

PROPOSTA DE MELHORIA NA RESISTÊNCIA EM CAMADA DE PAVIMENTO A PARTIR DA INCORPORAÇÃO FIBRA DE POLIETILENO TEREFTALATO

Fernanda Simoni Schuch¹; Fábio Krueger da Silva²; Maria Marin Belen³, Ana Karolyna Silveira da Silva⁴; Thaís Moreira dos Santo⁵; Maria Eduarda Andrade Ferreira⁶.

Resumo – Muitas vezes durante a elaboração do projeto e execução de pavimentos necessita-se melhorar propriedades dos materiais utilizados para que resistam aos esforços solicitantes. O reforço pode ser feito com adição de materiais ao solo buscando conferir as melhorias desejadas. Nesta pesquisa aplicada utilizou-se um método experimental para quantificar as melhorias ocorridas num solo residual de granito, pela adição de fibra de polietileno tereftalato em três diferentes teores (0,5%F / 1%F / 1,5%F). Para estas misturas, analisou-se a possibilidade de emprego como camada estrutural de pavimento. Para tanto, o solo foi caracterizado fisicamente e, elaboraram-se as curvas de compactação do solo puro e com os teores de adição e, por fim, realizou-se o ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR). Como resultado as misturas tiveram a densidade diminuída pela adição de fibra PET e determinou-se que estas misturas podem ser utilizadas como camada de reforço de subleito em função dos valores obtidos de CBR e expansão.

Abstract – Often when projecting and executing pavements, it is necessary to improve some materials properties so that they have the strength required. Its reinforcement can be done with the addition of materials to the soil in order to achieve the desired improvements. In this applied research, an experimental method was used to quantify the improvements in a residual granite soil, that occurred adding polyethylene terephthalate (PET) fiber at three different mixtures percentage (0.5%F / 1%F / 1.5%F). For them, the possibility of use as a structural layer of pavement was analyzed. The soil was physically characterized and the compaction curves of pure and with addition soil were elaborated and, finally, the California Support Index (ISC or CBR) test was carried out. As a result, the mixtures had their dry density reduced by the addition of PET fiber and it was determined that these mixtures can be used as a subgrade reinforcement layer, based on the values obtained for CBR and expansion.

Palavras-Chave – Solo residual de granito, Índice de Suporte Califórnia, solo melhorado com fibra PET, reforço de subleito.

¹ Eng. Civil, Dra. Instituto Federal de Santa Catarina, (48) 321106060, fernandass@ifsc.edu.br

² Eng. Civil, Dr. Instituto Federal de Santa Catarina, (48) 321106060, fabio.krueger@ifsc.edu.br

³ Acad. Eng. Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, (48) 321106060, mariabmaarin@gmail.com

⁴ Acad. Eng. Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, (48) 321106060, anajovitta@gmail.com

⁵ Acad. Eng. Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, (48) 321106060, thaaism05@gmail.com

⁶ Acad. Eng. Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, (48) 321106060, maria.ea2001@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Conhecer as características dos materiais a serem empregados na construção de um pavimento é fundamental ao engenheiro(a) projetista. A partir da identificação, caracterização e verificação da disponibilidade realizam-se os dimensionamentos e optando-se neste processo pelos materiais disponíveis mais adequados. Ocorre que, em muitas situações o material geológico disponível não possui as propriedades geomecânicas desejadas e faz-se necessário utilizar de técnicas de melhoramentos através da adição de outros materiais ao solo empregado nas camadas construtivas do pavimento.

Algumas das técnicas de melhoramentos de solo utilizam aglomerantes como cal ou cimento para conferir resistência mecânica e menor deformabilidade. Nichele et al 2021 obtiveram em sua pesquisa com um cambissolo silto argiloso, um incremento de 2,8 vezes o valor da resistência de pico de um solo melhorado com cimento em comparação ao solo natural. Ao utilizarem fibras recicladas de garrafas PET, perceberam um ganho na ordem de 1,4 vezes na tensão máxima de ruptura do solo quando comparados ao solo natural.

Utilizar material reciclado como adição para produzir um solo melhorado, vai ao encontro dos objetivos do desenvolvimento sustentável proposto pela ONU (Nações Unidas, 2020), especialmente no que diz respeito a assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis.

Mishra & Gupta (2018) também estudaram a incorporação de fibra PET com cinza volante para melhoramento de solo argiloso de baixa plasticidade, utilizado em camada compactada de pavimentos. Estes autores perceberam um aumento na resistência a ruptura dos solos com adição da ordem de 1,45 vezes se comparados ao solo natural, observaram um aumento no valor do CBR (Californian Bearing Ratio) e diminuição da densidade das misturas com a adição das fibras.

A partir de estudos prévios sobre mistura de solo com fibra PET determinou-se como objetivo desta pesquisa aplicada, verificar e quantificar os ganhos obtidos com a utilização de material reciclado incorporado ao solo de empregado nas camadas do pavimento. Estes ganhos têm benefícios do ponto de vista da engenharia (resistência, durabilidade etc.), quanto também de ganhos socioambientais, como por exemplo, propondo a utilização de garrafas PET recicladas através de empresas que promovem o bem-estar social através de compromissos com associações de catadores. Assim, propõem-se avaliar os resultados produzidos pela inserção de 3 diferentes teores de fibra PET reciclada, com objetivo de se verificar a viabilidade de sua aplicação como camada construtiva estrutural de uma rodovia.

2. MATERIAIS E MÉTODO

Esta pesquisa de caráter experimental foi desenvolvida através de uma sequência de etapas metodológicas as quais implicaram em: coleta e caracterização do solo, aquisição da fibra PET, caracterização dos materiais (solo e fibra), ensaios de compactação e CBR. Estes ensaios foram realizados para quatro diferentes teores de mistura: solo natural (0%F), solo + 0,5% de fibra PET (0,5%F), solo + 1% de fibra PET (1%F) e solo + 1,5% de fibra PET (1,5%F). Seguem nos próximos itens a descrição dos materiais e etapas metodológicas.

2.1. Materiais

Os materiais utilizados para pesquisa foram o solo coletado em campo e a fibra PET.

2.2.1 Solo

No município de Biguaçu localizado no estado de Santa Catarina, coletou-se em campo uma amostra de solo deformada num talude de solo residual de granito. Observou-se in loco as estruturas de rocha completamente intemperizada dentro do perfil do solo (Figura 1).



Figura 2. Amostra de solo residual com aspecto da rocha mãe

Fonte: própria

Após a coleta o solo foi armazenado em caixas plásticas, vedadas de modo a ficar abrigado da chuva. Caracterizou-se o material com os ensaios de: massa específica dos grãos que passam na peneira de 4,8mm (NBR 6458:2016 anexo B), granulometria (NBR 7181:2016) e limites de Atterberg (NBR6459:2016 e NBR7180:2016).

2.2.2 Fibra PET reciclada

A fibra PET foi produzida pela empresa Cordoaria Brasil e doada para pesquisa.



Figura 2. Fibra PET utilizada na pesquisa

Fonte: Nichele, 2020.

A fibra PET obtida teve sua massa específica determinada pelo método do picnômetro e obteve-se o valor de 1,34 g/cm³. O comprimento de fibra utilizado na pesquisa é de 15 mm (Nichele 2020).

2.2. Método da pesquisa experimental

A pesquisa experimental ocorrida após a caracterização dos materiais consistiu em (Figura 3):

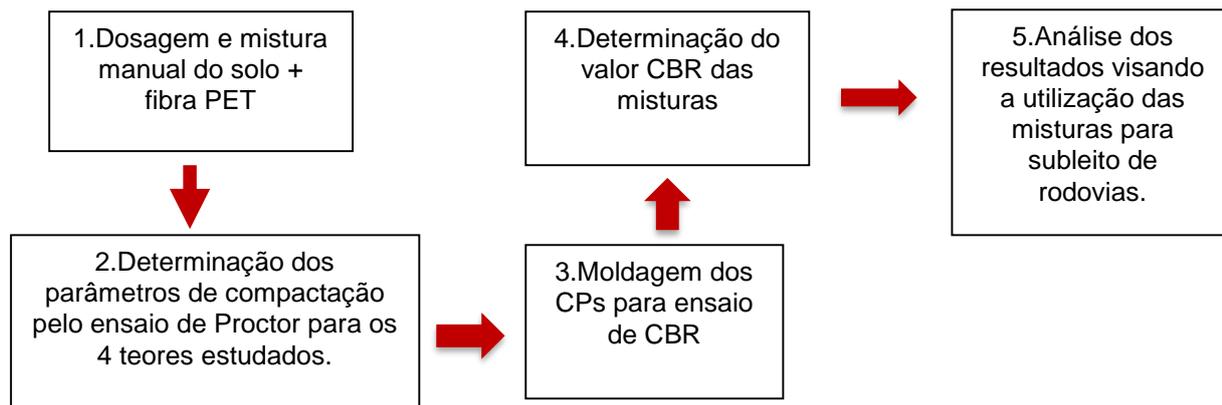


Figura 3: Organograma do método experimental da pesquisa

Fonte: própria

A primeira etapa consistiu na dosagem dos materiais pesando-se os teores de fibra (determinados em relação ao peso seco do solo – Figura 4) e o solo necessários para as misturas: solo natural (0%F), solo + 0,5% de fibra PET (0,5%F), solo + 1% de fibra PET (1%F) e solo + 1,5% de fibra PET (1,5%F).



Figura 4. Mistura manual da fibra ao solo

Fonte: própria.

Nichele (2021) testou mistura da fibra ao solo de forma mecânica com o uso de betoneira e de forma manual. Verificou que, ao usar a betoneira, as fibras acabavam por aglutinar e formar flocos. A mistura manual se mostrou mais eficiente produzindo menos aglutinação.

Nesta pesquisa, verificou-se que o tempo de mistura influenciou na formação de flocos, pois, após um tempo mais prolongado de mistura ocorria a formação de flocos. Outro ponto observado diz respeito à adição de água na mistura onde se percebeu ser mais eficiente misturar o solo e a fibra num primeiro momento e, posteriormente, adicionar-se a água, melhorando-se a homogeneização final.

Determinou-se, neste programa experimental, 4 curvas de compactação (NBR 7182:2016), na energia normal com cilindro grande, de modo a se determinar a massa específica aparente seca máxima e o teor de umidade ótimo pois, estes valores são primordiais para a moldagem dos cilindros de CBR (Figura 5).



Figura 5. Compactação manual do cilindro de Proctor

Fonte: própria.

Para determinar o ISC ou CBR das misturas foram moldados manualmente cilindros de Proctor na umidade ótima e massa específica aparente seca máxima, e, realizou-se o ensaio de acordo com a NBR 9895:2016 ou DNIT 172/2016. Ao final foi possível verificar se as misturas de solo reforçadas com fibras atendem as prescrições de resistências para uso em pavimentos citadas nas normas DNIT 138/2010 (Reforço de subleito), DNIT 139/2010 (Sub-base estabilizada granulometricamente e DNIT 141/2010 (Base estabilizada granulometricamente).

3. RESULTADOS E ANÁLISES

Dos ensaios de caracterização anteriormente realizados por Broering&Silva (2018) tem-se pela classificação granulométrica uma areia siltosa, desuniforme e mal graduada. O limite de liquidez foi de 36% e a plasticidade 29%, com isso, o índice de plasticidade (IP) ficou em 7 (LL-LP) indicando um solo fracamente a medianamente plástico.

Uma vez caracterizados os materiais da pesquisa, moldados os CPs, executados os ensaios e coletados os dados, estes foram tabulados e analisados através de cálculos e gráficos.

3.1 Curvas de compactação

As curvas de compactação obtidas para os diferentes teores de adição de fibra PET são as apresentadas na figura abaixo:

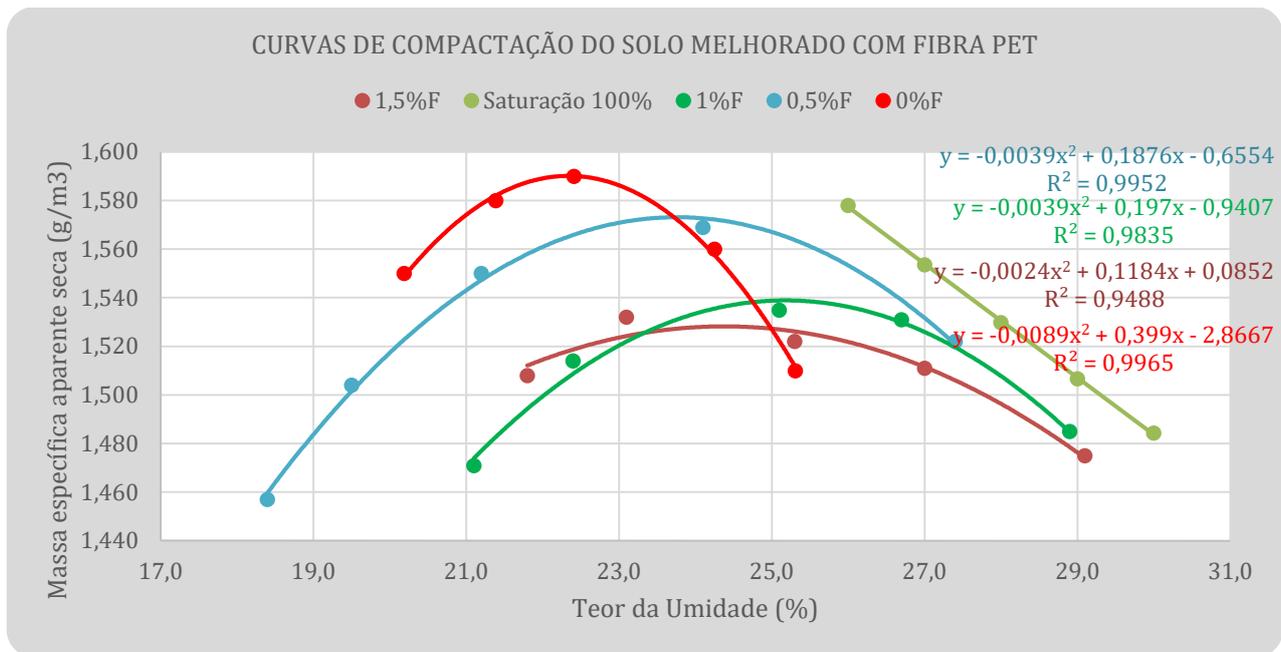


Figura 6: Curvas de compactação das misturas

Fonte: própria

Observa-se no gráfico da Figura 6 que, quanto maior o teor de fibra PET adicionado à mistura, menor é a massa específica aparente seca máxima da mesma, resultado este, já esperado devido a incorporação de um compósito de menor densidade ao solo. Em relação ao solo natural (0%F) todas as misturas obtiveram um aumento no respectivo teor de umidade ótima (h_{ot}). O aumento da umidade ótima deve estar associado a uma absorção residual ou a um acúmulo excessivo de água na estrutura da fibra PET, nota-se que quanto maior o teor de fibra houve tendência de aumento no teor da umidade ótima.

Quadro 1 – Resumo dos resultados das curvas de compactação

Resultado / Teor	0% de fibra	0,5% de fibra	1,0% de fibra	1,5% de fibra
Massa específica aparente seca (g/cm ³)	1,590	1,573	1,539	1,529
Umidade ótima (%)	22,4	23,9	25,1	24,4

Fonte: própria

3.2 Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR)

Realizou-se o ensaio de CBR seguindo o que preconizam as normas expostas anteriormente. Os corpos de prova ficaram imersos para se medir a variação volumétrica (Figura 7 A) dos mesmos e, posteriormente, utilizou-se uma prensa manual (Figura 7 B) para a ruptura (Figura 7 C).

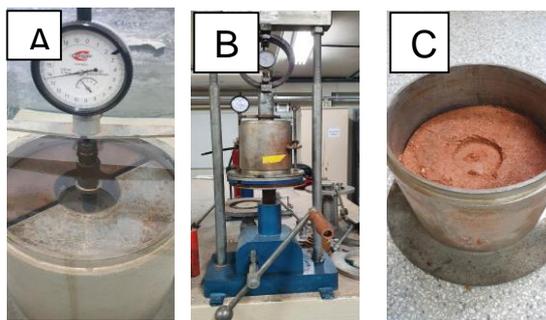


Figura 7. Etapas ensaio de CBR

Fonte: própria.

Os valores obtidos em laboratório são os da tabela 3:

Tabela 3: Valores CBR e expansão

RESUMO ENSAIO CBR		
<i>Teor de adição</i>	<i>CBR</i>	<i>Expansão</i>
0%F	4	0,54
0,5%F	13	1,25
1%F	9	1,44
1,5%F	12	1,57

Ao confrontar os valores obtidos no ensaio de CBR verifica-se que o material não pode ser empregado em bases e sub-bases de rodovias porque os valores de CBR são inferiores a 20% e as expansões são maiores do que 1%. Contudo, o material atende às prescrições de norma DNIT 138/2010-ES e pode ser empregado em camada de reforço de subleito. Para isso o material deve apresentar um valor de CBR maior que o do material do subleito e a expansão deve ser inferior a 2%. Por limitações desta pesquisa foram moldadas grandes quantidades de corpos de prova, logo, entende-se que os valores descritos nesta análise indicam uma tendência, mas, um maior número de amostras diminuiria o risco de eventuais vícios na execução do ensaio.

Analisando-se os valores de CBR em relação ao solo natural percebe-se claramente um incremento da resistência com o aumento do teor de fibra. Na mistura de 0,5%F houve um aumento do índice CBR em torno de 3 vezes em relação ao solo natural. Nos teores de 1,0%F e 1,5%, percebeu-se um aumento, porém muito próximo do valor obtido na primeira mistura. Verifica-se com isso que não existe uma tendência de aumento da resistência com aumento do teor de fibra concluindo-se que o valor de 1%F parece ser um valor médio ideal de teores de fibras incorporada no tipo de solo desta pesquisa. Isso pode ser explicado pela capacidade de entrosamento que a fibra promove nas ligações do esqueleto sólido da mistura. Ou seja, no método empregado com distribuição aleatória e uma mistura manual, os filamentos de PET conseguem envolver apenas uma parcela dos grãos, assim, não é necessário um alto teor de fibras para atingir um acréscimo expressivo de resistência, pelo contrário, um teor alto de fibras pode até provocar queda nos valores de CBR, em relação a teores inferiores.

No que diz respeito ao aumento da expansão, os resultados corroboraram com os obtidos nas curvas de compactação. Ou seja, a expansão volumétrica dos grãos está associada a absorção e acúmulo de água na superfície das partículas, nos vazios e interstícios do esqueleto mineral. Ou seja, como houve aumento do teor de umidade ótima com o aumento do teor de fibra entende-se que uma maior quantidade de água ficou confinada no interior do material contribuindo assim para uma maior expansão volumétrica. Diferente da tendência encontrada no índice CBR parece haver uma tendência de quanto maior o teor de fibra maior a expansão do material, assim este teor deve ser limitado para que não extrapole os limites indicados nas normas.

4. CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios realizados mostram haver ganhos pela adição de fibra PET aleatoriamente distribuídas no valor da resistência CBR, o qual aumentou 3 vezes ao se comparar a amostra com 1,5%F ao 0%F, porém, não se encontrou uma tendência de aumento entre a adição de fibra PET e o aumento do valor do CBR.

A inserção de fibras PET provocou um aumento na expansão dos solos pois há um aumento dos vazios do solo pela incorporação de água (aumento do teor de umidade ótima) juntamente à incorporação das fibras. Comparando-se os teores 1,5%F ao 0%F houve aumento em 2,91 vezes no valor da expansão.

É importante salientar que a adição de fibra PET no solo, no teor de 1%, por exemplo, aumentaria em 2,7% a quantidade de água para se atingir a h_{ot} desejada, o que gera um aumento na quantidade de água necessária para a execução da camada de pavimento (2.700 litros a cada 100 m³ de solo).

O processo de mistura mostrou-se importante para homogeneizar a fibra incorporada ao solo. Notou-se ser mais eficiente misturar a fibra ao solo seco e posteriormente adicionar-se a água. Em campo esta forma de mistura necessita ser testado, o que não foi realizado nesta pesquisa mas, pelos processos observados, sugere-se que, seja feita a disposição da camada de solo e posteriormente aleatoriamente distribuída a fibra, após, o solo deve ser revolvido com a fibra e, por último, distribuída a água para posterior compactação.

Para a areia-siltosa estudada e para os teores de fibra incorporados, o valor médio do CBR obtido foi de 11% e o valor máximo da expansão de 1,57% o coloca os materiais produzidos como apropriados para serem utilizados como camada de reforço de subleito (DNIT 138/2010-ES). Porém, inapropriadas para ser utilizadas em bases e sub-bases de rodovias, pois os valores de CBR são inferiores a 20% e as expansões são maiores do que 1%.

Os resultados corroboram com Mishra & Gupta (2018) que avaliaram a utilização de fibra de garrafa PET e cinza volante em solo argiloso de baixa plasticidade para subleito de pavimento, obtendo valor máximo de 11,86 CBR para o teor de 1,2% de fibra PET adicionada, corroborando com o valor máximo atingido nesta pesquisa para a incorporação de 1,5%F. Pesquisas realizadas por Koomishi & Palassi (2022), Ferreira et al. (2021), Lucarelli (2018) e Feuerharmel (2000) também já haviam apontado em suas pesquisas os benefícios da adição de fibra PET em diferentes teores para melhoria de propriedades mecânicas dos solos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo fomento à pesquisa e às bolsas de pesquisa e ao IFSC pela infraestrutura oferecida.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 6459: Solo: Determinação do limite de liquidez: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. 7180: Solo: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. 7181: Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. 7182: Solo: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

_____. 12770: Solo coesivo - Determinação da resistência à compressão não confinada - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D3080: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. PA, USA, 2011.

BROERING, W. B.; SILVA, P. O.; Caracterização Geotécnica e Dimensionamento de pavimentos semirrígidos em solos residuais de Biguaçu/SC; Trabalho de Conclusão de curso, Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Santa Catarina, 2018.

Cordoaria Brasil; Cordoaria Brasil – produtos; disponível em: <http://www.cordoariabrasil.com.br/produtos>. Acessado em 03/03/2022.

DNIT 138/2010: Pavimentação – Reforço do subleito - Especificação de serviço, Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes; 2010. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit138_2010_es.pdf . Acessado em: 18/04/2022.

FEUERHARMEL, M. R.; Comportamento de solos reforçados com fibras de polipropileno, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 133 p., 2000.

FERREIRA, J. W. S.; SENEZ, P. C.; CASAGRANDE M. D. T.; Pet fiber reinforced sand performance under triaxial and plate load tests. In.: Case Studies in Construction Materials. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00741>

KOOHMISHI, M.; PALASSI, M.; Mechanical Properties of Clayey Soil Reinforced with PET Considering the Influence of Lime-Stabilization. In.: Transportation Geotechnics. Elsevier. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100726>

LUCARELLI, Daniely Camargo. Estudo do comportamento mecânico de solos reforçados com fibras de Polietileno Tereftalato (PET) de distribuição aleatória. 2018. 169 f. Dissertação (Magister Scientiae) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

MISHRA Brajesh, GUPTA Mohit Kumar, Use of randomly oriented polyethylene terephthalate (PET) fiber in combination with fly ash in subgrade of flexible pavement, Construction and Building Materials, v. 190, pp. 95–107, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.074>

NICHELE, C. D.; Adição de Fibras de Polímero Polietileno Tereftalato a um Solo Silte Argiloso com Vistas à Melhoria de suas Propriedades Físicas e Mecânicas. TCC do curso de Bacharelado em Engenharia Civil do IFSC – Campus Florianópolis, 2020. Disponível em: http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/gta/files/2021/12/TCC_CAROLINA_DUTRA_VERSAOFINAL-1.pdf. Acessado em 03/03/2022.

NICHELE, C. D.; PEREIRA, Leticia Alves; SILVA, F. K.; SCHUCH, Fernanda Avaliando a adição de polietileno tereftalato e cimento portland para melhoria das propriedades de um solo In: e-GEOSUL - 1º Simpósio Virtual de Práticas de Engenharia Geotécnica da Região Sul, 2021, Anais do e-GEOSUL 2021. , 2021.