

Aspectos Gerais Sobre o Uso de Geossintéticos em Muros e Taludes Reforçados

José Orlando Avesani Neto

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

Fernando Henrique Martins Portelinha

Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos – DECiv/UFSCar,
fportelinha@ufscar.br

RESUMO: O presente artigo apresenta aspectos gerais sobre o uso de geossintéticos em muros e taludes reforçados, com principal ênfase nos mecanismos de reforço e dimensionamento. São descritos e discutidos sobre a visão existente na literatura relacionada ao efeito do espaçamento entre reforços (densidade de reforços) e sua compatibilização com a tensão requerida de reforços geossintéticos e tipos de faceamento. Embora haja uma vasta experiência sobre o uso de ferramentas tradicionais de análises de projeto que consideram a distribuição linear das tensões laterais ao longo da altura da estrutura, destaca-se que o efeito do espaçamento entre os reforços pode apresentar influência significativa não somente na magnitude da força de tração requerida do reforço, mas também na localização destas forças ao longo do comprimento do reforço. Sugere-se neste artigo que as análises de projeto sejam conduzidas com consideração da densidade do reforço e seus efeitos globais no comportamento geometria da estrutura (espaçamento e tipo de faceamento) de forma a resultar em estruturas viáveis economicamente.

PALAVRAS-CHAVE: Geossintéticos, Reforço de solo, Muros e taludes reforçados; Espaçamento vertical.

1 INTRODUÇÃO

A técnica de reforço de solo com uso de geossintéticos consiste em um sistema construtivo que utiliza uma (ou uma série) de camadas alternadas com solo ou material granular e um geossintético, que pode ser uma geogrelha ou um geotêxtil tecido, constituindo um maciço ou estrutura reforçada em obras de recomposição, contenção ou reforço, que requerem taludes mais íngremes, encontros de ponte, muros de arrimo e em aterros sobre solos moles, melhorando a sua capacidade de suporte. A Figura 1 mostra as aplicações mencionadas, que abrangem obras de recomposição, contenção ou reforço, encontros de ponte, muros de arrimo e aterros sobre solos moles.

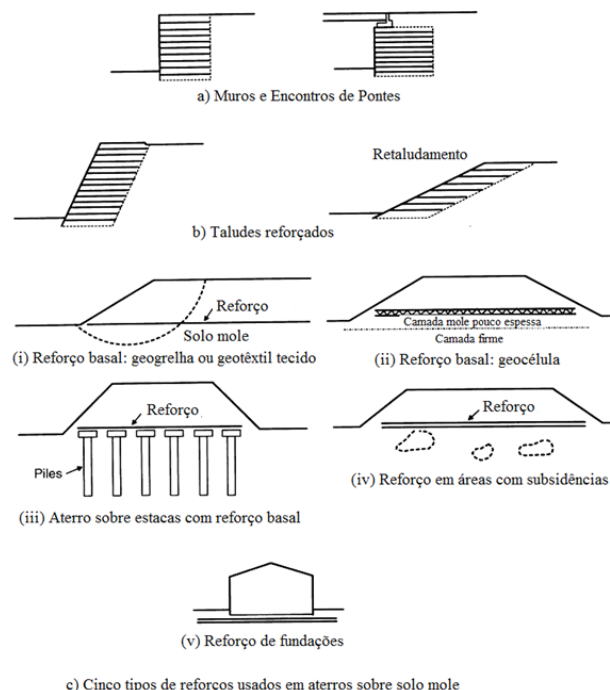


Figura 1. Aplicações de solo reforçado (BS 8006).

2 USO DE REFORÇOS EM MUROS E TALUDES

Os muros e taludes de solo reforçado são estruturas de contenção coesas que trabalham como muros de gravidade. Os reforços geossintéticos são dispostos em sucessivas camadas horizontais intercaladas com o aterro compactado de forma a constituir um maciço reforçado com a altura e inclinação de face desejada.

Diferente do que ocorre com um aterro sobre solos moles (Figura 2a e 3b), em que a necessidade do reforço é apenas temporária para permitir o ganho de resistência do solo de fundação, em muros e taludes reforçados (Figura 2c e 3d), sem a presença do reforço, estas estruturas não seriam possíveis de serem executadas. Nesta aplicação, as características necessárias ao reforço se mantêm ao longo de toda a vida útil da obra (Jewell 1988).

São diversas as motivações da utilização de solo reforçado com geossintéticos para compor muros e taludes íngremes. A primeira, e possivelmente a maior, é a possibilidade do uso do solo local para compor a estrutura de contenção, visto que o solo local é provavelmente o material de construção mais econômico de uma obra. Outras motivações que são interessantes em se ressaltar são: baixo custo (Elias et al. 2001, Avesani Neto et al. 2013, Portelinha et al. 2014), possibilidade de uso de distintos tipos de acabamento da face (Ehrlich e Becker 2009, Avesani Neto et al. 2013b, Avesani Neto e Hayashida 2015), velocidade de execução (Sayão et al. 2004 e Campos et al. 2015) flexibilidade e capacidade de absorção de deformações (Avesani Neto 2013).

3 GEOSSINTÉTICOS EMPREGADOS

O desempenho de um solo reforçado depende das características do solo e de como estas são afetadas pelas suas condições internas (como as pressões neutras, por exemplo), e pelas condições externas (como cargas aplicadas). Conforme a BS 8006, dois fatores que influenciam as características do solo devem ser considerados: (1) aqueles que afetam as cargas aplicadas no solo reforçado e (2) aqueles que

afetam a durabilidade do reforço. As cargas transferidas do solo para o reforço são diretamente influenciadas pela resistência ao cisalhamento e rigidez do solo, a qual é em geral definida pelos parâmetros de resistência ao cisalhamento em termos de tensões efetivas, coesão e ângulo de atrito (c' e ϕ'), ou em termos de tensões totais, coesão não drenada (s_u). Além destas, as propriedades dos geossintéticos igualmente são relevantes para o bom desempenho de qualquer estrutura de solo reforçado.

Normalmente, os geossintéticos comumente empregados na função de reforço de solo são os geotêxteis tecido e não-tecido e as geogrelhas tecidas. No entanto, pode-se também citar as geocélulas e geogrelhas extrudadas como materiais de reforços, embora menos utilizadas no Brasil.

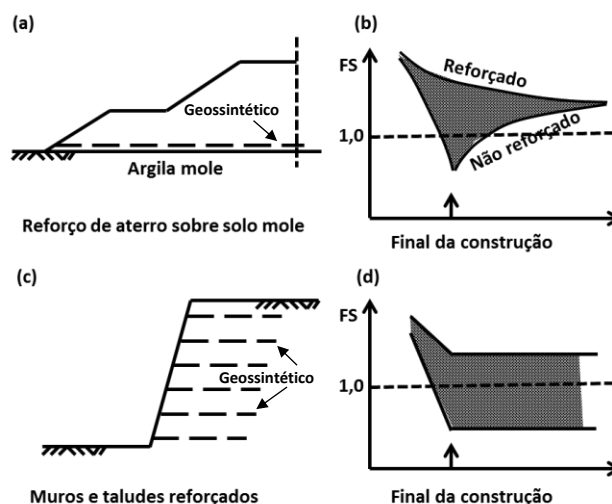


Figura 2. Comportamento e segurança de obras de reforço de solo: (a) e (b) aterro sobre solo mole; (c) e (d) muros e taludes (Jewell 1988).

As geogrelhas possuem a vantagem de disponibilizar uma maior variedade de resistências à tração, além de fornecerem uma melhor interação com o solo devido a sua geometria. Normalmente, são empregadas as geogrelhas tecidas que são mais flexíveis e com maior resistência a tração que as extrudadas. Usualmente as geogrelhas são uniaxiais, visto que muros e taludes são situações de estado plano de tensões, nos quais há necessidade de reforço apenas ortogonalmente à face.

Os geotêxteis tecidos têm a vantagem de desempenharem outras funções junto com o

reforço, como separação. Os geotêxteis não tecidos são usados em raras ocasiões como reforço, visto que os outros materiais já citados apresentam maiores valores de rigidez e resistência a tração. No entanto, os geotêxteis não tecidos, por se tratarem de materiais com capacidade de permitir a percolação de água ao longo de sua estrutura, são relatados como materiais que podem apresentar a dupla função de drenagem interna e reforço (Portelinha et al. 2013).

Em relação as possíveis composições poliméricas empregadas para a fabricação de reforços, são usualmente empregados os polímeros poliéster (PET), poliálcool vinílico (PVA) e polipropileno (PP), no caso do geotêxtil tecido. Cabe observar que a composição dos polímeros apresenta importância tão significativa quanto a estrutura e geometria, já que a aplicação de reforço demanda de resistência à tração, deformabilidade controlada e reduzida fluência.

A geogrelha mais comum para muros e taludes reforçados é a de PET, tendo como vantagem o menor custo, motivo pelo qual é a mais empregada. A geogrelha de PVA, apesar de ser mais cara, tem como vantagem maior resistência química, sendo indicada em aplicações onde há elevada alcalinidade ($\text{pH} > 10$). De maneira geral, não são recomendadas as geogrelhas extrudadas de polipropileno (PP) e polietileno de alta densidade (PEAD), pois a fluência destes materiais é significativamente elevada.

4 PROPRIEDADES RELEVANTES

A propriedade mais relevante para a aplicação de geossintéticos em muros e taludes é a resistência à tração, característica determinada diretamente independentemente da metodologia de dimensionamento empregada (equilíbrio limite ou condição de trabalho).

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, usa-se ainda a resistência à tração característica ou nominal (T_c 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 resistência a tração característica, 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.

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.

O controle de qualidade de fabricação de geossintéticos deve sempre incorporar a execução de ensaios de laboratório específicos para a aplicação almejada. No caso de reforços, a controle de qualidade deve, no mínimo, ser conduzido com base na resistência e deformabilidade a tração do geossintético.

5 MECANISMO DO REFORÇO

Segundo Wu et al. (2013), há três conceitos propostos para explicar o mecanismo de reforço do solo reforçado com geossintéticos: (1) o

aumento do confinamento interno do solo; (2) a melhora nas propriedades do solo devido o reforço; (3) a redução das deformações normais.

Yang (1972) e Schlosser e Long (1974) explicam o mecanismo de reforço pelos conceitos da coesão aparente e do confinamento aparente, conforme exemplificado por Pham (2009), Wu et al. (2013) e Wu e Ooi (2015), e descrito a seguir.

5.1. Conceito da Coesão Aparente

Por este conceito, um solo reforçado tem sua tensão principal maior elevada da situação σ_1 para a σ_{1R} , com o surgimento de uma coesão aparente C'_R , devido a presença do reforço, conforme apresentado pela envoltória de Mohr-Coulomb na Figura 3. Se ensaios triaxiais forem realizados em amostras reforçadas e não reforçadas, determinando ambas as envoltórias de resistências, será possível obter o valor da coesão aparente C'_R . De acordo com Yang (1972), o valor do ângulo de atrito do solo não será alterado com a presença do reforço, desde que seja mantida a interação solo/reforço (não ocorra deslizamento de interface entre o reforço e o solo).

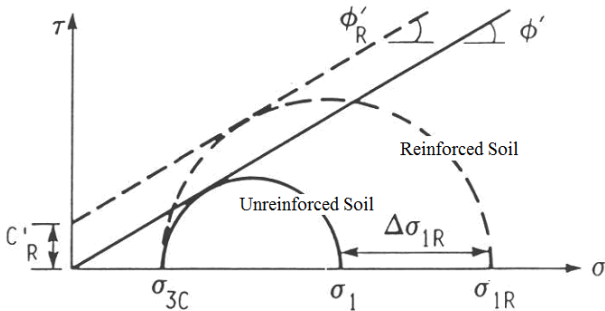


Figura 3. Ilustração do conceito da coesão aparente (Pham 2009).

5.2. Conceito do Confinamento Aparente

Por este conceito, um solo reforçado tem sua tensão principal maior elevada da situação σ_1 para a σ_{1R} , com o surgimento de um confinamento aparente $\Delta\sigma_{1R}$, devido a presença do reforço, conforme apresentado pela envoltória de Mohr Coulomb na Figura 4. Da mesma forma, a determinação do valor do confinamento aparente $\Delta\sigma_{1R}$ pode ser feita por meio de ensaios triaxiais em amostras reforçadas e não reforçada e assumindo que o ângulo de atrito interno do solo não se altera.

5.3. Combinação dos Dois Conceitos

De acordo com Yang (1972) e Schlosser e Long (1974) para uma massa de solo reforçado com um espaçamento constante entre reforços na vertical (S_V) e resistência do reforço constante (T), é assumido que o aumento do confinamento devido a presença do reforço (confinamento aparente) possa ser calculado por:

$$\Delta\sigma_{3R} = \frac{T}{S_V} \quad (1)$$

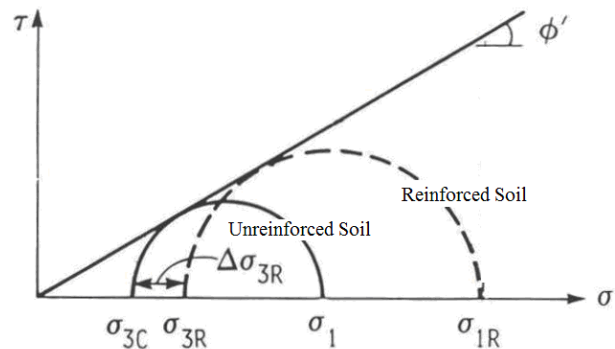


Figura 4. Ilustração do conceito do confinamento aparente (Pham 2009).

Usando a teoria de empuxo de Rankine na Figura 3, é possível calcular a tensão principal maior de ruptura como:

$$\sigma_{1R} = \sigma_{3C}K_P + 2C'_R\sqrt{K_P} \quad (2)$$

Para a Figura 4, a mesma teoria calcula a tensão principal maior de ruptura como:

$$\sigma_{1R} = \sigma_{3R}K_P \quad (3)$$

Considerando que:

$$\sigma_{3R} = \sigma_{3C} + \Delta\sigma_{3R} \quad (4)$$

A Equação 3 pode ser reescrita como:

$$\sigma_{1R} = (\sigma_{3C} + \Delta\sigma_{3R})K_P \quad (5)$$

Combinando as Equações 2 e 5, obtém-se:

$$C'_R = \frac{\Delta\sigma_{3R}K_P}{2} \quad (6)$$

Substituindo na Equação 6 na Equação 1, tem-se que:

$$c'_R = \frac{TK_P}{2S_V} \quad (7)$$

Pela equação acima, a resistência fornecida pelo reforço pode ser determinada exclusivamente como função de sua resistência a tração e do espaçamento vertical de suas camadas. Dela, criou-se o conceito de que é possível elevar o espaçamento entre as camadas aumentando a resistência do reforço, sem perda da melhora fornecida pelo reforço. Todavia, este conceito vem sendo largamente questionado por diversos estudos, que tem mostrado a não proporcionalidade entre estes dois parâmetros, conforme será mostrado a seguir (Broms 1997, Adams 1997, Wu 2001, Vulova e Leshchinsky 2003, Elton e Patawaran 2005, Adams et al. 2007, Ziegler et al. 2008, Pham 2009, Wu et al. 2013 e Wu e Ooi 2015).

6 ASPECTOS SOBRE O DIMENSIONAMENTO

A maior deficiência dos métodos de cálculo atualmente empregados reside em ignorar a natureza do compósito formado pelo solo reforçado. Os métodos atualmente empregados para dimensionamento de muros de solo reforçado com geossintéticos são métodos de ancoragem. Nesta concepção, a zona reforçada é dividida em um trecho ativo, com tendência de mobilização de deslocamentos, e um trecho resistente onde as camadas de reforço são ancoradas. A resistência à tração necessária no reforço é determinada considerando um equilíbrio com o empuxo atuante (como Rankine, por exemplo) e o comprimento do reforço é dimensionando em função da resistência ao arrancamento deste na zona resistente. São exemplos de métodos de ancoragem Mitchell e Villet (1987), Jewell (1990), Ehrlich e Mitchell (1994), Allen e Bathurst (2003) e os métodos empregados pela AASTHO (Berg et al. 2009), FHWA (Elias et al. 2009) e pela norma britânica (BS 8006). Por estes métodos de ancoragem, a resistência à tração necessária para o reforço (T) é obtida em função da tensão horizontal atuante na camada do reforço, multiplicada pelo espaçamento vertical entre camadas:

$$T = \sigma_h S_V \quad (8)$$

Por esta metodologia há uma linearidade entre a resistência a tração do reforço e o espaçamento. Caso o espaçamento seja aumentado em 2x, basta elevar também em 2x a resistência do reforço. Este modelo estimula o uso de reforços de elevada resistência com grandes espaçamentos, situação que geralmente é preferida por executores.

No entanto, muitos estudos vêm mostrando que esta metodologia não é adequada. De acordo com diversas pesquisas (Adams 1997, Wu 2001, Vulova e Leshchinsky 2003, Elton e Patawaran 2005, Adams et al. 2007, Ziegler et al. 2008, Pham 2009, Wu et al. 2013 e Wu e Ooi 2015), o espaçamento entre as camadas de reforço desempenha um papel muito mais importante do que a resistência do reforço no desempenho geral da estrutura de solo reforçado, em termos de deslocamentos de face, recalques, carregamento no reforço, tensões na face e segurança.

Soong e Koerner (1997), Wu (2001), Wu (2007), Pham (2009), Wu et al. (2013) e Wu et al. (2015) sugerem que, para um adequado espaçamentos entre as camadas do reforço (pequenos valores), a tensão horizontal que efetivamente atua no reforço não é proporcional a altura do muro, mas sim constante ao longo de toda a elevação da estrutura e em função do próprio espaçamento vertical. Isso ocorre devido à restrição às deformações laterais que o reforço induz quando o espaçamento entre as camadas é menor. Ainda, devido a esta restrição das deformações laterais, as tensões que efetivamente chegam na face são de valores significativamente reduzidos se comparado com a teoria de Rankine.

Estes autores desenvolveram e sugeriram o uso de equações para determinação da tração no reforço que independem da altura do muro (função do espaçamento vertical).

Wu (2001) sugere que a tensão máxima em uma determinada camada seja obtida com base no diagrama apresentado na Figura 5.

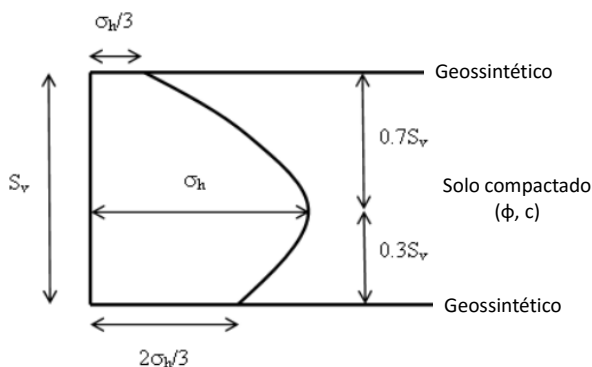


Figura 5. Diagrama de pressão na camada reforçada segundo Wu (2001).

Com isso, a tração requerida para a camada de solo reforçado fica definida pela área do diagrama de pressão como:

$$T = 0,72\sigma_h S_v \quad (9)$$

A abordagem de Soong e Koerner (1997), considera que a distribuição de tensões ao longo da altura da camada é linear (Figura 6). Dessa forma, Soong e Koerner (1997) definem a tensão requerida como sendo:

$$T = 0,5\gamma k_a S_v^2 \quad (10)$$

Os autores listados fizeram avaliação das equações com instrumentações em estruturas reais e por elementos finitos obtendo um bom ajuste dos resultados.

7 ESPAÇAMENTO VERTICAL ENTRE AS CAMADAS DO REFORÇO

Pelos métodos supracitados no item acima, haveria uma possibilidade de se compensar um maior espaçamento entre os reforços aumentando a sua resistência. Todavia, como citado, alguns estudos têm mostrado que o solo reforçado com geossintético não se comporta efetivamente pelo mecanismo de ancoragem, sendo que não há, na realidade, uma equivalência entre espaçamento vertical e resistência dos reforços, sendo preferível usar reforços de menor resistência mais próximos do que reforços de maior resistência mais espaçados.

Como exemplo, em ensaios de grande escala de amostras de solo reforçado com geossintéticos, Pham (2009) e Wu et al. (2013)

mostram que dobrar a resistência do reforço gera uma melhora apenas marginal na resistência do solo reforçado, enquanto reduzir pela metade o espaçamento entre camadas gera uma melhora de mais de 100% na resistência do compósito.

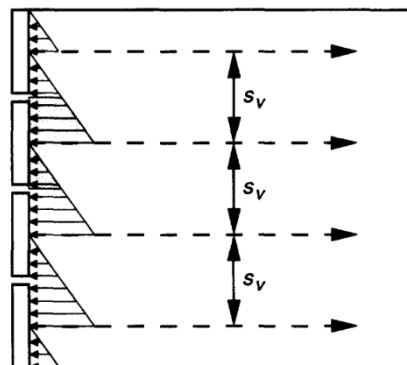


Figura 6. Distribuição de tensões segundo Soong e Koerner (1997).

Vulova e Leshchinsky (2003) estudaram o comportamento de muros de solo reforçado com diferentes espaçamentos entre as camadas de reforço. O estudo mostrou que que espaçamento entre camadas de reforços de até 40 cm faz com que o solo reforçado se comporte como um compósito de um material homogêneo. Para espaçamentos iguais ou inferiores a este, há a manutenção da estabilidade do muro, com o não surgimento de uma superfície de ruptura interna, sendo que o muro se comporta como uma massa única (semelhante ao concreto armado) resistindo às solicitações externas. Neste caso, quase não há mobilização de tração no reforço, a ancoragem com o sistema de faceamento é mais eficiente e se verificam reduzidos valores de deslocamento (e tensão) na face. Os autores observaram, inclusive, que as potenciais superfícies de ruptura global passam a interceptar a zona reforçada apenas para espaçamentos entre reforços superiores a 40cm.

8 FACEAMENTO

Wu (2001) e Wu e Ooi (2015) indicam que, para menores espaçamentos entre as camadas do reforço, a função primordial do faceamento em uma estrutura de solo reforçado com geossintéticos é apenas evitar a instabilização localizada do solo na face. De fato, quando o espaçamento vertical entre os reforços é

escolhido de forma adequada, o sistema de faceamento servirá apenas como fôrma, permitindo o lançamento e compactação das camadas de solo, e como acabamento estético da estrutura.

Ehrlich e Becker (2009) citam que a escolha do sistema de faceamento deve ser feita pelo projetista, considerando a melhor técnica no que se refere a custo, função mecânica, e necessidades estéticas da obra. Os autores indicam que muros envelopados, além de mais econômicos, são os que melhor toleram deslocamentos em função da baixa rigidez da face. Contudo, o sistema envelopado exige uma proteção definitiva contra degradação UV ou danos por vandalismo.

Blocos segmentais costuma pesar aproximadamente 35 kg/peça, quando preenchidos com brita. O padrão de dimensões dos blocos é algo em torno de 40 cm de largura, 20 cm de altura e 30 cm de profundidade. Assim, o peso da face é de cerca de 450 kg/m² de muro. Para muros com maiores alturas, o carregamento na fundação passa ser elevado. Em alguns casos esse carregamento passa a ser preponderante na escolha do tipo de faceamento ou na cota de apoio da fundação. Se a fundação do muro não for competente e/ou se as análises de deformação mostrarem a possibilidade de deslocamentos horizontais e recalques recomenda-se que o sistema de faceamento seja mais flexível, a fim de absorver estes deslocamentos evitando danos na face que podem evoluir para futuras instabilizações locais com o tempo.

Além do sistema de envelopamento (mais flexível) sugerido acima por Ehrlich e Becker (2009), podem ser empregados também cestas metálicas preenchidas com rachão, que apresentam grande capacidade de absorção de deslocamentos, tendo como vantagem em relação ao envelopado o fato de ser um sistema definitivo (dispensando a necessidade de proteção do sistema).

Outra opção como sistema de maior capacidade de absorção de deformações, e com manutenção da estética dos blocos, é o uso de painéis pré-moldados de concreto. Há opções de painéis empilhados, semelhante às escamas da terra armada, que necessitam de maior espessura e de armadura para resistir aos esforços verticais, e existem painéis que são

apoiados diretamente sobre o aterro reforçado, mais esbeltos e sem os problemas associados ao empilhamento.

Em análises de projetos de faceamento de estruturas de solo reforçado, deve-se avaliar os diferentes tipos de mecanismos nas interfaces solo-geossintético-face. Dentre os parâmetros relevantes destacam-se: (1) arrancamento da ancoragem do reforço embutida na junta entre os blocos; (2) rigidez da junta; (3) abaulamento da face entre as linhas de reforços.

9 CONCLUSÕES

O trabalho apresenta aspectos gerais sobre o uso de geossintéticos em muros e taludes reforçados. Aspectos de dimensionamento são discutidos ao longo do artigo com ênfase nos tipos de geossintéticos, tipos de faceamento, mecanismos de reforço e, principalmente, sob a visão existente na literatura sobre o efeito do espaçamento entre reforços. Embora haja uma vasta experiência sobre o uso de ferramentas tradicionais de análises de projeto que consideram a distribuição linear das tensões laterais ao longo da altura da estrutura, destaca-se que o efeito do espaçamento entre os reforços pode apresentar influência significativa na força de tração requerida do reforço. De certa forma, isso põe em questionamento as ferramentas de projeto atualmente utilizadas na prática, embora estas se apresentem como uma fonte de conservadorismo. Outro aspecto, é que a densidade de reforços geossintéticos em uma estrutura de solo reforçado têm um papel fundamental no controle da deformação global da estrutura, bem como na localização das deformações máximas o que pode alterar significativamente a geometria de projeto de uma estrutura.

Destaca-se, ainda, que o tipo de faceamento a ser adotado deve ser compatível com a geometria de projeto e deve ser analisada considerando as possíveis deformações laterais de face, uma vez que este pode gerar tensões adicionais nos reforços, bem como concentrações de tensões inesperadas. Todos os aspectos abordados estão diretamente associados ao tipo de reforço a ser adotado como solução. Deve-se compatibilizar o comportamento pós-construtivo de fluência, a

rigidez do reforço e resistência a tração do geossintético com a geometria da estrutura (espaçamento e tipo de faceamento) de forma a resultar em estruturas viáveis economicamente.

REFERÊNCIAS

- Adams, M.T. (1997). Performance of a Prestained Geosynthetic Reinforced Soil Bridge Pier. *International Symposium on Mechanically Stabilized Backfill*.
- Adams, M.T., Ketchart, K., e Wu, J.T.H. (2007). Mini Pier Experiments: Geosynthetic Reinforcement Spacing and Strength as Related to Performance. *Geo-Denver*.
- Allen, T.M., e Bathurst, R.J. (2003). *Prediction of Reinforcement Loads in Reinforced Soil Walls*. WA-RD 522.2.
- Avesani Neto, J. O. e Hayashida, E. M. (2015). Alternativa de faceamento para contenções em solo reforçado com geossintéticos composto por tela metálica e brita. *REGEO/Geossintéticos 2015*, Belo Horizonte/MG.
- 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. *Cobrae 2013*, Angra dos Reis/RJ.
- Berg, B.R. Christopher, B. N. Samtani (2009). *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Design and Construction Guidelines*. FHWA-NH1-09-083 and FHWA GEC011.
- Broms, B. (1977). Triaxial Tests with Fabric-Reinforced Soil. *International Conference on the Use of Fabric in Geotechnics*, Vol. 3, p. 129–134.
- BS 8006 (2010). *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills*. British Standard.
- Campos, M. V. W., Avesani Neto, J. O., Pereira, V. R. G., França, F. A. N. (2015). Associação de técnicas tradicionais e inovadoras de estabilização e reforço de maciço de solo. *Revista Fundações e Obras Geotécnicas*, v. 52, p. 50-55.
- Ehrlich, M., Becker, L. (2009). *Muros e taludes de solo reforçado: projeto e execução*. Oficina de Textos.
- Ehrlich, M., Mitchell, J.K. (1994). Working stress design method for reinforced soil walls. *J. Geotech. Eng.*, Vol. 120, p. 625-645
- Elias, V., Christopher, B.R., e Berg, R.R. (2001). *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes - Design and Construction Guidelines*. FHWA-NHI-00-043.
- Elton, D.J. e Patawaran, M.A.B. (2005). *Mechanically Stabilized Earth (MSE) Reinforcement Tensile Strength from Tests of Geotextile Reinforced Soil*, Report Alabama Highway Research Center.
- Jewell, R.A. (1990). Theory of reinforced walls: revised design charts for steep reinforced slopes. *Reinforced embankment theory and practice*, p. 1-30.
- Mitchell, J. K., Villet, W. C. B. (1987). *Reinforcement of Earth slopes and embankments*. NCHRP-190.
- Pham, T.Q. (2009), *Investigating Composite Behavior of Geosynthetic Reinforced Soil (GRS) Mass*. Tese de doutorado, University of Colorado.
- Portelinha F. H. M., Bueno B. S., Zornberg J. G. (2013). Performance of nonwoven geotextile-reinforced walls under wetting conditions: laboratory and field investigations. *Geosynthetics International*, Vol. 20, p. 90–104.
- Portelinha, F. H.M., Zornberg, J. G., Pimentel, V. (2014) Field performance of retaining walls reinforced with woven and nonwoven geotextiles. *Geosynthetics International*, Vol. 20, p. 90-104.
- Sayão A., Azambuja E., Ehrlich M., Gomes R. C. (2004). *Muros e taludes reforçados – Manual Brasileiro de Geossintéticos*. Ed. Blucher.
- Schlosser, F. e Long, N. T. (1974). Recent results in French research on reinforced earth. *Journal of Construction*, Vol. 100, p. 223-37.
- Schlosser, F. e Long, N.T. (1974). Recent Results in French Research on Reinforced Earth. *Journal of Construction Division*, Vol. 100, p. 223–237.
- Soong, T-Y., e Koerner, R.M. (1997) On the Required Connection Strength of Geosynthetically Reinforced Walls. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 15, p. 377–393.
- Vulova, C. e Leshchinsky, D. (2003). *Effect of Geosynthetic Reinforcement Spacing on the Performance of Mechanically Stabilized Earth Walls*. FHWA-RD-03-048.
- Wu, J. T. H., Ooi, P. S. K. (2015). *Synthesis of geosynthetic reinforced soil design topics*. FHWA-HRT-14-094.86.
- Wu, J. T. H., Pham, T. Q., e Adams, M. T. (2013). *Composite behavior of geosynthetic-reinforced soil (GRS) mass*. FHWA-HRT-10- 077.
- Wu, J.T.H. (2001). *Revising the AASHTO Guidelines for Design and Construction of GRS Walls*. CDOT-DTD-R-2001-6.
- Wu, J.T.H., (2007). Lateral Earth Pressure against the Facing of Segmental GRS Walls. *Geo-Denver*
- Yang, Z. (1972). *Strength and deformation characteristics of reinforced sand*. Tese de doutorado, University of California.
- Yang, Z. (1972). *Strength and Deformation Characteristics of Reinforced Sand*. Tese de doutorado, University of California.
- Ziegler, M., Heerten, G., e Ruiken. G. (2008). Progress in the Understanding of Geosynthetic/Soil Composite Material Behaviour in Geosynthetic Reinforced Earth Structures. *First Pan American Geosynthetics Conference and Exhibition*.