

Latossolo vermelho-amarelo reforçado com fibras de polipropileno de distribuição aleatória: estudo em laboratório

Tiago Pinto da Trindade

*Engenheiro Civil, Mestrando em Engenharia Civil, DEC/UFV, Viçosa-MG, Brasil
E-mail: tptrindade@vicosa.ufv.br*

Israel Iasbik

Engenheiro Civil, M.Sc., DEC/UFV, Viçosa-MG, Brasil

Dario Cardoso de Lima

Professor Titular, Ph.D., DEC/UFV, Viçosa-MG, Brasil

Cláudio Henrique Carvalho Silva

Professor Adjunto, Ph.D., DEC/UFV, Viçosa-MG, Brasil

Paulo Sérgio de Almeida Barbosa

Professor Assistente, M.Sc., DEC/UFV, Viçosa-MG, Brasil

Resumo

O objetivo desse trabalho foi caracterizar geotecnica-mente em laboratório o produto fibrossolo, com vistas a aplicações em obras de engenharia civil. Trabalhou-se com um tipo de solo, de textura argilosa, e pode-se quantificar, experimentalmente, via resultados de ensaios de compressão simples (na energia do ensaio de compactação Proctor Normal), o teor ótimo de fibra. Para esse teor ótimo, foram realizados ensaios triaxiais do tipo CID/Sat em corpos de prova compactados na mesma energia. Através desse trabalho foi possível: (i) avaliar a influência do teor de umidade nos parâmetros de resistência mecânica das misturas solo-fibra; (ii) avaliar a influência das fibras nos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo em estudo.

Palavras-chave: Reforço de solos, fibrossolo, fibras de polipropileno e resistência mecânica.

Abstract

This paper was directed to the laboratory geotechnical characterization of the material called fibersoil for civil engineering purposes. One soil was used throughout the study, encompassing a clayey soil. Unconfined compression testing data were used to determine the soil optimum fiber content. Fibersoil specimens prepared at the optimum fiber content were tested under triaxial compression (CID/Sat). From the laboratory testing program data it was possible: (i) to evaluate the influence of the water content on the mechanical response of the fibersoils; (ii) to evaluate the influence of the fibers on the soil shear strength parameters.

Keywords: Soil reinforcement, fibersoil, polypropylene fiber and mechanics strength.

1. Introdução

1.1 Considerações Iniciais

Data de tempos remotos a preocupação de se promoverem melhorias nas condições dos solos naturais, a fim de que os mesmos possam ser utilizados em algumas obras de engenharia, cuja aplicação sem prévio tratamento tornaria-se inviável.

Registros superficiais do uso de fibras naturais para aumentar a capacidade de carga de fundações rasas e a estabilidade de maciços compactados, pelos antigos, são mencionados por Kerisel (1985) e Yamamuchi (1993). Uma das técnicas de reforço já aplicada há bastante tempo é a inclusão de fibras ao maciço de solo. Existem relatos da aplicação de fibras de juta, piaçava e sisal, entre outras, em obras de engenharia. O inconveniente maior dessas fibras naturais é sua fácil deterioração no tempo. Com o advento do grande avanço das indústrias químicas, materiais sintéticos passaram a ter prioridade de aplicação, haja vista a maior facilidade de obtenção em larga escala e a elevada resistência a agentes externos.

A redescoberta da fibra como elemento de reforço de maciços compactados está certamente associada à prática já consagrada de reforço de solos com inclusões direcionais (fitas, barras, mantas e grelhas) (Bueno, 1996) e à tradição na Geotecnia em executar correção granulométrica por misturas de dois ou mais solos (Souto Silveira & Silveira, 1964) ou de serviços de estabilização química de solos (Silva, 1968; Bueno et al., 1994 e Lima et al., 1996).

Nesse contexto, vem-se observando nas últimas duas décadas um crescente número de relatos sobre a utilização de fibras de aço, vidro, borracha e de plástico em pesquisas de laboratório, na área geotécnica. A grande maioria destes trabalhos atesta ganhos de resistência e confirmam a ação das fibras como meio de aumentar a ductilidade dos solos. Relatos de trabalhos de campo são mais escassos, mas, de modo similar, comprovam a facilidade de execução e

de compactação e o bom desempenho do solo reforçado com a inclusão de fibras (Austin et al., 1993).

A inclusão aleatória de fibras curtas de polipropileno aos solos gera um compósito bastante atraente sob a ótica da engenharia geotécnica, o qual foi citado como fibrossolo por Teixeira et al. (1994). Esse termo será, também, adotado no presente trabalho. Solos reforçados dessa forma têm apresentado mudanças em determinados parâmetros de engenharia, que os tornam aptos a serem utilizados em obras para as quais, à priori, não estariam credenciados tecnicamente, como se depreende dos trabalhos de Gray e Ohashi (1983), Gray e Al-Refaei (1986), Maher e Ho (1994), Lima et al. (1996), Michalowski e Zhao (1996), Bueno et al. (1997), Consoli et al. (1998), Caproni Júnior et al. (1999) e Casagrande e Consoli (2002). No entanto, só recentemente as bases tecnológicas do fibrossolo vêm sendo paulatinamente estabelecidas, mesmo em nível internacional (Bueno et al., 1997).

Por ser recente seu emprego, o fibrossolo não tem sua dosagem predefinida, sendo necessário, pois, que, para cada tipo de solo a ser utilizado, determine-se, em laboratório, qual será o teor ótimo de fibras, bem como o comprimento das mesmas.

Como as fibras aumentam a resistência à tração e melhoram outras propriedades de engenharia do solo, faz-se promissora a aplicação do fibrossolo como material utilizado na construção de terraplenos, além de várias outras obras de engenharia.

1.2 Objetivo

O objetivo geral desse estudo foi caracterizar geotecnicaamente misturas de um solo com fibras de polipropileno de distribuição aleatória, com vistas a aplicações em obras de engenharia civil. O trabalho foi conduzido com um latossolo vermelho-amarelo de textura argilo-arenoso-siltoso, de grande ocorrência em extensão e volume na sudeste brasileiro,

com a finalidade de: (i) quantificar, experimentalmente em laboratório, o teor ótimo de fibra para o solo estudado, com emprego dos resultados de ensaios de compressão simples realizados em corpos de prova moldados nos teores ótimos de umidade do ensaio de compactação Proctor Normal. Nesse caso, adotaram-se, como ponto de partida, para a análise, os teores de fibras de 0,25%, 0,50% e 0,75%; (ii) avaliar a influência do teor de umidade na resistência à compressão simples do solo no estado natural e quando estabilizado com o teor ótimo de fibra. Nesse caso, realizaram-se ensaios de compressão simples em corpos de prova compactados nas energias do ensaio de compactação Proctor Normal, considerando-se os teores de umidade $W_{ot} - 2\%$, W_{ot} e $W_{ot} + 2\%$; (iii) avaliar a influência das fibras nos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo em estudo, através da realização de ensaios triaxiais consolidados drenados em corpos de prova compactados na energia do ensaio de compactação Proctor Normal, considerando o teor ótimo de umidade e de fibra determinados previamente nos ensaios de compressão simples.

2. Programa experimental

2.1 Materiais utilizados

A amostra de solo empregada nos ensaios de laboratório foi obtida de uma ocorrência abundante na Zona da Mata Norte de Minas Gerais, na cidade de Viçosa, oriunda de um latossolo vermelho-amarelo de textura argilo-arenoso-siltoso, com 43% de argila, 38% de areia e 19% de silte. A amostra foi coletada no Campus da Universidade Federal de Viçosa e aqui, nesse trabalho, é simplesmente denominada “solo argiloso”.

O reforço do solo argiloso foi viabilizado via o emprego de fibras de polipropileno de distribuição aleatória, com comprimentos de 10, 15, 20 e 30 mm, largura de 1,2 mm e espessura de 0,016 mm (massa linear de 0,1168 g/m).

A amostra de solo, no estado natural e quando estabilizada com fibras, foi caracterizada geotecnicamente via ensaios de compactação, compressão simples e triaxiais.

2.2 Preparação de amostras e programa de ensaios

Foram realizados ensaios na amostra do solo argiloso no estado natural e quando estabilizado com fibras, englobando os ensaios geotécnicos de laboratório descritos a seguir, itens 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3 e 2.2.4

2.2.1 Ensaios de compactação

Os ensaios de compactação foram realizados segundo o método normalizado pela ABNT, por meio da MB-33, para fins de determinação dos teores ótimos de umidade para o solo argiloso no estado natural e quando estabilizado, usando-se fibras de comprimento de 10, 15, 20 e 30 mm. Trabalhou-se com os percentuais, em relação à massa seca de solo, de 0,25%, 0,50% e 0,75%. A energia de compactação adotada nesse trabalho foi a do ensaio Proctor Normal.

2.2.2 Moldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova foram moldados na energia anteriormente citada para a realização dos ensaios de compressão simples e triaxiais. Os corpos de prova foram compactados por processo dinâmico em três camadas iguais, considerando-se os seguintes limites fixados em sua preparação: dimensões: $10 \pm 0,05 \times 5$ cm; teor de umidade: teor de umidade desejado $W_i \pm 0,3\%$; grau de compactação: $100 \pm 0,3\%$.

2.2.3 Ensaios de compressão simples

Os ensaios de compressão simples foram realizados segundo a metodologia proposta por Head (1982), para fins de determinação do teor ótimo de fibra, considerando-se a energia de compactação do ensaio Proctor Normal e fibras

com comprimento de 10, 15, 20 e 30 mm, empregadas nos teores de 0,25%, 0,50% e 0,75%.

Foram realizados também ensaios de compressão simples, em corpos de prova moldados nos teores de umidade de moldagem $W_{ot} - 2\%$, W_{ot} e $W_{ot} + 2\%$, com o solo argiloso no estado natural e com a mistura otimizada de fibrossolo, obtida a partir dos ensaios descritos no parágrafo anterior.

Para cada ensaio, romperam-se três corpos de prova (três repetições para cada ensaio) e foram obtidos os valores médios da tensão de ruptura, ou seja, da resistência à compressão simples.

2.2.4 Ensaios triaxiais consolidados drenados

Os ensaios de compressão triaxial realizados foram do tipo CID/Sat, também realizados de acordo com a metodologia descrita por Head (1982), ou seja, o ensaio triaxial foi realizado com corpos de prova os quais foram previamente saturados e, em seguida, submetidos a um adensamento, para então dar-se início ao ensaio, onde se permitiu a drenagem da água presente no corpo de prova. Esses ensaios foram realizados com amostras do solo argiloso no estado natural e da mistura otimizada de fibrossolo, considerando-se os teores ótimos de umidade de moldagem obtidos por meio dos ensaios de compactação na energia do Proctor Normal.

Para definição de cada envoltória de máximos, romperam-se três corpos de prova submetidos, respectivamente, às seguintes tensões de confinamento (σ_3): 50, 100 e 200 kPa. A partir da definição das envoltórias de máximos, foi possível obter os valores do ângulo de atrito interno e da coesão de intercepto para os materiais analisados.

3. Resultados

3.1 Resultado dos ensaios de compactação

O comprimento das fibras mostrou-

se um fator preponderante nos resultados dos ensaios de compactação, bem como homogeneidade e teor de umidade da mistura. Quando se trabalhou, por exemplo, com fios longos, tornou-se difícil a compactação do composto, uma vez que ele tornou-se quebradiço, formando planos preferenciais de ruptura. Esse fenômeno, conhecido por laminação, mostrou-se mais freqüente à medida que se aumentava o teor e comprimento das fibras. Foi, também, possível observar que as fibras tenderam a se posicionarem em planos preferencialmente horizontais, absorvendo parte da energia despendida no processo de compactação, dando ao material um comportamento resiliente.

No presente estudo, trabalhou-se com a inclusão de fibras de polipropileno de 10, 15, 20 e 30 mm de comprimento, nos percentuais de 0,25%, 0,50% e 0,75% em relação ao peso do solo seco, não se notando variações significativas no peso específico seco máximo e nos teores ótimos de umidade das misturas em comparação com o solo argiloso no estado natural.

Os resultados dos ensaios de compactação forneceram um teor ótimo de umidade de 31,40% e um peso específico seco máximo de $14,06 \text{ kN/m}^3$ para o solo argiloso. Devido à pequena variação nos valores dos pesos específicos secos máximos e dos teores ótimos de umidade das misturas em comparação com o solo argiloso no estado natural, adotaram-se, para as misturas de fibrossolo, os mesmos parâmetros de compactação definidos para o solo argiloso no estado natural.

3.2 Resultado dos ensaios de compressão simples

A Figura 1 elucida os resultados dos ensaios de compressão simples, realizados com o intuito de se determinarem o comprimento e o teor ótimo de fibra para o solo pesquisado e avaliar a influência do teor de umidade na resistência à compressão simples do solo argiloso no estado natural e da mistura ótima do fibrossolo.

3.3 Resultado dos ensaios triaxiais consolidados drenados

Na Figura 2, estão ilustrados os resultados dos ensaios triaxiais consolidados drenados e as envoltórias de máximos do solo argiloso e da mistura de fibrossolo preparada com 0,25% de fibras de 20 mm de comprimento, considerando-se o teor de umidade ótimo de moldagem definido nos ensaios de compactação realizados na energia do Proctor Normal.

4. Discussões

Os resultados apresentados na Figura 1a indicam que a máxima resistência à compressão simples não foi observada para o teor máximo de fibra utilizado, mas, sim, para a combinação de 0,25% de fibras de comprimento 20 mm. Para essa combinação ótima, as fibras promoveram um ganho de resistência à compressão simples em torno de 110%.

O teor de umidade mostrou-se um fator de grande importância para definição da resposta mecânica das misturas solo-fibra, o que pode ser visualizado na Figura 1b. Os resultados dos ensaios de compressão simples realizados com a mistura de fibrossolo preparada com 0,25% de fibras de 20 mm de comprimento e com o solo argiloso, considerando-se os teores de umidade $W_{ot} - 2\%$, W_{ot} e $W_{ot} + 2\%$, indicaram um máximo de resistência associado ao teor ótimo de umidade, para o fibrossolo, em contrapartida, um máximo relacionado ao ramo seco, para o solo argiloso.

Os dados apresentados nas Figuras 2a a 2d demonstram, claramente, que o fibrossolo apresenta um aumento da tensão de pico e tendência de redução da queda de tensão pós-pico em relação ao solo no estado natural, em concordância com observações de Bueno et al., (1997).

Observa-se, também, nas envoltórias de resistência ao cisalhamento apresentadas na Figura 2, que a inclusão de fibras promoveu um ganho na resistência ao cisalhamento do solo argiloso,

predominantemente no parâmetro coesão de intercepto. Essa figura, que apresenta uma comparação da resposta mecânica em termos de resistência ao cisalhamento do solo argiloso e do fibrossolo, mostra que o parâmetro ângulo de atrito ficou praticamente inalterado, mas que o parâmetro coesão de intercepto apresentou aumento de aproximadamente 70%.

Com base nos dados apresentados nesse trabalho, notou-se que a adição de fibras de polipropileno de distribuição aleatória foi responsável por um incremento na resistência mecânica (resistência à compressão simples e resistência ao cisalhamento) do solo argiloso, transformando-o em um produto de melhor qualificação técnica para aplicação em obras de engenharia civil.

5. Conclusões

Diversos são os fatores que interferem no comportamento do fibrossolo, a saber, compactação, teor de fibra, teor de umidade, comprimento e diâmetro das fibras, entre outros. A partir dos resultados obtidos nesse estudo foi possível estabelecer as seguintes conclusões: (i)

quando se trabalhou com fios longos, a compactação do compósito foi dificultada, uma vez que ele se tornou um material muito resiliente e quebradiço, formando planos preferenciais de ruptura; (ii) a adição de fibras transformou o solo em estudo em um material de menor rigidez que o solo em seu estado natural; (iii) o teor de umidade foi um fator que exerceu considerável influência na resistência mecânica do solo e do fibrossolo; e (iv) a inclusão das fibras aleatoriamente ao solo promoveu um aumento de aproximadamente 70% na resistência ao cisalhamento do mesmo.

6. Agradecimentos

Os autores desejam expressar os seus agradecimentos à Universidade Federal de Viçosa, onde foi realizado o presente trabalho e ao CNPq e FAPEMIG, pela concessão de bolsas ao primeiro e segundo autores desse artigo, respectivamente. Agradecimentos são também extensivos à empresa ORPEC - Indústria e Comércio Ltda., sediada na cidade de Curitiba, Paraná, por ter fornecido as fibras nas dimensões adotadas no presente estudo, na forma de laminetes.

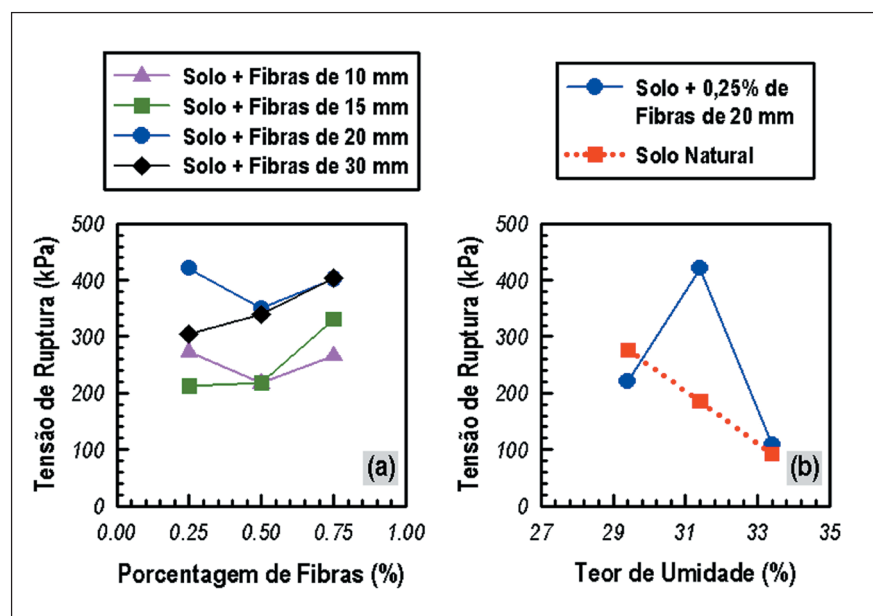


Figura 1 - Resultados dos ensaios de compressão simples: (a) relação entre tensão de ruptura média e porcentagem das fibras usadas; (b) relação entre a resistência à compressão simples e o teor de umidade para o solo argiloso e para a mistura ótima do fibrossolo.

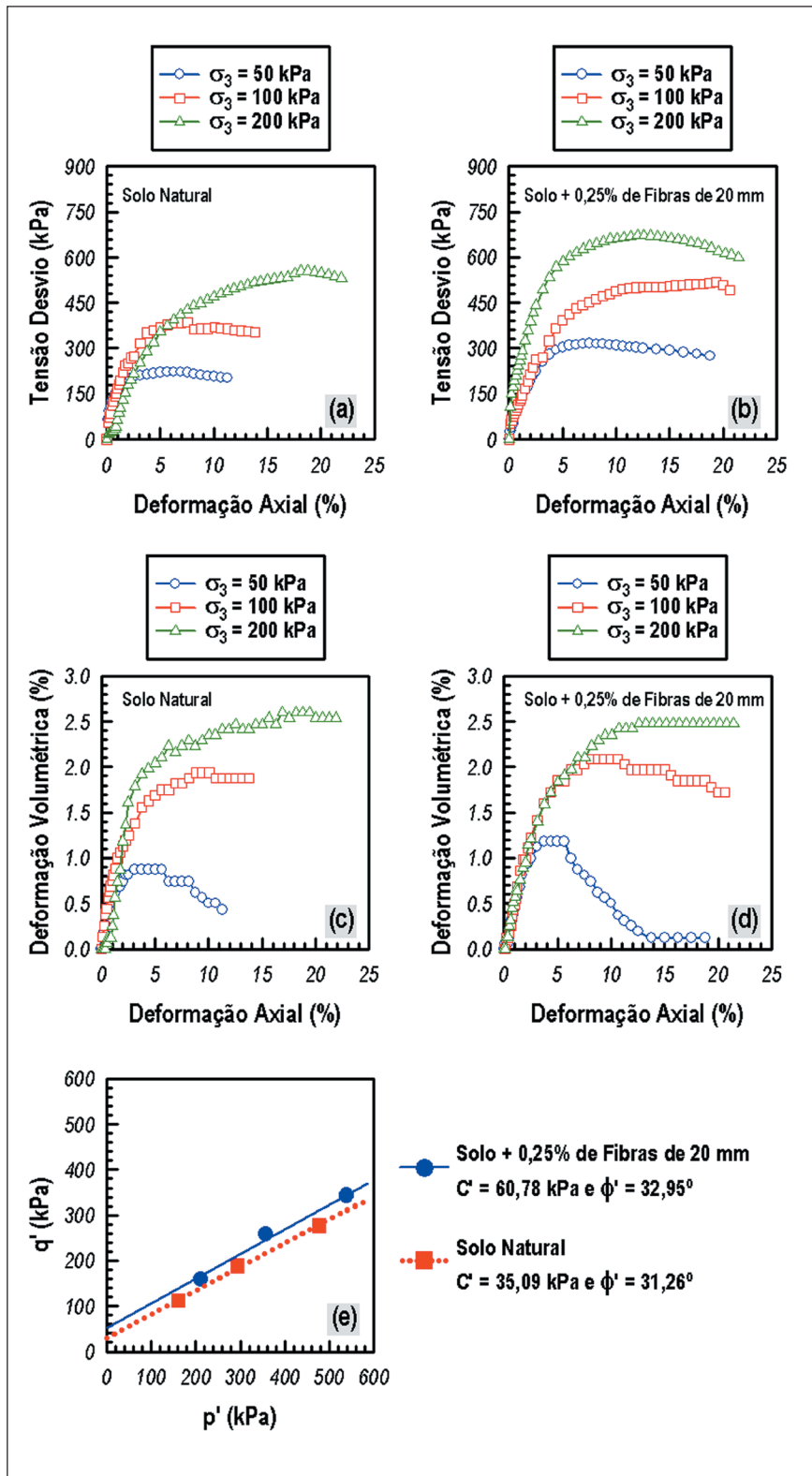


Figura 2 - Resultados dos ensaios triaxiais: (a) tensão desvio “versus” deformação axial para o solo argiloso; (b) tensão desvio “versus” deformação axial para a mistura ótima do fibrossolo; (c) deformação volumétrica “versus” deformação axial para o solo argiloso; (d) deformação volumétrica “versus” deformação axial para a mistura ótima do fibrossolo; (e) envoltórias de máximos do solo argiloso e da mistura ótima do fibrossolo.

7. Referências bibliográficas

- AUSTIN, D.N., SHRADER, S.L., CHILL, D.S. Soil Stabilization with Discrete Fibrillated Polypropylene Fibers. *Geotechnical Fabrics Report*, p. 4-10, 1993.
- BUENO, B.S. *Aspectos de estabilização de solos com uso de aditivos químicos e de inclusões plásticas aleatórias*. Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1996. 99p. (Texto Sistematizado de Livre Docência).
- BUENO, B.S., LIMA, D.C., MACHADO, C.C. *Estudo de dosagens de misturas solo-cal, cimento, DS-328 e Fibras*. Viçosa: Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, 1994. 68p. (Relatório Técnico LMS-01/94).
- BUENO, B.S., LIMA, D.C., TEIXEIRA, S.H.C., MINETTE, E. The mechanical response of reinforced soils using short randomly distributed plastic strips. In: RECENTS DEVELOPMENTS IN SOIL AND PAVEMENT MECHANICS, *Proceedings...*, COPPE, 25-27 June, A.A. Balkema, Rotterdam Geotechnical Engineering, p. 401-408, 1997.
- CASAGRANDE, M.D.T., CONSOLI, N.C. Estudo do comportamento de um solo residual areno-siltoso reforçado com fibras de polipropileno. *Solos e Rochas: Revista Latino-Americana de Geotecnia*, São Paulo, v. 25, n.3, p. 223-230, 2002.
- CAPRONI JUNIOR, N., PALOCCI, A., BUENO, B.S. Estudo de solo-cimento reforçado com fibras de polipropileno. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO DE GEOSINTÉTICOS, 1. *Anais...*, Rio de Janeiro, 19-22 de Outubro, p. 183-188, 1999.
- CONSOLI, N.C., PRIETTO, P.D.M., ULBRICH, L.A. Influence of fiber and cement addition on behavior of sandy soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, v. 124, n. 12, p. 1211-1217, 1998.
- GRAY, D.H., AL-REFEAI, T. Behavior of fabric versus fiber-reinforced sand. *Journal of Geotechnical and Geotechnical Engineering*, ASCE, v. 112, n. 8, p. 804-820, 1986.
- GRAY, D.H., OHASHI, H. Mechanics of fiber reinforcement in sand. *Journal of Geotechnical and Geotechnical Engineering*, ASCE, v. 109, n.3, p.335-353, 1983.

- HEAD, K.H. *Manual of soil laboratory testing*. John Wiley & Sons, 1982. v. 2, 412 p.
- KERISEL, J. *The history of geotechnical engineering up until 1700*. Golden Jubilee Book on History of Geomechanics, 50th Anniversary of ISSMFE, San Francisco, p. 11-62, 1985.
- LIMA, D.C., BUENO, B.S., THOMASI, L. The mechanical response of soil-lime mixtures reinforced with short synthetic fibers. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL GETECHNOLOGY, 3. *Proceedings...*, 10-12 de June, San Diego, California, p. 868-877, 1996.
- MAHER, M.H., HO, Y.C. Mechanical properties of kaolinite/fiber soil composite. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, v. 120, n. 8, p. 1381-1393, 1994.
- MICHALOWSKI, R.L., ZHAO, A. Failure of fiber-reinforced granular soils. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, v. 122, n.3, p. 226-234, 1996.
- SILVA, D.P. *Estudo do comportamento reológico de solos estabilizados com cimento: processos gerais de estabilização*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1968. 343p. (Relatório Final, Processo 52/8/3048).
- SOUTO SILVEIRA, E.B., SILVEIRA, A. *Notas sobre a dosagem dos componentes na estabilização granulométrica*. São Carlos-SP: Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 1964. 16p. (Publicação n. 102).
- TEIXEIRA, S.H.C. Estudo do comportamento de solos reforçados com fibras. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL, 1. *Anais...*, Juiz de Fora-MG: UFJF, p. 54-64, 1994.
- YAMAMUCHI, T. Historical review of geotextiles for reinforcement of earth works in Asia. In: OCHIAI, H., OTANI. (Ed.). *Earth Reinforcement Practice*, Rotterdam, 1993. p. 737-751.

Artigo recebido em 05/01/2003 e
aprovado em 18/03/2004.

Descubra as muitas informações da: **Geologia, Mineração, Metalurgia & Materiais e Engenharia Civil.**



Assine e publique na Rem

Fone/Fax: (31) 3551- 4730 - E-mail: editor@rem.com.br