é normalmente a única empregada no dimensionamento por ser a mesma análise feita para aterros não reforçados e porque as outras análises de estabilidade local e deslizamento lateral do aterro são rupturas pouco convencionais. De fato, a inclinação do talude do aterro deve ser convenientemente escolhida em função do tipo de solo empregado, e o deslizamento lateral é restringido pelo reforço, conforme visto no item acima de mecanismos do reforço. Ainda segundo Futai (2010), a extrusão da fundação é possível de ocorrer apenas quando há pouca espessura do solo mole de fundação. Para depósitos mais profundos a estabilidade rotacional passa a ser mais crítica.

Jakobson (1948), Pinto (1966), Costa Nunes e Velloso (1961) e Low (1989) afirmam que dificilmente a ruptura ocorrerá de forma global, englobando toda a seção do aterro. A ruptura por escorregamento ocorre próxima ao topo do talude do aterro e a uma profundidade restrita da fundação, principalmente quando a sua resistência é crescente com a profundidade. Desta forma, novamente a análise crítica passa a ser a estabilidade rotacional.

Rowe e Li (2005) citam como as verificações necessárias para um aterro reforçado: escorregamento lateral do aterro sobre o reforço, capacidade de carga da fundação, ruptura rotacional com arrancamento ou ruptura do reforço e deformações excessivas. Igualmente para o caso de pequena espessura da camada de solo mole da fundação, há a necessidade de verificar a sua extrusão lateral.

A BS8006 recomenda, além das análises já descritas que englobam o estado limite último, verificações de estado limite de serviço como deformação máxima no reforço e recalque da fundação.

É importante ressaltar que a resistência do aterro pode ser considerada desde que este

possua poucos finos. Para o caso de material coesivo para execução do aterro, há a possibilidade de surgimento de trincas de tração, devendo a sua resistência ser avaliada conforme sugestões de Pinto (1966) e Almeida e Marques (2011).

4.2. Métodos Empregados

Na análise da estabilidade rotacional, Jewell (1988), a norma britânica BS8006 e Rowe e Li (2005) sugerem o emprego de soluções de capacidade de carga da teoria da plasticidade e uso de métodos de equilíbrio limite para a obtenção do fator de segurança (FS) de aterros reforçados e da resistência e rigidez necessária para o reforço. A BS8006 e Rowe e Li (2005) sugerem, ainda, a possibilidade de emprego de métodos de elementos finitos (MEF) para este estudo.

Dentre os métodos sugeridos, segundo a teoria da plasticidade, destacam-se os propostos por Davis e Booker (1973), Matar e Salençon (1977), Rowe e Soderman (1987) e Hinchberger e Rowe (2003). No caso de equilíbrio limite, destacam-se: Jewell (1982), Milligan e LaRochelle (1984), Rowe e Soderman (1985), Mylleville e Rowe (1988), Palmeira et al. (1998) e Low et al. (1990).

4.3. Análises no Reforço

Em todas as verificações, o reforço trabalha à tração para manter a estabilidade do aterro e da fundação e esta solicitação deve ser mantida pela resistência deste e pela transferência dos carregamentos para o solo do aterro e da fundação pelo atrito de interface. Assim, uma correta resistência à tração e um adequado comprimento de ancoragem devem ser verificados para o reforço de forma a evitar sua ruptura e arrancamento.

Segundo Rowe e Li (2005), há ainda a necessidade de verificação de outras duas propriedades do reforço: rigidez e deformabilidade máxima. A rigidez é necessária para compatibilizar as deformações entre o solo e o reforço. Se este é pouco rígido, ele não absorverá os carregamentos previstos conduzindo a deformação excessiva na fundação e até ruptura, conforme esquematizado na Figura 6.

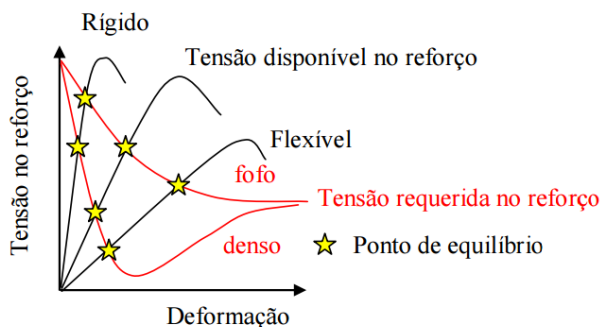


Figura 6. Comportamento tensão deformação solo/reforço (adaptado de Futai 2010).

A deformabilidade máxima é importante, pois o reforço deve ser capaz de atingir a deformação de compatibilização (Figura 6) com o solo sem que ocorra a sua ruptura. Diversos estudos (BS8006, Rowe 1984, Rowe e Soderman 1984 e 1985, Bonaparte e Christopher 1987, Bergado et al. 1994, Bolton e Sharma 1994, Rowe e Hinchberger 1998, Li e Rowe 2001, Chai et al. 2002, Hinchberger e Rowe 2003, Oliveira 2006, Futai 2010, Fuertes Ampuero 2012, Alves 2014 e Futai 2015) vem mostrando que a deformação de compatibilidade do reforço usualmente varia em um faixa de cerca de 2% a 13%. Alves (2014) mostra, inclusive, que em alguns casos a deformação de compatibilidade do reforço pode assumir valores superiores a 15%. Por este motivo, alguns autores recomendam valores para a deformabilidade no reforço. Dentre estes valores recomendados, destacam-se: 3% a 10% (BS8006), 2% a 6% (Rowe e Soderman 1985, Bonaparte e Christopher 1987).

Para a determinação da deformação de compatibilização do reforço (também chamada de deformação de compatibilidade e de deformação permissível), são sugeridos o emprego dos métodos de Hinchberger e Rowe (2003) e Futai (2010), para o caso de resistência não drenada da fundação crescente com a profundidade, e o método de Rowe e Soderman (1985) para o caso de resistência constante com a profundidade.

4.4. Informações Adicionais

Informações adicionais acerca de sequência executiva, detalhes executivos, aterro de conquista, transpasse/conexão do reforço, entre outros, podem ser obtidas em Carroll e

Chouery-Curtis (1990), Simac (1990) e Almeida e Marques (2011).

5 GEOSSINTÉTICOS EMPREGADOS

Segundo diversos autores (Koerner 1999, Massad 2003, Palmeira e Ortigão 2004, Rowe e Li 2005, Futai 2010, Almeida e Marques 2011) são empregados geossintéticos com função de reforço em obras de aterro sobre solos moles, sendo eles as geogrelhas e os geotêxteis tecido.

Os geotêxteis tecido têm a vantagem de desempenharem a função de separação junto com o reforço.

As geogrelhas possuem a vantagem de disponibilidade de uma maior gama de resistências à tração, além de fornecerem uma melhor interação com o solo devido ao seu formato. São empregadas as geogrelhas tecidas que são mais flexíveis e com maior resistência a tração que as extrudadas. Em situações de estado plano de tensões (“obras lineares”, como aterros rodoviários) usualmente são usadas geogrelha uniaxiais. Onde as aplicações exigem reforço em ambas as direções podem ser utilizadas geogrelhas biaxiais ou a sobreposição de duas camadas de geogrelhas uniaxiais, uma em cada direção. Esta última configuração gera maior trabalho de instalação, contudo, reduz perdas de materiais em transpasses.

Em relação aos materiais (polímeros) possíveis de serem empregados, como esta aplicação busca resistência à tração, rigidez, deformabilidade controlada e reduzida fluência, são usualmente empregados os polímeros poliéster (PET), poliálcool vinílico (PVA) e polipropileno (PP) - no caso do geotêxtil tecido. Rowe e Li (2005) citam diversos casos de aterro sobre solos moles que usaram geogrelhas de polímeros que apresentam maior fluência como o polietileno e o polietileno de alta densidade (PE e PEAD) e o polipropileno (PP), todavia, indicam que o uso destes materiais mais deformáveis com o tempo pode conduzir a um aumento das deformações por cisalhamento na fundação.

De acordo com o levantamento feito por Rowe e Li (2005) dos casos registrados do uso de geogrelhas em reforço de aterros sobre solos moles, o polímero mais comum é o PET, que tem como vantagem o menor custo. A

geogrelha de PVA, apesar de ser mais cara, tem como vantagem maior rigidez e resistência química, sendo indicada em aplicações onde há elevada alcalinidade ($\text{pH} > 10$).

6 PROPRIEDADES RELEVANTES

Em aplicações de reforço de aterros sobre solos moles as propriedades mais relevantes do geossintético empregado são: resistência à tração de projeto, rigidez e deformação de ruptura.

A resistência à tração é necessária para o reforço resistir aos carregamentos impostos pelo aterro. A rigidez elevada compatibiliza a deformação do aterro com a do reforço, permitindo que este seja efetivamente solicitado. E a deformação de ruptura precisa ser suficientemente elevada para permitir que o reforço atinja a deformação de compatibilização sem romper e comprometer o reforço.

A resistência à tração obtida no dimensionamento é chamada de resistência à tração de projeto (T_d) e nela já consta a resistência que o geossintético deve ter para atender aos requisitos de longo prazo, considerando a sua perda de resistência no processo de execução da obra (danos de instalação) e ao longo de sua vida útil (fluência e degradação). Nos EUA, Europa e Ásia, é comum os projetistas especificarem a resistência de projeto requerida, que é comparada com aquela que os fabricantes usualmente já fornecem em seus catálogos. No Brasil, ainda há uma cultura de usar a resistência à tração característica ou nominal (T_{char} ou T_n), que é resistência inicial do material, quando ele é fornecido na obra. Para se obter a resistência de projeto a partir da característica (ou nominal), emprega-se nesta fatores de redução de fluência, danos de instalação e degradação.

A vantagem de já se trabalhar com a resistência de projeto é a possibilidade de visualizar a propriedade efetiva requerida para o produto, visto que cada material e cada fabricante possui um dado valor para os fatores de redução, gerando diferentes valores de resistência característica. Outro benefício de usar a resistência de projeto é que nela já estão consideradas outras propriedades relevantes

como fluência do material e resistência a danos de instalação e degradação.

A rigidez especificada no dimensionamento é determinada para uma dada deformação do material. Usualmente é empregada a rigidez a 5% de deformação, que é o valor da força, por unidade de largura, obtida neste ponto dividida por esta deformação (em valor numérico – 0,05). Entretanto, usando os métodos de Rowe e Soderman (1985), Hinchberger e Rowe (2003) e Futai (2010), é possível obter a deformação de compatibilização, e já especificar a rigidez (ou força por largura) requerida para esta deformação de compatibilidade.

O reforço especificado precisa ter uma deformação de ruptura superior à deformação de compatibilização de forma a não romper em sua aplicação, comprometendo toda a estrutura reforçada. Se a deformação de compatibilização for, por exemplo, de 6%, o reforço empregado não pode ter uma deformação de ruptura de 5% - sendo mais adequado algo como 10%.

Por fim, conforme ressaltado por de Campos e Avesani Neto (2016b), é importante exigir que o geossintético escolhido tenha como matéria-prima um polímero de elevada qualidade. No caso de geogrelhas de PET, esse controle é feito, conforme os autores, com base em duas propriedades que o fabricante deve fornecer em relação à matéria-prima do seu produto: o peso molecular (MW), que deve ser superior a 25.000 g/mol; e a contagem de grupos terminados em carboxila (CEG) que deve ser inferior a 30mmol/kg – valores determinados pela FHWA para tempo de vida útil da obra superior a 75 a 100 anos.

7 CONCLUSÕES

O uso de geossintéticos para reforço de aterros sobre solos moles tem se mostrado uma das alternativas de maior viabilidade técnico-econômica para permitir a construção de aterros mais elevados ou com fatores de segurança maiores. Neste aspecto, o presente artigo fez uma revisão do estado da arte desta aplicação explorando os principais tópicos como os mecanismos de reforço, as metodologias de dimensionamento, os geossintéticos empregados e as suas propriedades relevantes para esta aplicação. Informações mais

detalhadas acerca de cada tópico podem ser visualizadas em cada referência citada.

REFERÊNCIAS

- Almeida, M. S. S. e Marques, M. E. S. (2011). *Aterros Sobre Solos Moles – Projeto de Desempenho*. Ed. Oficina de Textos.
- Alves, N. S. O. (2013). *Estudo do comportamento de aterros reforçados sobre solos moles com utilização de drenos verticais pré-fabricados*. Dissertação de Mestrado, Poli-USP.
- Avesani Neto, J. O. (2014). Instrumentação de Muro Reforçado com Geossintéticos com face em Geobloco H. *Revista Fundações e Obras Geotécnicas*, Vol. 45, p. 46-51.
- Azambuja, E., Gomes, R. C., Ehrlich, M. e Sayão, A. S. F. J. (2004). *Muros e taludes reforçados - Manual Brasileiro de Geossintéticos*. Edgard Blucher.
- Bergado, D. T., Long, P. V., Loke, K. H., Christopher, B. R., e Delmas, P. (1994). Geotextile reinforcement in full scale test embankment on soft ground. *5th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, Singapore, 1, p. 21–24.
- Bilfinger, W. e de Mello, L. G. F. S. (2004). *Reforço de fundações - Manual Brasileiro de Geossintéticos*. Edgard Blucher.
- Bolton, M. D, e Sharma, J, S, (1994). Embankments with base reinforced on soft clay. *Centrifuge 94*, p. 587-592.
- Bonaparte, R., e Christopher, B. R. (1987). Design and construction of reinforced embankments over weak foundations. *Transportation Research Record*, 1153, p. 26-39.
- BS 8006 (2010). *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills*. British Standard.
- Carroll, R. G., e Choverly-Curtis, V. (1990). Geogrid connections. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 9, p. 547-551.
- Ceratti, J. A. P., e Rodrigues, R. M. (2004). *Aplicações em restauração de pavimentos - Manual Brasileiro de Geossintéticos*. Edgard Blucher.
- Chai, J. C., Miura, N., e Shen, S. L. (2002). Performace of embankments with and whitout reinforcement an soft subsoil. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 39, p. 839-848.
- Costa Nunes, A. J. e Velloso, D. A. (1961). Problèmes géotechniques de la traversée du Guaíba. *5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Paris, France, p. 207–216
- Davis, E. H. e Booker, J. R. (1973). The effect of increasing strength with depth on the bearing capacity of clays. *Geotechnique*, Vol. 23, p. 551–563.
- de Campos, M. V. W., e Avesani Neto, J. O. (2016). Geogrelhas em aplicações viárias. *Revista Fundações e Obras Geotécnicas*, Vol. 64, p. 40-45.
- de Campos, M. V. W., e Avesani Neto, J. O., Pereira, V. R. G., Franca, F. A. N. (2015). Associação de técnicas tradicionais e inovadoras de estabilização e reforço de maciço de solo. *Revista Fundações e Obras Geotécnicas*, Vol. 52, p. 50-55.
- de Campos, M. V., e Avesani Neto, J. O. (2016b). Nova tendência mundial de controle de qualidade de geogrelhas. *Revista Fundações e Obras Geotécnicas*.
- Fuertes Ampuero, M. V. (2012). *Análise numérica e analítica de aterros reforçados sobre solos moles com uma camada superficial de areia*. Dissertação de Mestrado, Poli-USP.
- Futai, M. M. (2010). *Considerações sobre a influência do adensamento secundário e do uso de reforços em aterros sobre solos moles*. Tese de Livre Docência, Poli-USP.
- Futai, M. M. (2015) Definição da Força Mobilizada no Reforço, devido à Compatibilização de Deformações, em Aterros Reforçados Sobre Solos Moles e em Condição Não Drenada. *Regeo-Geossintéticos 2015*, p. 1-13.
- Hadlich, C. A. O., Tavano, F. M., Kaimoto, L. H. D., Camargo, M. T. S. C., Lavoie, F.L., e Avesani Neto, J.O. (2015). Estudo da aplicação de geogrelha em muro reforçado: análise de caso. *Revista Fundações e Obras Geotécnicas*, Vol. 6, p. 58-62.
- Hinchberger, S. D. e Rowe, R. K. (2003). Geosynthetic reinforced embankments on soft clay foundations: predicting reinforcement strain at failure. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 21, p. 151–175.
- Jakobson, B. (1948). The design of embankments on soft soil. *Géotechnique*, Vol. 1, p. 80–90.
- Jewell, R. A. (1982). A limit equilibrium design method for reinforced embankments on soft foundations. *2nd International Conference on Geotextiles*, Las Vegas, p. 671–676.
- Jewell, R. A. (1988). The mechanics of reinforced embankments on soft soils. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 7, p. 237–273.
- Koerner, R. M., (1999). *Designing With Geosynthetics*. Prentice Hall.
- Leroueil, S. (1997). Critical State Soil Mechanic and Behavior of Real Soils. *Recent Development and Soil and Pavement Mechanics*, Balkema.
- Li, A. L., e Rowe, R. K. (2001). Influence of creep and stress-relaxation of geosynthetic reinforcement on embankment behaviour. *Geosynthetics International*, Vol. 8, p. 233–270.
- Low, B. (1989). Stability analysis of embankments on soft ground. *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 15, p. 211–227.
- Low, B. K., Wong, K. S., Lim, C. e Broms, B. B. (1990). Slip circle analysis of reinforced embankments on soft ground. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 9, p. 165–181.
- Massad, F. (2003). *Obras de Terra: curso básico de geotecnia*. Oficina de Textos.
- Matar, M. e Salencon, J. (1977). Capacité portante a` une semelle filante sur sol purement coherent d`epaisseur limite`e et de cohesion variable avec la profondeur. *l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics*, 352, Serie: Sols et Fondations, 143, p. 95–107.
- Milligan, V. e La Rochelle, P. (1984). Design methods for embankments over week soils. *Symposium*

on Polymer Grid Reinforcement in Civil Engineering, London, p. 95–102.

Mylleville, B. L. J. e Rowe, R. K. (1988). *Simplified Undrained Stability Analysis for Use in the Design of Steel Reinforced Embankments on Soft Foundations*, GEOT-3–88. Faculty of Engineering Science, University of Western.

Nascimento, N. A., e Puppi, R. F. K. (2004). *Aterros sobre cavidades - Manual Brasileiro de Geossintéticos*. Edgard Blucher.

Oliveira, H. M. (2006). *Comportamento de aterros reforçados levados à ruptura*. Tese de doutorado, COPPE-UFRJ.

Palmeira, E. M., e Ortigão, A. (2004). *Aterros Sobre Solos Moles - Manual Brasileiro de Geossintéticos*. Edgard Blucher.

Pinto, C. S. (1966). Capacidade de carga de argila com coesão crescente com a profundidade. *Jornal de Solos*, Vol. 3, p. 21-44.

Rowe, R. K. (1984). Reinforced embankments: analysis and design. *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 110, No. GT2, p. 231– 246.

Rowe, R. K. e Li, A. L. (2005). Geosynthetics reinforced embankments over soft foundations. *Geosynthetics International*, Vol. 2, p. 50-85.

Rowe, R. K. e Soderman, K. L. (1985). An approximate method for estimating the stability of geotextile reinforced embankments. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 22, p. 392–398.

Rowe, R. K. e Soderman, K. L. (1987). Stabilization of very soft soils using high strength geosynthetics: the role of finite element analyses. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 6, p. 53–80.

Rowe, R. K., e Hinchberger, S. D. (1998). The significance of rate effects in modelling the Sackville test embankment. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 35, p. 500–516.

Rowe, R. K., e Soderman, K. L. (1984). Comparison of predicted and observed behaviour of two test embankments. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 1, p. 143–160.

Simac, M. R. (1990). Connections for geogrid systems. *Geomembranes*, Vol. 9, p. 537-546.

Trichês, G., Bernucci, L. B. (2004). *Reforço de base de pavimentos - Manual Brasileiro de Geossintéticos*. Edgard Blucher.