

Avaliação do Uso de Fibras de Garrafas PET como Reforço de Solos Compactados

Talita Gantus de Oliveira

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, tgantus@gmail.com

Eleonardo Lucas Pereira

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, eleonardopereira@gmail.com

Guilherme da Cruz Mendes

Instituto Geotécnico, Ouro Preto, Brasil, guilherme-cruzmenes@hotmail.com

Andyara Pinto Duarte

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, andyaraduarte@hotmail.com

Carolina Coelho Soares

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, carolina.coelhosoares@gmail.com

RESUMO: Atualmente, com o crescimento acelerado em obras de infraestrutura e o aumento das atividades industriais para atender a demanda de consumo, fazem-se necessárias a criação e a utilização de medidas sustentáveis para minimizar os impactos no meio ambiente. No que tange às técnicas que atendem a esses quesitos, e trazendo-as para o contexto da geotecnia, é possível analisar métodos alternativos associados à sustentabilidade para sua abordagem em obras civis geotécnicas. No âmbito da estabilização de solos, por exemplo, a utilização de materiais alternativos ainda é muito incipiente. Entretanto, mesmo sendo poucos os estudos no que diz respeito ao aproveitamento de materiais para essa finalidade, o uso de estruturas de solo reforçado tem crescido consideravelmente na última década. Visto isso, alguns estudos foram realizados fazendo uso, como reforço, de geossintéticos e de materiais de descarte visando melhorias no desempenho das estradas e no prolongamento de sua vida útil. No intuito de ampliar a área de conhecimento em referência ao aproveitamento de materiais para reforço de solos compactados, o presente trabalho teve como objetivo um estudo simplificado do comportamento de solo reforçado com fibras de garrafas PET para a pavimentação de estradas, simulado por meio de ensaios laboratoriais de compactação e de resistência à penetração, atentando-se, também, para a redução do impacto ambiental causado pelo descarte dessas garrafas, visto que seu tempo de decomposição no meio ambiente é longo. Da conjugação dos fatores supracitados e tendo em vista a importância do desenvolvimento de posturas que contemplem a preservação dos recursos naturais e a utilização de medidas sustentáveis, surge uma interessante perspectiva para a utilização de materiais alternativos para aterro em obras. Tem-se, com isso, a conciliação de sustentabilidade e de soluções geotécnicas. A fim de se atingir os objetivos apresentados, foi proposto um programa de investigação em laboratório em uma amostra composta pela mistura de fibras e um solo laterítico. Foram realizados ensaios de caracterização, compactação e Índice de Suporte Califórnia (ISC). Os resultados obtidos mostraram a influência das fibras de garrafas PET no aumento da resistência à penetração do solo.

PALAVRAS CHAVE: PET, Sustentabilidade, Solos compactados, Fibras.

1 INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais remotos, o solo é, sem dúvida, o material mais utilizado pelo homem em suas construções. Desde a antiguidade, ele tem empregado a técnica de reforço de solos com a inclusão de diversos tipos de materiais, como raízes de árvores, telas de bambu, fibras de coco, etc. Estes materiais atuam na correção das suas características de resistência, com a função de elementos de reforço (Benjamin, 2006).

Com o passar do tempo, o desenvolvimento da indústria de materiais poliméricos, verificado nas últimas décadas, veio contribuir com sua utilização como matéria-prima na fabricação de elementos de reforço, os chamados geossintéticos. Entretanto, apesar das vantagens relacionadas à utilização de geossintéticos, a maioria das estruturas de contenção em nosso país ainda é executada por meio de soluções convencionais. A ausência de um conhecimento mais profundo sobre o real comportamento de estruturas em solo reforçado, principalmente em termos de deslocamentos, certamente impede uma utilização mais intensa dessas estruturas no Brasil (Benjamin, 2006).

À vista disso, destacam-se alguns estudos que foram realizados fazendo uso, como reforço, de geossintéticos e de materiais de descarte – como resíduos de construção e demolição (Santos, 2011) e fios de cabelo (Aguiar *et al.*, 2009) – visando melhorias no desempenho das estradas e no prolongamento de sua vida útil.

No que tange às técnicas que atendem a esses quesitos, e trazendo-as para um contexto sustentável, é possível associar geotecnia analítica e experimental à geotecnia ambiental, estudando e analisando métodos alternativos para sua abordagem em obras civis geotécnicas. Com o crescimento acelerado em obras de infraestrutura e o aumento das atividades industriais para atender a demanda de consumo, fazem-se necessárias a criação e a utilização de medidas sustentáveis para minimizar impactos no meio ambiente.

Sendo poucos os estudos acerca da influência das propriedades mais relevantes no comportamento de materiais aplicados ao solo,

devem ser realizadas mais investigações sobre esse tema no intuito de ampliar a área de conhecimento em referência ao aproveitamento de materiais recicláveis para reforço de solos compactados. Visto isso, o presente trabalho teve como objetivo a análise simplificada do comportamento de solo reforçado com fibras de garrafas PET para solos compactados. Para isso, foi proposto um programa de investigação laboratorial com a simulação do comportamento do aterro, por meio de ensaios de caracterização, de compactação e de resistência à penetração em uma amostra composta pela mistura das fibras e de um solo laterítico.

Segundo Reschetti (2008), a utilização de fibras como material de reforço em pavimento também já foi estudada. Fletcher e Humphries (1991) analisaram a adição de fibras de polipropileno em um solo siltoso utilizando os ensaios de ISC e de compactação e afirmaram que existe um teor ótimo de fibra que aumenta o valor do ISC. Specht (2000), estudando um solo reforçado com a mesma fibra, concluiu que a influência da inclusão aleatória depende das características da fibra. Gray e Ohashi (1983) reforçaram um solo não coesivo e concluíram que seu reforço aumentou significativamente a resistência ao cisalhamento de pico no ensaio de cisalhamento direto.

Da conjugação dos fatores supracitados, e tendo em vista a importância do desenvolvimento de posturas que contemplem a preservação dos recursos naturais e a tomada de medidas sustentáveis, surge uma interessante perspectiva para a utilização de materiais alternativos para reforço em obras de aterro.

2 METODOLOGIA

A adoção dos materiais e dos métodos foi pautada a fim de se atingir o objetivo proposto para este trabalho, que consiste na análise geotécnica estimando o aumento da resistência do solo a partir da aplicação do reforço, ou seja, uma análise simples e comparativa para duas situações.

A princípio, foram realizados ensaios de caracterização do solo em questão, os quais determinaram diversos parâmetros, tais como:

classificação granulométrica, massa específica dos grãos e limites de consistência. É importante salientar que todos os ensaios seguiram os procedimentos preconizados por normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), tais como: NBR 7181 (ABNT, 1984), NBR 6459 (ABNT, 1984) e NBR 7180 (ABNT, 1984).

Em seguida, foram realizados ensaios de compactação e ISC para o solo sem reforço. Utilizou-se como referência as normas técnicas NBR 7182 (ABNT, 1988) e NBR 9895 (ABNT, 1987), respectivamente. Estes dois últimos também foram realizados para o solo com a adição das fibras.

Para a execução dos ensaios comparatórios, as fibras de garrafas PET foram confeccionadas manualmente para reduzi-las ao tamanho desejado para os estudos: formato retangular com, aproximadamente, 7 cm de comprimento e 1 mm de largura (Figura 1).



Figura 1. Representação do tamanho das fibras utilizadas.

Essa dimensão foi proposta de modo que as fibras pudessem ser facilmente homogeneizadas no solo e acomodadas no molde do corpo de prova do ensaio de ISC. Salienta-se que o tamanho aproximado das fibras foi proposto, anteriormente, por Reschetti (2008); entretanto, sendo utilizada, como material de estudo, fibra de vidro na forma de feixes.

O material componente da fibra é o Polietileno Tereftalato, ou PET, um polímero termoplástico cujas principais aplicações são: fibras têxteis, embalagens processadas por injeção-sopro, filmes bi orientados e polímeros de engenharia. O sucesso deste material deve-se à sua excelente relação entre as propriedades mecânicas, térmicas e o custo de produção (Romão *et al.*, 2009).

Cabe destacar que as fibras foram dispostas de forma aleatória na mistura, como pode ser observado na Figura 2, na proporção de 5 kg de solo para 20 g de fibras, o equivalente a 0,40%, em massa, de fibras. Para este estudo inicial, utilizou-se somente esta dimensão e uma única proporção.



Figura 2. Solo utilizado no estudo com a adição das fibras de garrafas PET.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise dos Resultados de Caracterização do Solo

As características geotécnicas de interesse são apresentadas abaixo, na Tabela 1. Os resultados mostraram que, de maneira geral, trata-se de um material no qual os valores obtidos nos ensaios se mantiveram dentro de uma faixa esperada para o tipo de solo em estudo – solo laterítico – como proposto na literatura técnica (Pinto, 2006 e Sória, 1986).

Tabela 1. Resumo das características geotécnicas do solo.

Parâmetro	Unidade	Valor
Teor de umidade natural (w)	%	20,4
Limite de plasticidade (LP)	%	28,0
Limite de liquidez (LL)	%	38,5
Índice de plasticidade (IP)	%	10,5
Índice de atividade (Ia)	-	0,27
Índice de consistência (IC)	-	1,40
Massa específica dos grãos (ps)	(kN/m ³)	28,9

De acordo com as características geotécnicas, o solo foi classificado como argila siltosa com pedregulhos de cor marrom avermelhada, de baixa compressibilidade e de

baixa atividade, medianamente plástico e duro, segundo seu índice de consistência. E, segundo o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), como ML-CL; e o Sistema de Classificação Rodoviária (HRB), como A-4 (6).

3.1 Análise e Comparação dos Resultados dos Ensaios sob a Influência das Fibras

Tendo em vista os resultados gerados pelo ensaio de compactação, a Tabela 2 apresenta as umidades ótimas e as massas específicas secas máximas para o solo nas duas condições: sem e com a adição das fibras, respectivamente.

Tabela 2. Parâmetros do ensaio de compactação.

Parâmetro	Unidade	Sem fibra	Com fibra
Umidade ótima (w_{ot})	%	24,5	23,9
Massa específica seca máxima (ρ_{dmax})	(kN/m^3)	16,3	15,7

Nota-se que após a adição das fibras tanto a umidade ótima quanto a massa específica seca máxima diminuíram. Esse fato pode ser explicado pela influência exercida por elas, pois, ao serem homogeneizadas no material, ocupam os vazios que seriam preenchidos pelos grãos de solo na compactação. Por serem mais leves que as partículas do solo, a massa específica seca máxima, que sofre influência do peso do solo + água + fibras, diminui; o que ocorre de maneira análoga com a umidade ótima. A representação gráfica do resultado encontra-se na Figura 3.

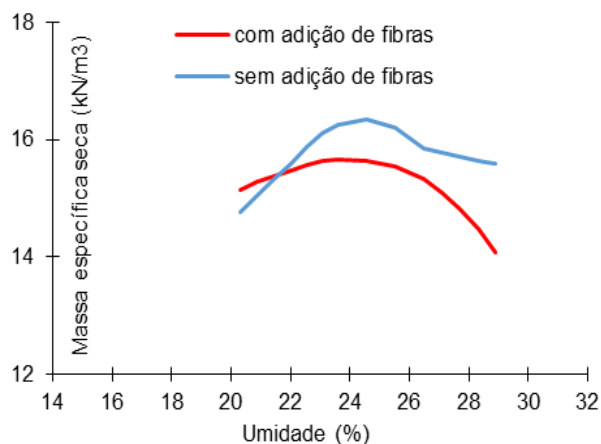


Figura 3. Curvas de compactação.

Objetivando a realização do ensaio de ISC, após a compactação, os corpos de prova foram

imersos nas umidades específicas, apresentadas na Tabela 3, para posterior penetração.

Tabela 3. Umidades de compactação utilizadas no ensaio de ISC.

Pontos	Umidade (%)
1º	20,3
2º	22,0
3º	23,6
4º	26,5
5º	28,3

Salienta-se que a resistência à penetração considerada é uma medida de resistência do material, fundamental para calcular sua estabilidade no pavimento. O ensaio de ISC é hoje um dos mais utilizados e aceitos no dimensionamento de pavimentos flexíveis. Por isso, é um ensaio adotado por uma grande parcela dos órgãos rodoviários, em geral.

O ensaio de penetração, feito após quatro dias de imersão do corpo de prova, simula a pior condição possível. O resultado foi dado pelo gráfico de correção do ISC, plotado na curva “pressão versus penetração”. As Figuras 4, 5, 6, 7 e 8 representam as curvas para os pontos descritos na Tabela 3. Em cada gráfico foi feita uma comparação para o comportamento do material sem e com a aplicação das fibras.

Analisando-se os gráficos, de maneira geral, observa-se que a pressão exercida durante a penetração foi maior para o solo com o reforço, com exceção dos pontos situados no ramo úmido. Nesse caso as fibras apresentaram efeito contrário, provavelmente justificado pela lubrificação dos grãos e estrutura dispersa. Desse modo, afirma-se que as fibras representaram um ganho de resistência para o solo quando compactado no ramo seco e na umidade ótima.

As Tabelas 4 e 5 apresentam os resultados dos Índices de Suporte Califórnia (ISC) obtidos para os dois valores de pressão padrão – 6,90 e 10,35 MPa. As pressões padrões têm valores correspondentes às penetrações de 2,54 e 5,08 mm, respectivamente, e encontram-se representadas, para os pontos de 1 a 5, nas Figuras 4 a 8. As representações gráficas das referidas tabelas encontram-se nas Figuras 9 e 10.

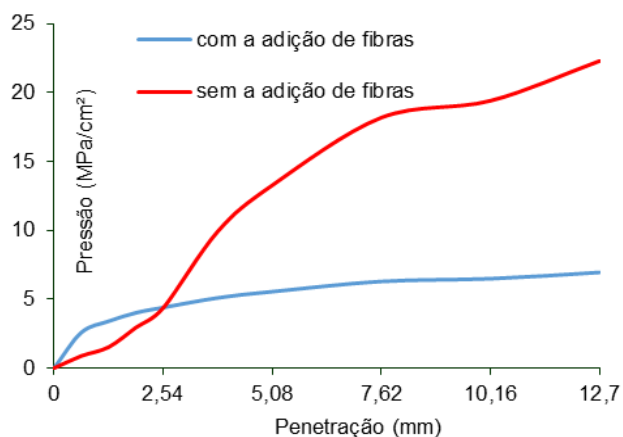


Figura 4. Gráficos de correção do ISC para o 1º ponto, de umidade 20,3%.

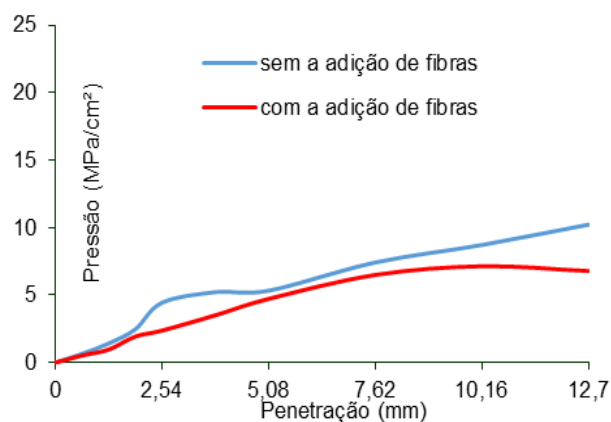


Figura 7. Gráficos de correção do ISC para o 4º ponto, de umidade 26,5%.

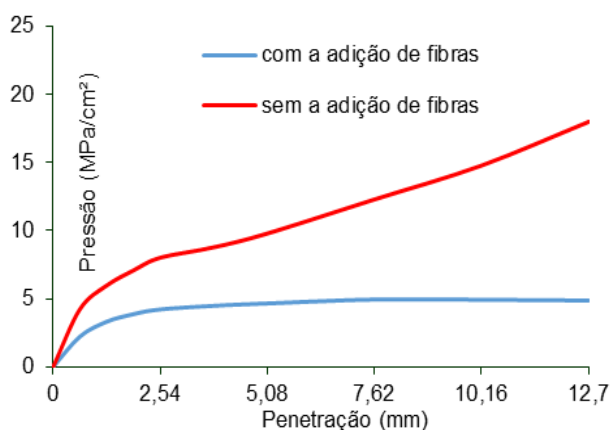


Figura 5. Gráficos de correção do ISC para o 2º ponto, de umidade 22,0%.

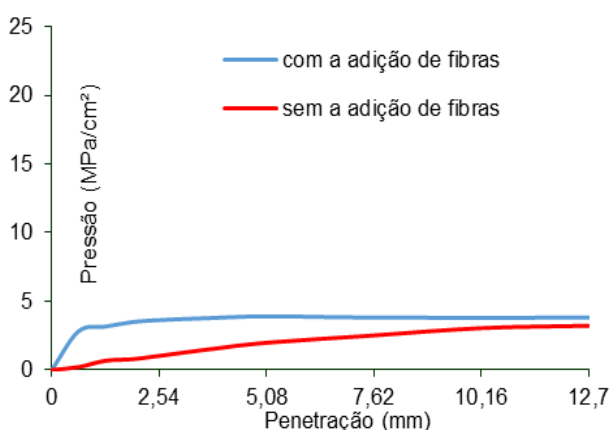


Figura 8. Gráficos de correção do ISC para o 5º ponto, de umidade 28,3%.

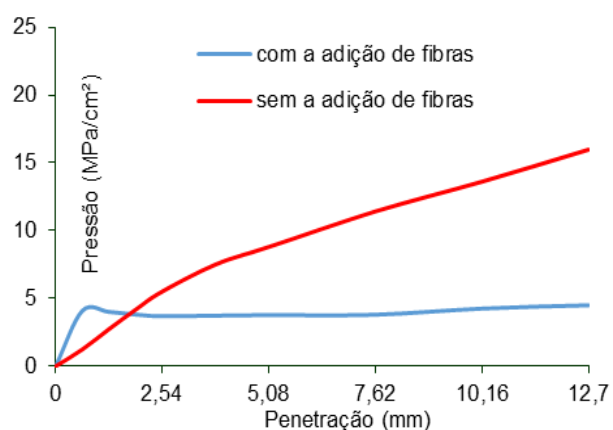


Figura 6. Gráficos de correção do ISC para o 3º ponto, de umidade 23,6%.

Tabela 4. Valor do ISC, em porcentagem, dos pontos compactados, para uma pressão padrão de 6,90 MPa.

	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
Sem fibra	6,23	6,09	5,22	6,38	5,22
Com fibra	6,38	11,59	7,97	3,48	1,45

Tabela 5. Valor do ISC, em porcentagem, dos pontos compactados, para uma pressão padrão de 10,35 MPa.

	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
Sem fibra	5,31	4,44	3,57	5,12	3,77
Com fibra	12,75	9,37	8,50	4,54	1,93

4 CONCLUSÕES

Os ensaios de compactação mostraram que a adição das fibras causou uma diminuição da umidade ótima e da massa específica seca máxima. Observou-se, também, a diminuição da expansão do solo no ensaio de ISC, pois, as fibras, ao preencherem os vazios, atuaram no sentido de favorecer a estruturação do solo e, conseqüentemente, reduzir a sua expansão, o que é muito positivo. Em relação à pressão exercida durante a penetração, esta foi maior para o solo reforçado, com exceção dos pontos no ramo úmido.

Sales (2011) propôs um estudo cujo objetivo era avaliar a utilização de fibras naturais como elemento de reforço na construção de estruturas de pavimentos. A pesquisa permitiu avaliar que a adição da fibra natural aumentou significativamente a resistência a tração dos solos, podendo estas misturas serem utilizadas em camadas de pavimentos. Já Matos (2009), propondo a aplicação de garrafas PET – porém, como componente construtivo – concluiu que existe viabilidade para a reintegração destes resíduos ao meio produtivo da indústria da construção civil.

Apesar da distinta abordagem no que tange os tipos de obras civis e geotécnicas e/ou os tipos de fibras aplicadas como material de reforço, e com base nos resultados apresentados, conclui-se que é possível avançar nos estudos associados ao emprego das fibras PET para o reforço de solos em obras de pavimentação – pela viabilidade em termos ecológicos, econômicos e qualitativos – visto que, mesmo em uma análise simplificada, observou-se um aumento da resistência sob sua influência.

Com isso, sugere-se o aprofundamento na avaliação do comportamento das fibras, com base na inserção de diferentes tamanhos e proporções do reforço, e até mesmo a construção de um pequeno trecho experimental com ensaios em campo.

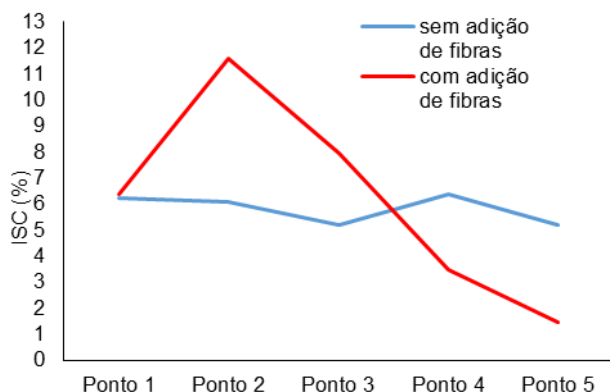


Figura 9. Valor do ISC, em porcentagem, dos pontos compactados, para uma pressão padrão de 6,90 MPa.

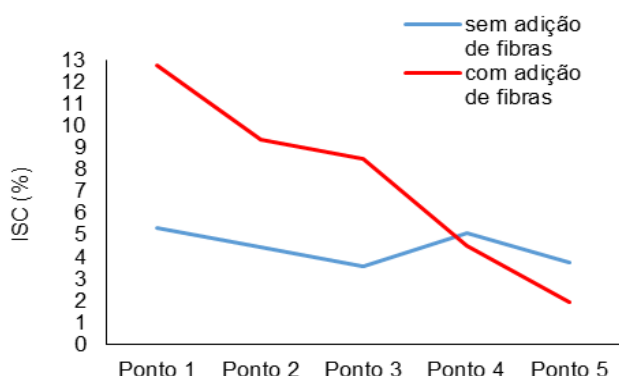


Figura 10. Valor do ISC, em porcentagem, dos pontos compactados, para uma pressão padrão de 10,35 MPa.

Corroborar-se, observando os dados referentes ao ISC (Tabelas 4 e 5 e Figuras 9 e 10), a análise feita a partir dos gráficos de “penetração versus pressão” que apontou o ganho de resistência para o solo, exceto quando compactado no ramo úmido.

O efeito mais visível na inserção das fibras ao solo foi redução da expansão para a maioria dos pontos (Tabela 6). Esta redução foi mais significativa para os pontos compactados no ramo seco. Numa avaliação preliminar, estima-se que esta queda na expansão pode estar associada à estruturação do maciço do solo pelo entrelaçamento das fibras e grãos, gerando um impedimento ao aumento do volume do corpo de prova.

Tabela 6. Valor da expansão, em porcentagem (%), dos pontos compactados.

	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
Sem fibra	0,43	0,50	0,13	0,13	0,11
Com fibra	0,11	0,16	0,13	0,09	0,00

REFERÊNCIAS

- Aguiar, L.A.; Aquino, F. R.; Camapum de Carvalho, J. (2009). *Melhoria da Resistência a Tração de Solos Finos por Meio da Incorporação de Fios de Cabelo para Uso em Pavimentação*. Anais Geocentro, 2009. p.112-116.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1984). NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1984). NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1984). NBR 7181: Análise granulométrica. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1987). NBR 9895: Solo – Índice de Suporte Califórnia – Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1988). NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro.
- Benjamim, C.V. S. (2006). *Avaliação experimental de protótipos de estruturas de contenção em solo reforçado com geotêxtil*. Tese de Doutorado. EESC, Universidade de São Paulo. São Carlos, 294p.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de Pavimentação. 3 ed. – Rio de Janeiro, 2006. 274p. (IPR. Publ., 719).
- Fletcher, C. S. e Humphries, W. K. (1991). California Bearing Ratio Improvement of Remolded Soils by the Addition of Polypropylene Fiber Reinforcement. TBR. *Transportation Research Record*, nº 1295.
- Góngora, I. A. M. G (2015). *Estradas não Pavimentadas Reforçadas com Geossintéticos: Influência de Propriedades Físicas e Mecânicas do Reforço*. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-105/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 96 p.
- Gray, D. H. e Ohashi, H. (1983). Mechanics of fiber reinforcement in sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 109, nº 3, p. 335-353.
- Matos, T. F. L. (2009). *Avaliação da viabilidade de reintegração de resíduos de PET pós-consumo ao meio produtivo*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- Pinto, C. S. (2006). *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. 3ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos.
- Reschetti, P. R. Jr. (2008). *Avaliação do comportamento mecânico de um solo arenoso fino laterítico reforçado com fibras para uso em pavimentos*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.
- Romão, W., Spinacé, M. A., & De Paoli, M. A. (2009). Poli (tereftalato de etileno), PET: Uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 19(2), 121-132.
- Sales, K. C. S. (2011). *Melhoria de Solos por inclusão de Fibras Naturais*. xiv, 97 f. Dissertação de Mestrado em Geotecnia —Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- Santos, E.C.G. (2011). *Avaliação Experimental de Muros Reforçados Executados com Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R) e Solo Fino*. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-069/11, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 214 p.
- Specht, L. P. (2000). *Comportamento de Misturas Solo-Cimento-Fibra Submetidas a Carregamentos Estáticos e Dinâmicos Visando a Pavimentação*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Sória, M. H. A. (1986). *Os Limites de Atterberg, o Argilo Mineral e o Teor de Argila*. VI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, ABMS, Porto Alegre, RS, vol. 1, p. 167-171.