

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/410

Influência da Adição de PET Filete nos Parâmetros de Compactação e na Resistência à Compressão Simples de um Solo Argiloso

Silmara Nunes Dantas

MSc. Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil, silmarandantas@gmail.com

Erinaldo Hilário Cavalcante

DSc. Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil, erinaldo@ufs.br

Guilherme Bravo de Oliveira Almeida

DSc. Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil, gbravo1982@gmail.com

RESUMO: A quantidade de embalagens plásticas de politereftalato de etileno (PET) dispostas no meio ambiente tem aumentado ao longo dos anos, e isso é motivo de preocupação do ponto de vista ambiental. Diante desse fato, surge a necessidade de uma destinação final adequada para o resíduo plástico gerado. Paralelamente, também é crescente na Geotecnia o interesse por materiais alternativos que possam contribuir na melhoria de propriedades dos solos. Neste contexto, com o presente trabalho objetiva-se propor mais uma forma de aproveitamento do PET, a partir do emprego de filetes de garrafas plásticas como uma solução alternativa para a melhoria do comportamento mecânico de um solo argiloso. Para isso, foi analisada a influência da adição de PET na forma de filete, com diferentes teores e comprimentos, num solo de matriz predominantemente argilosa. Para a avaliação do compósito (solo-PET), foram realizados de ensaios de compactação na energia Proctor normal e de resistência à compressão não confinada, com amostras do solo puro e com as misturas solo-PET. Os resultados obtidos mostraram que a adição de PET filete ao solo gera discretos incrementos na massa específica aparente seca máxima, exerce pouca influência no teor de umidade, mas proporciona aumento na resistência do solo e agrega melhorias na ductilidade das misturas quando comparadas ao solo puro. Constatou-se ainda que existe uma combinação teor-comprimento de filete ideal em relação ao solo em estudo. Portanto, conclui-se que a utilização de PET filete como reforço de um solo argiloso contribuiu para um melhor desempenho mecânico do solo testado.

PALAVRAS-CHAVE: Politereftalato de Etileno, solo argiloso, reforço de solo, comportamento mecânico.

ABSTRACT: The amount of polyethylene terephthalate (PET) plastic packaging disposed in the environment has been increasing every year and becoming an increasingly worrying situation. Therefore, there is a need for a more appropriate final destination for this waste. On the other hand, there is a growing interest in Geotechnics in alternative materials that can contribute to improving soil properties. In this context, this work aims to propose another way of using PET, suggesting the use of PET bottle fillets as an alternative solution for improving the mechanical behavior of clayey soil. To this end, the influence of adding PET in fillet form at different contents and lengths on the mechanical behavior of a soil with a predominantly clayey matrix was analyzed by carrying out compaction tests at normal Proctor energy and unconfined compressive strength, with pure soil samples and soil-PET mixtures. The results obtained showed that the addition of PET fillet to the soil generates discrete increases in the maximum apparent dry mass, has little influence on the moisture content, provides an increase in the rupture tension and results in an improvement in the ductility of the mixtures when compared to pure soil. It was also found that there is an ideal fillet content-length combination for the soil under study. Therefore, it is concluded that the use of PET fillet as reinforcement for a clayey soil contributed to a better mechanical performance of the tested soil.

KEYWORDS: Polyethylene terephthalate, clayey soil, soil reinforcement, mechanical behavior.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, percebe-se que a produção e o consumo de produtos dispostos em embalagens plásticas, tais como as de politereftalato de etileno vem crescendo de forma exorbitante devido a crescente demanda por produtos industrializados, e com isso a geração de resíduos não degradáveis cresce a cada dia, ocasionando, dessa forma, impactos ambientais. Esses impactos são gerados simplesmente pelo fato de que a cada ano milhares de toneladas de garrafas PET são produzidas e descartadas, e além de apresentarem um longo tempo de decomposição, essas embalagens necessitam de grandes espaços para serem dispostas nos aterros, sem falar que muitas vezes elas acabam não tendo um descarte final de maneira correta.

Por outro lado, na geotecnia, são encontrados problemas na execução de obras, pelo fato de que muitas vezes as propriedades do solo natural encontrado no local não atendem aos requisitos de um projeto específico, a exemplo dos solos que apresentam baixa capacidade de suporte, matriz muito argilosa e compressível, tornando necessário nesse caso o engenheiro optar por uma das seguintes soluções para o problema: adequar o projeto às restrições impostas pelo solo local, remover a camada de solo que apresenta limitações em seu uso e substituí-la por um solo com melhores propriedades ou simplesmente tentar alterar as propriedades do solo existente, de modo a criar um novo material que seja capaz de atender aos requisitos de um projeto específico (INGLES; METCALF, 1972).

Diante do cenário, visando sugerir uma destinação mais nobre para os resíduos gerados pelas garrafas de politereftalato de etileno descartadas no meio ambiente sem fins de reciclagem e que causam sérios impactos na natureza. Além disso, com o intuito de oferecer uma solução a baixo custo para a execução de obras quando o solo natural local não apresenta características compatíveis com um projeto específico. A presente pesquisa propõe o uso de resíduos de garrafas PET como uma solução alternativa para a melhoria da resistência de um solo de matriz argilosa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Solos Reforçados

A técnica de reforço de solo consiste na introdução de elementos de reforço na massa do solo, formando um material compósito, com o objetivo de obter melhoria nos parâmetros da matriz, isto é, nas suas propriedades mecânicas, e conseqüentemente, obter um material que apresente um comportamento melhor que não seria obtido com cada constituinte separadamente.

Segundo Gray e Ohashi (1983) o reforço de solos é uma técnica eficaz e confiável para aumentar a resistência e a estabilidade dos solos, sendo utilizada em várias aplicações, desde estruturas de contenção e aterros, até estabilização de subleito de pavimentos. Os elementos utilizados como reforço variam quanto à forma, ou seja, são utilizados em formas de tiras, chapas, grelhas, barras, fibras; quanto à textura (lisa ou rugosa) e também quanto à rigidez (elementos de elevada rigidez, a exemplo do aço, ou que apresentam baixa rigidez, a exemplo dos materiais poliméricos).

2.2 Pet e o Impacto ambiental

Ao contrário dos polímeros que são utilizados para fabricação de produtos com longa vida útil nas indústrias de bens de consumo e construção civil, a exemplo do polipropileno (PP) e do policloreto de vinila (PVC), o PET por ser utilizado como matéria prima de produtos com vida útil curta, como as embalagens, e por apresentar um tempo de degradação bastante longo, é considerado como um grande vilão ambiental.

Senez e Casagrande (2016) afirmam que mesmo com os diversos benefícios que as embalagens PET trouxeram tanto para o consumidor quanto para o produtor, o consumo exacerbado dessas embalagens trouxe junto, grandes problemas ambientais, e estes estão relacionados à inadequada disposição final dos resíduos de PET.

2.3 Uso de Resíduos de PET como Reforço de Solo

A utilização de fibras e resíduos derivados da reciclagem do politereftalato de etileno tem sido uma boa alternativa como reforço de solos. Com isso, estudos vêm sendo realizados por diversos autores demonstrando a viabilidade do emprego do PET para aplicação como reforço em locais onde o solo não seja adequado para o fim ao qual se deseja, contribuindo dessa forma, para a tentativa de minimizar os problemas atuais de disposição desse tipo de resíduo, além de ser uma técnica economicamente viável.

Estudos realizados com a adição de fibras e resíduos provenientes da reciclagem de garrafas PET como reforço de solos arenosos mostraram que as fibras desse material, bem como os resíduos utilizados promovem diversas melhorias. Por exemplo, trabalham à tração, geram intertravamento dos grãos dos solos, controlam a propagação de fissuras e melhoram significativamente a resistência à compressão e a tensão de ruptura, proporcionando, dessa forma, uma distribuição favorável das tensões no solo. Como consequência, ocorre aumento na resistência ao cisalhamento do solo, e além disso, a capacidade de absorção de energia do solo tende a aumentar, contribuindo assim para a redução dos recalques (SIVAKUMAR BABU; CHOUKSEY, 2011; SENEZ; CASAGRANDE, 2016; SALIMI; GHAZAVI, 2019).

Os benefícios obtidos com a adição de fibras e resíduos provenientes da reciclagem de garrafas PET como reforço de solos argilosos também foram analisados por alguns autores. A literatura tem revelado que a utilização de fibras PET e de resíduos oriundos da reciclagem de garrafas de politereftalato de etileno funcionam como uma melhoria no tamanho do grão nesse tipo de solo, preenchendo os vazios e influenciando os parâmetros de resistência ao cisalhamento. Em outras palavras, esses resíduos promovem melhorias nos parâmetros de resistência, o ângulo de atrito interno e a coesão, além de ocasionar redução na compressibilidade do solo (SIVAKUMAR BABU; CHOUKSEY, 2011; MARTÍNEZ et al., 2016; ZUKRI; NAZIR; MENDER, 2017; LOUZADA; MALKO; CASAGRANDE, 2019).

Além destes, um estudo realizado com com adição de fibras de PET como reforço um de solo siltoso mostrou que esse tipo de fibra ocasiona incremento na resistência ao cisalhamento da matriz de solo, gerando um aumento significativo na coesão e reduzindo a formação de fissuras (BOTERO et al., 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Analisou-se a influência da adição de PET na forma de filete em diferentes teores (0,25%, 0,5% e 1,0%) e comprimentos (5, 10 e 15 mm) no comportamento mecânico de um solo de matriz predominantemente argilosa. Foram realizados ensaios de compactação na energia Proctor normal e de resistência à compressão não confinada com amostras do solo puro e com as misturas solo-PET.

3.1 Materiais

Para a realização da pesquisa foi utilizado um solo com matriz predominantemente argilosa, conforme é apresentado na Figura 1 (a). O PET filete utilizado como reforço do solo argiloso foi obtido através da reciclagem de garrafas PET e encontra-se apresentado na Figura 1 (b).

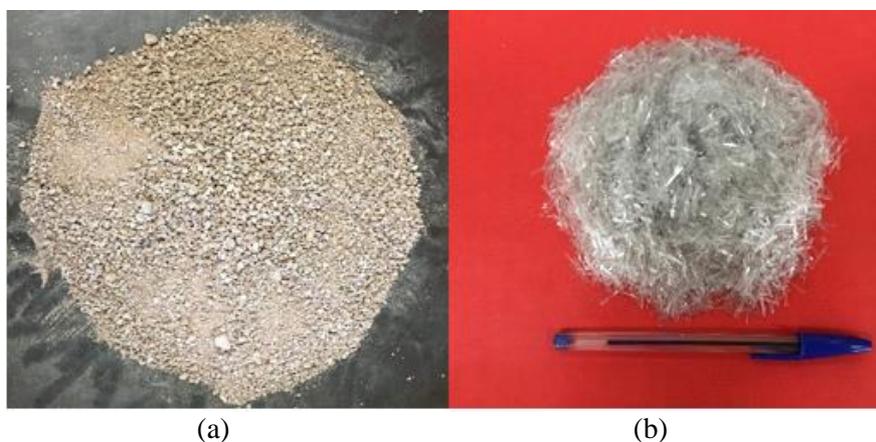


Figura 1: (a) Solo argiloso utilizado. (b) PET filete. Fonte: Autores (2021).

3.2 Métodos

3.2.1 Ensaios de Caracterização

Foram realizados os ensaios de análise granulométrica, densidade real dos grãos, limite de liquidez e limite de plasticidade em amostras do solo puro de acordo com as recomendações das normas descritas abaixo:

- Análise Granulométrica: ABNT NBR 7181/2016 – Solo – análise granulométrica;
- Densidade real dos grãos: DNER-ME 093/1994 – Solos – determinação da densidade real;
- Limite de Liquidez: ABNT NBR 6459/2016 – Solo – determinação do limite de liquidez;
- Limite de Plasticidade: ABNT NBR 6459/2016 – Solo – determinação do limite de plasticidade.

3.2.1 Ensaios de Compactação

Com o intuito de avaliar a influência da adição de PET nos parâmetros de compactação do solo argiloso estudado foram realizados ensaios de compactação na energia Proctor Normal, com o cilindro pequeno e com reuso do material, para o solo puro e para as misturas solo-PET nos teores e comprimentos já mencionados de acordo com as recomendações da NBR 7182 (ABNT, 2016).

3.2.2 Ensaio de Resistência à Compressão não Confinada

Foram realizados ensaios de resistência à compressão não confinada com amostras do solo puro e das misturas solo-PET, de acordo a NBR 12770 (ABNT, 2022). Os corpos de prova foram moldados por compactação dinâmica, nos parâmetros ótimos obtidos, utilizando a aparelhagem da metodologia MCT em moldes cilíndricos metálicos com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Foram testados três corpos de prova para cada combinação comprimento-teor de PET filete, bem como para o solo puro, totalizando 30 corpos de prova. Para os ensaios de compactação e resistência à compressão não confinada, o PET filete foi distribuído aleatoriamente no solo, cujos percentuais foram estabelecidos em relação à massa de solo seco.

4 RESULTADOS

Os resultados alcançados no programa experimental desenvolvido para avaliar a influência da adição de PET filete em diferentes teores e comprimentos ao solo argiloso estudado são apresentados abaixo.

4.1 Ensaios de Caracterização

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização realizados com o solo puro são apresentados na Tabela 1. Conforme pode ser observado a partir das frações constituintes, o solo empregado nesta pesquisa é constituído de matriz predominantemente fina, sendo classificado pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) como CH (argila de alta plasticidade), além disso, pertence ao Grupo A-7-6 de acordo com o Transportation Research Board (TRB).

Tabela 1: Índices físicos e frações constituintes do solo puro. Fonte: Autores (2022).

Frações/Índices Físicos	Valor
Argila	49,08%
Silte	36,92%
Areia	12,13%
Pedregulho	1,87%
Densidade real dos grãos	2,658
Limite de liquidez (LL)	62
Limite de Plasticidade (LP)	27
Índice de Plasticidade (IP)	35

4.2 Ensaios de Compactação

Os valores dos parâmetros ótimos obtidos para o solo puro e para cada mistura solo-PET filete são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros ótimos obtidos para o solo puro e para as misturas solo-PET filete. Fonte: Autores (2022).

Material	Massa específica aparente seca máxima (g/cm ³)	Teor de umidade ótimo (%)
SP	1,660	19,6
S+0,25%FIL.(5mm)	1,668	19,6
S+0,5%FIL.(5mm)	1,678	19,2
S+1,0%FIL.(5mm)	1,670	19,6
S+0,25%FIL.(10mm)	1,678	19,6
S+0,5%FIL.(10mm)	1,682	19,5
S+1,0%FIL.(10mm)	1,679	19,6
S+0,25%FIL.(15mm)	1,679	19,4
S+0,5%FIL.(15mm)	1,686	19,2
S+1,0%FIL.(15mm)	1,671	19,4

A partir da Tabela 2, nota-se que a adição de PET filete ao solo argiloso gera discretos aumentos na massa específica aparente seca máxima. Diante disso, presume-se que estes discretos aumentos estejam associados ao fato dos filetes ocasionarem um melhor rearranjo dos grãos do solo sob o processo de compactação, contribuindo dessa forma, para que ocorra incrementos de massa de grãos sólidos por volume unitário da mistura.

Observa-se também que quanto maior o teor de PET filete inserido na matriz, maior é o discreto incremento observado na massa específica aparente seca máxima obtida. Porém, verifica-se que esse comportamento só é observado até o percentual de 0,5%, de forma que para percentuais acima deste o parâmetro em questão decresce, embora continue maior que o do solo puro. Esta redução pode ser justificada pelo fato de um teor maior, (no caso, 1,0%) não mais contribuir tão efetivamente para um melhor rearranjo dos grãos. Ou seja, para o percentual em questão, acredita-se que os filetes ao se apoiarem nos grãos do solo gerem vazios e comecem a restringir o acréscimo de massa de grãos sólidos no volume do composto.

Além disso, percebe-se que o comprimento do filete também apresenta influência na massa específica aparente seca da mistura. Contudo, verifica-se que para um mesmo percentual de PET na mistura, quanto maior o comprimento, maior a massa específica aparente seca máxima obtida, exceto para o teor de 1,0% com comprimento de 15 mm. Desta forma, presume-se que estes aumentos estão associados ao aspecto de que um maior tamanho dos filetes podem resultar no melhor intertravamento e rearranjo das partículas para o solo em questão. Porém, vale destacar que para um determinado percentual de filete na mistura, o comprimento acaba reduzindo sua capacidade em gerar incrementos na massa específica, caso constatado para a mistura S+1,0%FIL.(15mm).

Por outro lado, observa-se que a adição de PET filete ao solo argiloso gera pouca ou nenhuma alteração nos valores do teor de umidade ótimo em comparação ao solo puro. Isto se deve, provavelmente, ao fato da massa dos filetes inserida na mistura ser muito baixa, que embora este material não absorva água, sua concentração é tão pequena que não consegue gerar alterações na umidade. Portanto, deve-se ressaltar que as misturas que apresentaram uma leve variação, estas se deram para um determinado teor de filete (0,5%), sendo elas: S+0,5%FIL.(5mm), S+0,5%FIL.(10mm) e S+0,5%FIL.(15mm).

O maior incremento na massa específica aparente seca máxima foi obtido para a mistura S+0,5%FIL.(15mm), que resultou em aumento deste parâmetro em 1,6% quando comparado ao solo puro.

4.2 Ensaios para a Estimativa da Resistência à Compressão não Confinada

As curvas tensão-deformação obtidas para os valores médios dos três corpos de prova ensaiados para as misturas solo-PET filete com diferentes teores e comprimentos, bem como para o solo puro são apresentadas nas Figuras 2 a 4 para os comprimentos de 5, 10 e 15 mm, respectivamente.

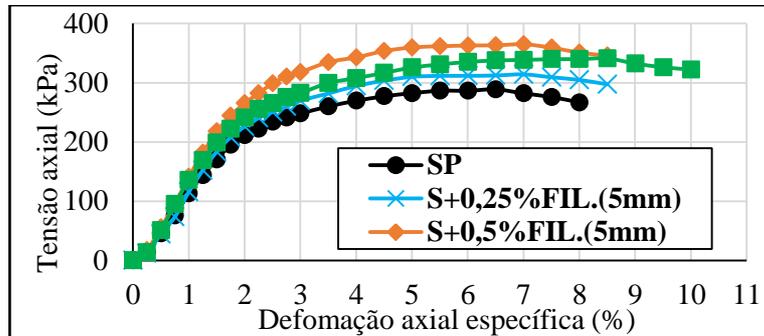


Figura 2: Curvas tensão-deformação obtidas para o solo puro e para as misturas solo-PET filete (filete com comprimento de 5mm). Fonte: Autores (2022).

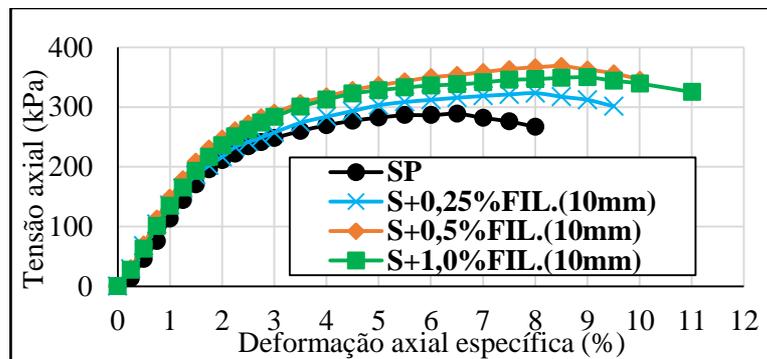


Figura 3: Curvas tensão-deformação obtidas para o solo puro e para as misturas solo-PET filete (filete com comprimento de 10mm). Fonte: Autores (2022).

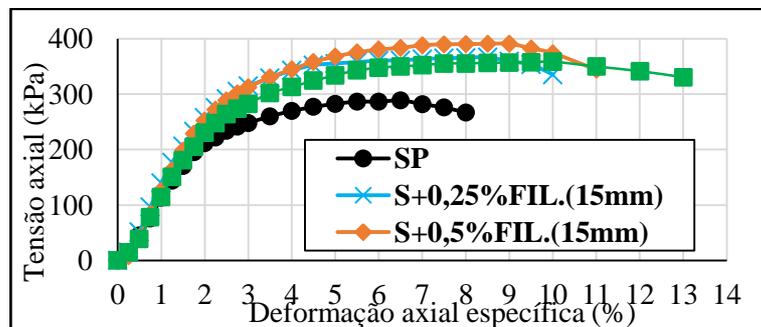


Figura 4: Curvas tensão-deformação obtidas para o solo puro e para as misturas solo-PET filete (filete com comprimento de 15mm). Fonte: Autores (2022).

Conforme é possível observar nas Figuras 2 a 4, as curvas tensão-deformação obtidas indicam claramente que a adição de PET filete ao solo argiloso promoveu aumento na tensão de pico das misturas. Contudo, observa-se que ocorre pouca variação na rigidez inicial das misturas em comparação ao solo puro, embora nota-se o contrário para maiores deformações. Isto revela que a contribuição dos filetes é baixa para pequenas deformações e indica que à medida que as deformações plásticas começam a predominar no compósito, este tipo de reforço é mobilizado e contribui para o aumento da rigidez.

Para os teores e comprimentos testados nesta pesquisa, a tensão de ruptura das misturas foi sempre superior à do solo puro. Atribui-se isto à hipótese de que tal aumento da resistência à compressão não confinada possivelmente esteja associado ao fato dos filetes gerarem intertravamento dos grãos através dos

contatos das partículas de solo com os filetes. Nota-se também que o aumento na tensão de ruptura das misturas se dá de forma crescente em relação ao solo puro, mas, para o percentual de 1,0%, ocorreu uma situação inversa em comparação à mistura com 0,5% de filete. Presume-se que isso ocorre devido ao fato deste teor (1,0%) se encontrar acima do ideal para o solo em questão. Ou seja, mais uma vez infere-se que esta concentração começa a gerar muitos contatos entre os filetes dentro da mistura e não entre a matriz e o reforço, gerando assim vazios e reduzindo os incrementos de resistência obtidos. Vale frisar que resultados análogos também foram observados e justificados desta forma por Acharyya et al. (2013) e Zukri; Nazir; Mender (2017).

Para todos os teores e comprimentos testados a resistência à compressão não confinada é obtida para maiores deformações quando comparadas ao solo puro. Os dados analisados indicam que o PET filete aumenta a capacidade do compósito em absorver energia e, conseqüentemente gera melhoria na ductilidade do solo argiloso. No entanto, observou-se que quanto maior o teor do reforço inserido na matriz, maior foi a ductilidade obtida, exceto para a mistura S+0,5%FIL.(5mm) que coincidiu com a S+0,25%FIL.(5mm). Além disso, percebe-se também que este efeito é potencializado quanto maior o comprimento do filete utilizado.

Percebeu-se também que para um mesmo teor, quanto maior o comprimento do filete inserido na matriz, maior a resistência à compressão não confinada obtida. Portanto, ainda para um mesmo teor, a ductilidade é melhorada quanto maior o comprimento do filete.

Portanto, verifica-se que dos teores e comprimentos testados existe uma combinação teor-comprimento de PET filete que melhor confere incrementos de resistência à compressão não confinada ao compósito e outra que embora não gere o maior ganho de resistência, contribui de forma mais efetiva na melhoria da ductilidade. Essas combinações correspondem às misturas S+0,5%FIL.(15mm) e S+1,0%FIL.(15mm).

Na Figura 5 são apresentados os valores de coesão obtidos para as misturas solo-PET filete e para o solo puro para efeito de comparação.

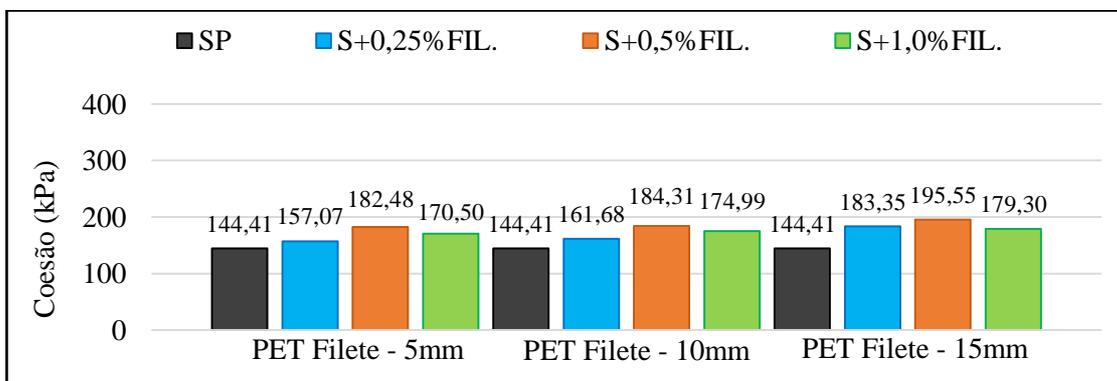


Figura 5: Valores de coesão obtidos para o solo puro e para as misuras Solo-PET filete. Fonte: Autores (2022).

Da Figura 5 percebe-se que a coesão da mistura é influenciada pelo teor e pelo comprimento do filete. Conforme pode ser observado e já identificado nas curvas tensão-deformação, a combinação teor de 0,5% e comprimento de 15 mm, mistura S+0,5%FIL.(15mm), foi a que conferiu o maior incremento na resistência coesiva da mistura, ocasionando um aumento de 35,4% na coesão em relação ao solo puro. Logo, para o solo em questão, este é o teor e o comprimento mais adequado para proporcionar um melhor desempenho mecânico ao material.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o cotejo dos dados e a análise dos resultados desta pesquisa, verificou-se que a adição de PET na forma de filete ao solo argiloso usado no estudo, observou-se uma melhoria do comportamento mecânico das misturas solo-PET em relação ao solo puro. Os resultados mostraram que o PET filete ocasiona discretos incrementos na massa específica aparente seca máxima, exerce pouca influência no teor de umidade, mas proporciona aumento na resistência do solo. Adicionalmente, foi constatada uma melhoria na ductilidade das

misturas quando comparadas ao solo puro. Notou-se ainda que os incrementos foram potencializados à medida que o teor de filete adicionado ao solo e o comprimento do reforço foram aumentados. Por fim, foi observada a existência de uma combinação teor-comprimento de filete ideal para o solo em estudo, sendo esta a combinação de 0,5% de filetes com comprimento de 15 mm, que promoveu aumento acima de 35% no intercepto de coesão da mistura, quando comparada à coesão do solo puro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acharyya, R.; et al. *Improvement of undrained shear strength of clayey soil with PET bottle strips*. In: Proceedings of Indian Geotechnical Conference, 2013, Roorkee. 8p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6459. Solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7180. Solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7181. Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7182. Solo – ensaio de compactação. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 12770. Solo – determinação da resistência à compressão não confinada de solo coesivo. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994). ME 093. Solos – determinação da densidade real. Rio de Janeiro.
- Gray, D. H.; Ohashi, H. Mechanics of fiber reinforcement in sand. *Journ of Geotechnical Engineering*. v. 109, n. 3, p.335-353, mar. 1983. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9410(1983)109:3(335)
- Ingles, O. G.; Metcalf, J. B. *The principles of soil stabilization*. In: INGLES, O. G.; METCALF, J. B. Soil stabilization: principles and practice. 1. Ed. Sydney: Butterworths, 1972. P. 1-20.
- Louzada, N. dos S. L.; Malko, J. A. C.; Casagrande, M. D. T. *Behavior of clayey soil reinforced with polyethylene terephthalate*. *Journ of Materials in Civil Engineering*. v. 31, n. 10, p. 1-11, oct. 2019. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002863
- Botero, E.; et al. *Stress-strain behavior of a silty soil reinforced with polyethylene terephthalate (PET)*. *Geotextiles and Geomembranes*. v. 43, n. 4, p. 363-369, aug. 2015. DOI: 10.1016/j.geotexmem.2015.04.003
- Martínez, I. M. R.; et al. *Mechanical behavior of reinforced clayey soil with fine crushed polyethylene terephthalate*. *Key Engineering Materials*. v. 668, p. 404-410, oct. 2016. DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.668.404
- Salimi, K.; Ghazavi, M. *Soil reinforcement and slope stabilisation using recycled waste plastic sheets*. *Geomechanics and Geoengineering*. p. 1-12, oct. 2019. ISSN 1748-6025. DOI: 10.1080/17486025.2019.1683620
- Senez, P. C.; Casagrande, M. D. T. *Análise do comportamento carga-recalque de uma areia reforçada com fibras de politereftalato de etileno (PET) submetidas a ensaios de placa em modelo físico reduzido*. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 18, 2016, Minas Gerais. 6p.
- Sivakumar Babu, G. L.; Chouksey, S. K. *Stress-strain response of plastic waste mixed soil*. *Waste Management*. v. 31, n. 3, p. 481-488, 2011. DOI:10.1016/j.wasman.2010.09.018
- Zukri, A.; Nazir, R.; Mender, F. N. *An experimental study on stabilization of Pekan clay using polyethylene and polypropylene*. *Ail Conference Proceedings*. v. 1892, n. 1, p. 1-6, oct. 2017. DOI: 10.1063/1.5005668