

## Alterações provocadas pela adição de cal e fibra PET num solo argiloso quanto à: resistência à compressão, tração e compressibilidade

João Victor Machado da Palma

Acadêmico, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil,  
joao.vmp14@aluno.ifsc.edu.br

Ana Karolyna Silveira da Silva

Acadêmica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil,  
ana.k@aluno.ifsc.edu.br

Fábio Krueger da Silva

Docente, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil,  
fabio.krueger@ifsc.edu.br

Fernanda Simoni Schuch

Docente, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil,  
fernandass@ifsc.edu.br

**RESUMO:** Este estudo aborda a utilização de resíduos sólidos, especificamente fibras de polietileno tereftalato (PET) e cal, para melhorar as propriedades mecânicas do solo argiloso. Foi motivada pela necessidade de lidar com os desafios ambientais e de gestão de resíduos, conforme estabelecido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil. Os resultados obtidos mostram que a adição de fibras PET e cal ao solo provocou um aumento significativo na resistência à compressão e tração, além de reduzir as deformações. Os ensaios de compressibilidade unidimensional revelaram uma maior rigidez do solo com adição, indicando uma melhoria nas propriedades de compressibilidade. Os resultados também sugerem que a combinação de fibras PET e cal pode aumentar a capacidade de carga do solo, tornando-o mais adequado para aplicações na engenharia civil. No entanto, é importante considerar os efeitos da adição de cal em relação à proporção e ao tempo de cura. Este estudo contribui para o avanço na compreensão do comportamento do solo com adição química e mecânica e possibilita novos avanços nos estudos geotécnicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** tensão de pré-adensamento virtual; solo melhorado com cal, fibra PET, resistência à tração; resistência à compressão simples.

**ABSTRACT:** This study addresses the use of solid waste, specifically polyethylene terephthalate (PET) fibers and lime, to enhance the mechanical properties of clayey soil. The research was motivated by the need to address environmental challenges and waste management, as established by the National Solid Waste Policy in Brazil. The results obtained demonstrate that the addition of PET fibers and lime to the soil resulted in a significant increase in both compressive and tensile strength, while also reducing deformations. Unidimensional consolidation tests revealed increased soil stiffness with the addition, indicating an improvement in compressibility properties. The findings also suggest that the combination of PET fibers and lime may enhance the soil's load-bearing capacity, making it more suitable for civil engineering applications. However, it is crucial to consider the effects of lime addition in terms of proportion and curing time. This study contributes to advancing understanding of soil behavior with chemical and mechanical additives and enables further progress in geotechnical studies.

**KEYWORDS:** Virtual pre-stressing tension; soil improved with lime, PET fiber, tensile strength; simple compression strength.

## 1 INTRODUÇÃO

A aplicação de resíduos sólidos em solos pode ser uma opção eficaz para aprimorar suas características mecânicas e permitir a reutilização de materiais que, em condições não controladas, podem ser poluentes. A Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil foi estabelecida pela Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que atribui aos produtores e ao governo as responsabilidades sobre o manejo adequado da eliminação desses resíduos. Segundo Caixeta (2022), grande quantidade de resíduos sólidos plásticos produzidos anualmente são descartados de maneira inadequada, somando cerca de 75 milhões de toneladas por ano. Esses números destacam o impacto ambiental gerado pelos mercados globais e sublinham a necessidade de políticas de gestão de resíduos mais conscientes e orientadas para a economia circular. Nesse contexto, o uso de fibras obtidas a partir da reciclagem de garrafas PET em solos é uma excelente alternativa, alinhada com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) número 12 da ONU, 'Consumo e Produção Sustentáveis'.

Dal Pont et al (2019) defendem que o uso de fibras poliméricas recicladas, como a fibra de polietileno tereftalato (PET), em materiais de construção tem sido pesquisado como uma estratégia para aumentar a resistência dos materiais e minimizar o impacto ambiental causado pelo descarte de resíduos. De acordo com os autores, essas fibras ajudam a aumentar a resistência do solo, reduzindo a propagação de rachaduras quando submetido a esforços mecânicos, resultando em maior capacidade de absorção de energia, ductilidade e tenacidade do solo.

Zafar (2023) conduziu uma pesquisa sobre a estabilização do solo utilizando reforço com fibras naturais e sintéticas, destacando a relevância desse tema na engenharia civil. Durante o teste de resistência à compressão não confinada (UCS), o aumento do teor de fibras de PET demonstrou aumentar a resistência de pico em solos argilosos. Além disso, a análise comparativa entre fibras planas e onduladas revelou que o comprimento das fibras afeta a resistência do solo, podendo aumentar até 100% no UCS quando as fibras têm comprimentos entre 6 e 12 mm. No entanto, o autor ressalta que, além de um certo teor de fibra (2%), a força do solo reforçado diminui. De maneira semelhante, Mishra & Gupta (2018) avaliaram a utilização de fibras PET reciclado em combinação com cinzas volantes em solo argiloso. Eles focaram em propriedades geotécnicas específicas, como resistência ao cisalhamento, módulo de cisalhamento, Índice de Suporte Califórnia (CBR), resistência à tração indireta e limites de Atterberg. As investigações demonstraram um ganho mecânico de até 100% no parâmetro CBR, o que representa cerca de 33% de diminuição da espessura de segurança da crosta de pavimentações. Ambos os autores encontraram resultados suficientemente relevantes para instigar uma investigação mais arraigada sobre o assunto e, para o presente estudo, estimularam a combinação dos resultados com um fator atenuante – alcalinização.

Porém, a discussão sobre o parâmetro temporal para essa adição tem certa limitação e, portanto, é necessário considerar possíveis variações, por exemplo, de resistência ao longo do tempo e em diferentes condições ambientais. Silva et al. (2005) observaram que a adição de um material mais alcalino, como a cal (comumente usada para estabilização do solo), pode causar a degradação da fibra PET e afetar seus parâmetros de resistência.

No campo da mecânica dos solos, ainda, o teste de compressibilidade (ou compressão eodométrica) pode ser crucial para analisar o comportamento de solos com adição. Este é um dos métodos de avaliação mais importantes para determinar recalques em solos argilosos, que pode ser entendido como o resultado do produto da variação do índice de vazios e da altura de sólidos (PINTO, 2006). A determinação de deformações causadas por cargas verticais na superfície ou em cotas próximas à superfície é de grande interesse para a engenharia geotécnica, permitindo estimar recalques em fundações superficiais (radiers e sapatas) ou aterros sobre o terreno (OLIVEIRA, 2019).

Dessa forma, o objetivo deste estudo é identificar o comportamento de solo argiloso melhorado com cal e fibra PET em relação aos seus parâmetros de compressibilidade para diferentes idades de cura. A pesquisa foi conduzida em várias fases, incluindo a moldagem de corpos de prova, a realização de testes de resistência, compressibilidade unidimensional, e análise dos dados coletados. Os resultados obtidos fornecem percepções valiosas que podem guiar futuras pesquisas e aplicações no campo da geotecnia. A pesquisa atingiu seu objetivo geral de observar e quantificar as mudanças ocorridas em solo melhorado com fibra PET com teor alcalino alterado pela adição de cal.

## 2 MÉTODO DA PESQUISA

Trata-se de uma pesquisa aplicada, de caráter experimental para a qual, de início, estabeleceram-se as diretrizes, através de uma revisão de literatura abrangente, na intenção de suportar hipóteses sobre a utilização de adições fibrosas (sintéticas) e cal no solo, para fins de aprimoramento mecânico. Em seguida, aplicou-se uma robusta investigação das características do solo, incluindo: coleta do solo, preparação da fibra PET; caracterização dos materiais (solo e fibra), ensaios de resistência (à compressão e tração) e ensaio de compressibilidade unidimensional.

Obteve-se o solo natural com amostra deformada de talude localizado no município de Biguaçu/SC. A coleta foi realizada a 1,5 metro de profundidade e o material foi armazenado/transportado em caixas plásticas (Figura 1), até o laboratório de Geotecnia, onde foi seco e armazenado em tonéis hermeticamente fechados.



Figura 1. Coleta do solo  
Fonte: Autores.

Com parcelas do material seco, caracterizou-se o solo, no rigor das normas: NBR 6458:2016 – anexo B para massa específica; NBR 7181:2016, para ensaio de granulometria; NBR 6459:2016, para ensaio de limite de liquidez; NBR 7180:2016, para ensaio de limite de plasticidade. As etapas de preparação das amostras de solo seguiram a norma NBR 6457:2016 e o número de amostras foram extrapolados, para se obter maior precisão.

A partir do ensaio de granulometria detectou-se que se trata de um solo com 53% de argila, 18% de silte, 27% de areia e 2% de pedregulho. Os resultados da caracterização corroboram com os dados obtidos da EMBRAPA (2004), classificando o solo como: plástico, com matriz argilosa. Segundo o diagrama trilinear, é classificado como argila. Além disso, após mais ensaios, obteve-se os demais dados da caracterização (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização do solo

Propriedade	Valor	Unidade
Massa específica dos grãos	2,61	g/cm <sup>3</sup>
Limite de Liquidez	52	%
Limite de Plasticidade	38	%
Índice de Plasticidade (LL-LP)	14	-
Umidade Ótima	24,4	%
Massa específica seca máxima.	1,59	g/cm <sup>3</sup>

Fonte: Palma et al, 2023.

Depois, utilizou-se: NBR 7182:2016, para ensaio de compactação – a fim de se determinar a massa específica seca máxima e a umidade ótima (Figura 2), as quais foram utilizadas como referência para moldar os corpos de prova (CPs) dos ensaios de resistência à compressão simples não confinada (NBR 12770:2022) e de compressão diametral (tração indireta) (NBR 7222:2011).

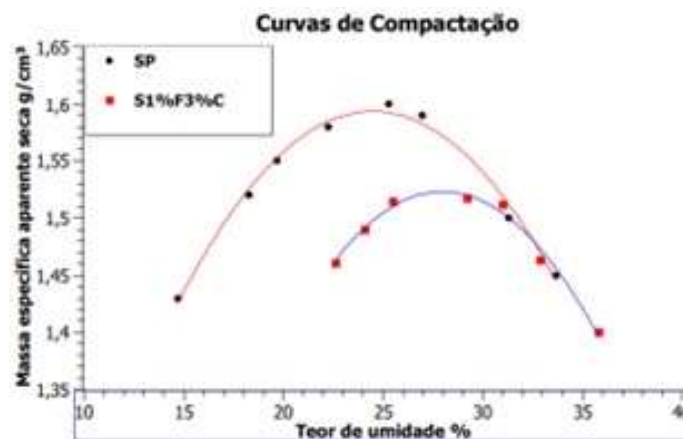


Figura 2. Curvas de compactação  
Fonte: Palma et al, 2023.

Nas curvas de compactação nota-se uma clara diminuição no valor da massa específica aparente seca, bem como o aumento da umidade ótima, devido a adição de fibra PET e cal. Isto se deve ao fato de que há um incremento de materiais menos densos do que as partículas do solo. A cal necessita de mais água para reagir, o que aumenta o teor de umidade ótima da mistura. A fibra PET também contribui para este aumento da umidade ótima, uma vez que gera ‘caminhos’ para que a água percorra o solo em torno da mesma.

Para garantir que os corpos de prova ensaiados estivessem corretamente moldados, foram controladas as suas densidades medindo-se a massa e as dimensões (para calcular o volume). Buscou-se também medir o pH dos corpos de prova rompidos com um peagômetro portátil, certificando-se de que as fibras inseridas no solo estavam num ambiente alcalino, o que poderia acelerar seu processo de degradação (de acordo com Silva et al. 2005) e influenciar nos resultados obtidos.

Quanto a adição de polímero, optou-se pela utilização do Polietileno Tereftalato (PET), em função de sua disseminada utilização (CAIXETA, 2022), bem como pelo acesso prévio ao material, gentilmente cedido pela empresa Cordoaria Brasil SA, a qual obtêm fibras de garrafas recicladas adquiridas de associações de catadores. São fibras de 15mm de comprimento como mostrado abaixo (Figura 3).



Figura 3. Fibra PET  
Fonte: Palma et al, 2023.

Para induzir a alcalinização do compósito utilizou-se a cal hidratada dolomítica CH-III, da marca Cal Cem Indústria de Minérios LTDA, vendida em sacos de 20kg de Colombo – PR. Optou-se por essa adição por se tratar de um aglomerante aéreo o qual reage em contato com o ar, não necessitando de hidratação como a cal virgem.

Para realização da moldagem dos corpos de prova, primeiro, determinou-se quais teores de adição de cal e fibra PET seriam utilizados nas misturas a serem testadas, de modo a se alcançar os objetivos propostos. Fixando teores de 1% de fibra PET e, 3% de cal, em relação à massa seca de solo, foram estabelecidas as misturas do estudo e, em função do fator de cura dos corpos de prova (CPs), foram estabelecidas idades específicas para os ensaios (Tabela 2). A cura se deu por 44 e 90 dias com os corpos de prova embalados unitariamente, em sacos plásticos, e armazenados em tanques hermeticamente fechados.

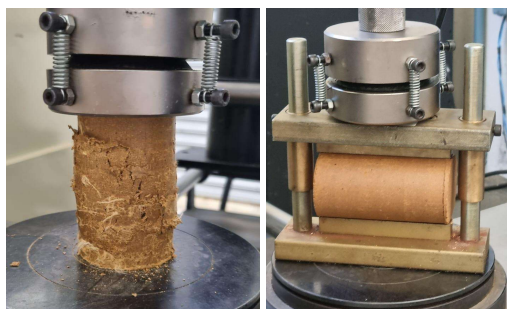
Os CPs foram moldados no cilindro de Harvard e compactados em 6 camadas, utilizando-se um tarugo para compactação, na umidade ótima obtida no ensaio de compactação. Foram desmoldados com cuidado e aferidas suas medidas, usando um paquímetro; além disso, mediu-se suas respectivas massas, com balança de precisão. Este procedimento buscou garantir que o processo de moldagem fosse mais homogêneo minimizando

variáveis a influenciar no processo metodológico. Em seguida, ambos os CPs foram rotulados/identificados, antes do armazenamento, em local fechado, longe de intempéries.

Tabela 2 - Compósitos de solo e adições

Nº	Mistura	Identificação da amostra	Idade (dias)	Fibra PET (%)	Cal (%)
1	Solo Puro	SP-D0	0	0	0
2	Solo + 1%Fibra PET + 3%Cal	S1%F3%C-D0	0	1	3
3	Solo + 1%FibraPET + 3%Cal	S1%F3%C-D44	44	1	3
4	Solo + 1%FibraPET + 3%Cal	S1%F3%C-D90	90	1	3

Ao alcançarem as idades precisas, foram realizados os ensaios de resistência de compressão simples não confinada, em prensa universal de ensaios, com velocidade controlada e uma célula de carga de 100 kgf (Figura 4). Também realizou-se o ensaio de compressão diametral (tração indireta), com a mesma velocidade e célula de carga acrescentando-se apenas o pórtico de Lottmann (Figura 5), para a distribuição da força sobre a superfície cilíndrica do CP.



Figuras 4 e 5: Compressão simples (esquerda) e tração indireta (direita)  
Fonte: Autores.

Realizou-se o ensaio de compressibilidade unidimensional tendo como base a ABNT NBR 16853:2020, a partir dos mesmos traços de material estabelecidos anteriormente. Para tanto foram moldados CPs num cilindro de Proctor pequeno e moldados no anel para carregamento. As amostras foram ensaiadas nas idades de até 24 horas, 44 dias e 90 dias de cura. Nesse ensaio, uma amostra representativa do solo foi colocada em um molde cilíndrico (célula de adensamento), saturada e submetida a uma carga vertical constante (Figuras 6 e 7).



Figuras 6 e 7. Montagem do corpo de prova na célula de adensamento (esq.) e equipamento de compressibilidade (dir.).

Fonte: Autores.

A carga aplicada causa a variação volumétrica do solo, resultando em uma diminuição da sua altura e consequentemente do índice de vazios. Durante o ensaio, registrou-se as deformações verticais do solo em função do tempo, permitindo obter informações sobre a compressibilidade e a consolidação do solo. A partir destes métodos foi possível obter-se a curva de compressibilidade para cada amostra, a pressão de pré-adensamento virtual ( $\sigma'_{vm}$ ) através do método Pacheco & Silva, o coeficiente de recompressibilidade ( $C_r$ ), o coeficiente de compressibilidade ( $C_c$ ), o de descarregamento ( $C_d$ ) e o coeficiente de adensamento vertical ( $C_v$ ) pelo método de Taylor.

Ao final dos ensaios, analisou-se todos os dados obtidos no Excel (planilha eletrônica), obtendo-se os valores numéricos médios e os respectivos desvios padrão.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante os ensaios de compressão simples não confinada, observou-se a ruptura do CPs visualmente e pelo painel da prensa (indicação automática do sistema). Após, tabulou-se os dados, construiu-se as curvas tensão x deformação axial específica e obteve-se os valores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados compressão simples não-confinada

	SP-D0	S1%F3%C-D0	S1%F3%C-D44	S1%F3%C-D90
$q_u$ média (kPa)	528,98	534,33	536,77	965,42
desv. pad. $q_u$	1,38	1,19	1,25	44,07
$\epsilon\%$ média	2,60	1,62	1,27	3,82
desv. pad. $\epsilon\%$	0,27	0,29	0,19	0,17

Observando-se a tabela acima verifica-se que, para a mistura com idade de 90 dias ( S1%F3%C-D90), há um ganho de 82% tensão máxima de ruptura e 47% na deformação específica média quando comparadas com o solo puro (SP-D0). Ou seja, o solo é mais resistente porém, mais deformável. O ganho de resistência se dá pela adição de cal hidratada e, a adição de fibra PET auxilia na distribuição das tensões no CP o que faz com que este se deforme mais.

Já no ensaio de resistência à tração ( $q_t$ ), obteve-se na compressão diametral, os seguintes resultados (Tabela 4):

Tabela 4. Resultados dos ensaios de tração por compressão diametral

Amostra	Solo	Mistura	Mistura	Mistura
	natural	S1%F3% 0%F	S1%F3% C-D0	S1%F3% C-D44
$q_t$ médio (kPa)	65,60	145,30	158,28	192,89
Desv. Pad.	1,47	0,43	2,09	8,81

Verificou-se que, ao adicionar fibra PET e a cal ao solo houve um aumento na resistência à tração de aproximadamente 119% para a mistura com adições S1%F3%C-D0 (0 dias) e 131% para a mistura S1%F3%C-D44 (44 dias). Para a mistura com idade de 90 dias (S1%F3%C-D90) houve um ganho de 194% tensão máxima de ruptura quando esta é comparada com o solo puro (SP-D0). Visualmente também se percebeu uma maior deformação lateral dos CPs, houve uma variação mais significativa no diâmetro dos CPs produzidos com solo melhorado em relação ao sem adição.

Por sua vez, o ensaio de compressibilidade unidimensional desempenhou um papel fundamental no estudo, permitindo quantificar os parâmetros de deformabilidade do solo natural e com adição (Figura 8). Notou-se uma maior recuperação de deformação durante as etapas de descarregamento e recompressão para as misturas com adição, indicando uma maior rigidez do solo (Tabela 5).

Tabela 5. Tensão de pré-adensamento, índices de vazios iniciais e coeficientes ( $C_r$ ,  $C_c$  e  $C_d$ )

Amostra	$\sigma'_{vm}$ (kPa)	$e_0$	$C_r$	$C_c$	$C_d$
S 0%F	136	0,98	0,09	0,32	0,03
1%Fibra+3%Cal - D0	320	0,92	0,05	0,33	0,04
1%Fibra+3%Cal - D44	314	0,99	0,05	0,32	0,05
1%Fibra+3%Cal - D90	412	0,89	0,05	0,40	0,05

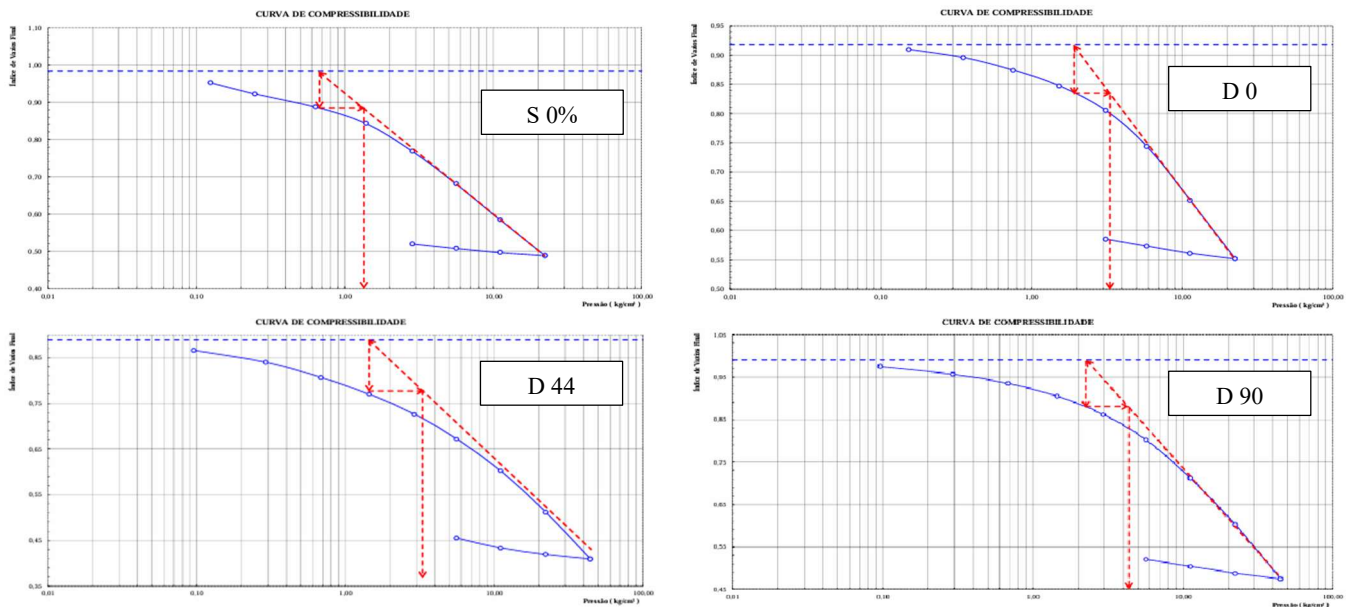


Figura 8. Compressibilidade das amostras ensaiadas  
 Fonte: dos autores

Estes resultados sugerem que a adição de fibra de PET e cal pode melhorar significativamente as propriedades de compressibilidade do solo argiloso. A fibra de PET age como um reforço mecânico, enquanto a cal promove uma reação química que altera as propriedades do solo. No entanto, é importante considerar que os efeitos da adição de cal podem ser limitados dependendo da proporção e do tempo de cura. O coeficiente de compressão ( $C_c$ ), por exemplo, não variou significativamente até a idade de 44 dias mesmo se comparado com o solo sem adição.

A tensão de pré adensamento virtual variou para os solos compactados com adição em diferentes idades quando comparados entre si, mostrando haver um incremento de 22% em  $\sigma'_{vm}$ . Ainda mais significativa foi esta variação quando se compara o solo com 90 dias de idade e o solo sem adição, ficando em torno de 69% de aumento pela adição de fibra e cal.

Isso sugere que a adição de fibra de PET e cal pode aumentar a capacidade de carga do solo argiloso, tornando-o mais adequado para aplicações de engenharia civil.

#### 4 CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que a adição de fibra de PET e cal pode melhorar significativamente as propriedades mecânicas e de compressibilidade do solo argiloso. Os corpos de prova preparados com adição apresentaram maior resistência à compressão e tração, bem como menor deformação durante o ensaio de compressibilidade unidimensional. Além disso, observou-se uma maior recuperação de deformação durante as etapas de descarregamento e recompressão, indicando uma maior rigidez do solo com adição.

Os resultados sugerem que a fibra de PET atua como um reforço mecânico, enquanto a cal promove uma reação química que altera as propriedades do solo. No entanto, é importante considerar que os efeitos da adição de cal podem ser limitados dependendo da proporção e do tempo de cura. Portanto, recomenda-se a

realização de estudos adicionais para investigar esses aspectos com mais detalhes e avaliar a viabilidade da aplicação dessas técnicas em projetos de engenharia civil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.
- \_\_\_\_\_. NBR 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.
- \_\_\_\_\_. NBR 6459: Solo: Determinação do limite de liquidez: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.
- \_\_\_\_\_. NBR 7180: Solo: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.
- \_\_\_\_\_. NBR 7181: Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.
- \_\_\_\_\_. NBR 7182: Solo: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.
- \_\_\_\_\_. NBR 16853. Solo — Ensaio de adensamento unidimensional. Rio de Janeiro, 2020.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 2010. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>.
- CAIXETA, D.; MORAIS, E.; CAIXETA, F.; CAIXETA, I.. Microplásticos como indicadores de poluição ambiental e seus efeitos sobre os organismos. Enciclopédia biosfera, [S. l.], v. 19, n. 40, 2022. Disponível em: <<https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/5479>>. Acesso em: 01 jul. 2023.
- DAL PONT, G. M. et al. Análise do comportamento mecânico de misturas de um solo argiloso com fibras de pet e cal hidratada. 2019. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC).Disponível em:< <http://repositorio.unesc.nethandle/1/6499>>.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento: Solos do Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 721 p., 2004.
- MISHRA, B., & GUPTA, M. K. Effect of PET fiber and fly ash on engineering properties of subgrade soil. Construction and Building Materials, 190, 95-107. 2018.
- OLIVEIRA, A. A. Avaliação dos parâmetros de adensamento de um solo tropical sob influência da adição de rejeito da usina de etanol. 2019. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Departamento de Áreas Acadêmicas Iii, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2019.
- PALMA, J. V. M.; SANTOS, L. F.; SILVA, A. K. S.; SCHUCH, F. S.; SILVA, F. K.; Aproveitamento de Fibra PET Reciclada Adicionada em Solo Argiloso Alcalino. Anais do GEOSUL 2023. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1Euos29WqRnqVbSx3W9BGe5cKdyK9PIN6/view>; acessado em 19/06/2024.
- PINTO, C.S. Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 216 p.
- SILVA, D. A. D. et al. Degradation of recycled PET fibers in Portland cement-based materials. Cement and concrete research, v. 35, n. 9, p. 1741-1746, 2005.
- ZAFAR, T., ANSARI, M.A., & HUSAIN, A. Soil stabilization by reinforcing natural and synthetic fibers – A state of the art review. International Conference on Advances in Construction Materials and Structures. Elsevier Ltd. 2023.