

AVALIAÇÃO DO USO DE FIBRAS DE GARRAFAS PET COMO REFORÇO DE SOLO LATERÍTICO COMPACTADO

EVALUATION OF THE USE OF PET BOTTLE FIBERS AS COMPACTED LATERITIC SOIL REINFORCEMENT

Talita GANTUS-OLIVEIRA

Universidade Estadual de Campinas. Cidade Universitária Zeferino Vaz - Barão Geraldo, Campinas – SP
E-mail: tgantus@gmail.com

Introdução
Resíduos sólidos como reforço de solo laterítico:
na fronteira do conhecimento geotécnico sustentável
Metodologia
Seleção e coleta de amostra
Caracterização e classificação do solo
Confecção das fibras de politereftalato de etileno
Ensaios de compactação, ICS e cisalhamento direto
Resultados e discussões
Ensaios tecnológicos
Conclusões
Referências

RESUMO - Com o crescimento acelerado em obras de infraestrutura, o aumento das atividades industriais e a constante geração de resíduos, faz-se necessário o desenvolvimento de medidas sustentáveis para minimizar os impactos ao meio ambiente. Da conjugação desses fatores, surge uma interessante perspectiva para a utilização de materiais alternativos para aterro em obras geotécnicas, atentando-se para a redução do impacto causado pelo descarte de resíduos sólidos. Nesse sentido, é possível aliar geotecnia experimental e ambiental a métodos e práticas alternativas e sustentáveis para sua abordagem em obras civis geotécnicas. No âmbito da estabilização de solos, por exemplo, a utilização de materiais alternativos ainda é muito incipiente. 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 uma análise experimental simplificada do comportamento de um solo laterítico reforçado com fibras de garrafas PET como base de pavimentação. O comportamento foi simulado por meio de ensaios laboratoriais de compactação, de resistência à penetração e de cisalhamento direto. Os resultados obtidos mostraram a influência das fibras de garrafas PET no aumento da resistência à penetração do solo. Sugere-se, entretanto, o aprofundamento na avaliação do comportamento das fibras para conclusões definitivas.

Palavras-chave: Garrafa PET. Geotecnia ambiental. Reforço de solo. Solo compactado. Mecânica dos solos.

ABSTRACT - With the accelerated growth in infrastructure works, the increase in industrial activities and the constant generation of waste, it is necessary to develop sustainable practices to minimize impacts on the environment. From the combination of these factors, an interesting perspective arises for the use of alternative materials for landfill in geotechnical works, paying attention to the reduction of the impact caused by the disposal of solid waste. In this sense, it is possible to combine experimental and environmental geotechnics with alternative and sustainable methods and practices for its approach in geotechnical civil works. In the scope of soil stabilization, for example, the use of alternative materials is still very incipient. In order to expand the area of knowledge in reference to the use of materials to reinforce compacted soils, the present work aimed at a simplified experimental analysis of the behavior of a lateritic soil reinforced with PET bottle fibers as a paving base. The behavior was simulated through laboratory tests of compaction, resistance to penetration and direct shear. The results obtained showed the influence of PET bottle fibers in increasing soil penetration resistance. It is suggested to deepen the evaluation of the behavior of the fibers for definitive conclusions.

Keywords: PET bottle. Environmental geotechnics. Soil reinforcement. Compacted soil. Soil mechanics.

INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais remotos, o solo é, sem dúvida, o material mais utilizado em construções. Desde a antiguidade, tem-se empregado a técnica de reforço em solos com a inclusão de materiais (raízes de árvores, telas de bambu, fibras de coco) para a correção das suas características de resistência (Benjamin, 2006). Com o passar do tempo, o desenvolvimento da indústria de materiais poliméricos vem investindo em matérias-primas para a fabricação de elementos de reforço, os chamados geossintéticos (Góngora, 2015).

No Brasil, o emprego de geossintéticos em obras

rodoviárias tem aumentado notavelmente nos últimos anos, especialmente pela necessidade de rodovias com maior resistência e durabilidade, visto que a aplicação do reforço pode melhorar a capacidade de suporte do sistema (Góngora, 2015). Entretanto, apesar das vantagens relacionadas à utilização de geossintéticos, a maioria das estruturas de contenção no Brasil 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 ampla dessas estruturas no Brasil (Benjamim, 2006).

Em vista disso, estudos vêm sendo realizados fazendo uso de geossintéticos e de materiais de descarte (que atuam de maneira objetivamente análoga aos geossintéticos) como reforço, visando melhorias no desempenho das estradas e no prolongamento de sua vida útil. Dentre os estudos, destacam-se os reforços compostos de resíduos de construção civil e demolição (Santos, 2011), fios de cabelo (Aguilar et al., 2009) e fibras de vidro e de polipropileno (Reschetti, 2008). Fletcher & 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 & 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.

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 avaliar o comportamento de solo compactado reforçado com fibras de politereftalato de etileno (PET), presente em garrafas PET, como base para pavimentação. 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 ao cisalhamento em uma amostra composta pela mistura das fibras em um solo laterítico.

A escolha do solo laterítico se deu a partir de

bases teóricas experimentais. Os solos lateríticos são originados em regiões com intemperismo intenso e rápido, com altas temperaturas, ambiente úmido, chuvas abundantes e percolação de água, sendo este um ambiente propício ao processo de laterização do solo. Esse processo culmina na formação de uma crosta de aparência e espessura bem variáveis, onde predominam óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, devido à intensa lixiviação da sílica em pH elevado e argilominerais (Santos, 2006). Segundo Santos (2006), o solo laterítico fica estável em presença de água devido ao recobrimento dos argilominerais pelos hidróxidos e óxidos hidratados, que também atuam como cimentantes naturais entre as partículas. Na década de 1950, foi realizada a primeira construção de rodovia utilizando-se solo laterítico fino como base de pavimento (Reschetti, 2008). Desde então, vários pesquisadores vêm agregando conhecimento nos estudos a respeito desse material, como Nogami & Villibor (1980), Villibor (1981) e Bernucci (1995).

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. Atentando-se para a redução do impacto ambiental causado pelo descarte de garrafas PET, e tendo em mente que seu tempo de decomposição no meio ambiente é longo, intenta-se, neste trabalho, a conciliação entre práticas sustentáveis e soluções geotécnicas. No que tange as técnicas que atendem a esses quesitos, afirma-se ser possível associar geotecnia analítica e experimental à geotecnia ambiental – pesquisando, analisando e propondo métodos alternativos para sua abordagem em obras civis geotécnicas por meio de medidas sustentáveis para minimizar impactos no meio ambiente.

RESÍDUOS SÓLIDOS COMO REFORÇO DE SOLO LATERÍTICO: NA FRONTEIRA DO CONHECIMENTO GEOTÉCNICO SUSTENTÁVEL

Em 1866, o biólogo alemão Haeckel propôs a criação da ecologia (eco, do latim, *oikos* – “ciência da casa”). Essa ciência se divide em ecologia natural e ecologia social. A ecologia natural diz respeito ao estudo do ecossistema e leva em conta seis princípios: interdependência; ordem dinâmica; equilíbrio autorregulado; implicação direta da diversidade em estabilidade;

fluxo constante de matéria e energia; reciclagem permanente. A ecologia social, por sua vez, leva em consideração esses seis princípios e afirma, ainda, o papel social na produção dos impactos ambientais. O ecologismo, vertente da ecologia social, emerge na década de 1960 como um movimento político de questionamento dos moldes atuais de produção e consumo (Lago & Pádua, 2017).

Não obstante haja irrefutável dependência social da natureza e de suas leis, há, contudo, diversas maneiras que podem mediar essa interação metabólica e que variam de acordo com o desenvolvimento das próprias condições sociais que se apresentam. Além de possível, faz-se necessária a proposição de alternativas a essa mediação que possam colaborar para a construção de sociedades verdadeiramente sustentáveis e resilientes. Esta é a tarefa central da sociedade atual: a regulação consciente da troca metabólica com o sistema natural, repensando os circuitos de produção e consumo de mercadorias (Saito, 2021). Tarefa que não deve ser movida por uma demanda moral, mas sim por uma demanda ética. Questões que envolvem uma reflexão ética sobre a mediação entre a sociedade e o planeta Terra precisam estar na ordem do dia das pesquisas em geociências, pois são temas emergentes e urgentes.

Recentemente, foram descobertas as primeiras ocorrências de análogos de rochas com detritos plásticos na Ilha de Trindade, arquipélago brasileiro a sudeste do Oceano Atlântico (Santos et al., 2022). O sistema deposicional da associação de rochas encontradas sugere que as formas de detritos plásticos são equivalentes sintéticos de rochas nas quais os seres humanos atuam como “agentes deposicionais e pós-deposicionais” (Santos et al., 2022). Embora tenham sido identificados tipos distintos de rochas, todas as formas de detritos plásticos consistiram em polipropileno e polietileno. Ainda que as garrafas PET – utilizadas no presente estudo como material para fabricação da fibra de reforço do solo – tenham em sua composição outro material plástico, o politereftalato de etileno, essa descoberta atenta para a entrada contínua de lixo plástico em ambientes oceânicos e costeiros. Como alertam Santos et al. (2022), a poluição alcançou níveis alarmantes que estão expondo novos ambientes em sistemas naturais.

Não somente por isso, o Antropoceno é um conceito consequente – ainda em discussão na comunidade geológica mundial – dado a esta época geológica em que vivemos hoje, marcada pela industrialização e pela capacidade humana de intervenção nos processos da Terra (Moore, 2020). Na esteira desse debate, a geoética representa uma perspectiva de que é possível manter uma relação regulada e mais equilibrada entre os seres humanos e o planeta, considerando as modernas expectativas de desenvolvimento econômico e social. Essa visão fornece valores

éticos, sociais e culturais para a comunidade (geo)científica e para a sociedade como um todo (Bobrowsky et al., 2017). Visto isso, incorporar a geoética nas geociências, principalmente na geologia, é um passo importante para que concepções sustentáveis de mundo ganhem cada vez mais notoriedade e espaço nas pesquisas científicas.

A partir do documento intitulado *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*, adotado pela quase totalidade dos países no contexto das Nações Unidas, os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) definem as prioridades e aspirações do desenvolvimento sustentável global (United Nations, 2015). Os 17 ODS englobam áreas muito distintas que afetam a qualidade de vida de todos os cidadãos e cidadãs e das gerações futuras. Entre eles, destacam-se aqui aqueles com os quais o presente estudo apresenta interfaces: (a) Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, o emprego pleno e produtivo e o trabalho decente (ODS 8); (b) Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação (ODS 9); (c) Tornar as cidades e as comunidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis (ODS 11); (d) Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis (ODS 12) (United Nations, 2015).

Aliadas à geoética, a geologia de engenharia, a geotecnia e a geologia ambiental podem dar contribuições significativas para práticas sustentáveis na indústria da construção civil, projetando e implementando soluções resilientes, ambientalmente positivas e economicamente eficazes. Nesse sentido, promovendo esses conhecimentos junto aos ODS, abrem-se possibilidades de se pensar em novas formas de gestão dos resíduos de modo a reduzir o impacto do seu descarte no sistema natural. A economia circular de reciclagem representa um instrumento tático de gestão de resíduos alternativo ao modelo econômico linear – “extrair-produzir-consumir-descartar” (Vieira, 2021). A economia circular requer que os recursos, materiais e resíduos sejam geridos de forma eficiente e sustentável ao longo de todo o seu ciclo, e que os produtos sejam pensados e dimensionados objetivando ao máximo aproveitamento dos seus componentes, conduzindo o desperdício ao mínimo (Vieira, 2021) e, consequentemente, a uma menor demanda de recursos naturais para a produção de matérias-primas.

Apesar da importância de ampliação do circuito de reciclagem como base para a economia circular, análises discorrem sobre a particularidade da condição de superexploração da força de trabalho dos catadores de materiais recicláveis nos países capitalistas periféricos de economia dependente (Silva, 2022). Isso aponta para como a gestão ambiental é fundamentalmente relacionada à gestão econômica. Por mais ampla e generalizada que seja a problemática dos resíduos sólidos, permeada por um conjunto de fatores que precisam ser investigados em sua essência (e justamente por isso), não cabe no escopo deste trabalho o aprofundamento das relações sociais, econômicas e, portanto, trabalhistas que a engendra.

Ainda assim, algumas reivindicações sobre a gestão de resíduos podem ser aqui expressas no sentido de garantir possibilidades para um desenvolvimento social – e não apenas econômico – sustentável. Segundo Silva (2022), uma delas visa “garantir os meios de produção mais imediato das associações de catadores (galpões, equipamentos, caminhões etc.), e, conjuntamente, o pleno funcionamento da coleta seletiva a se viabilizar por meio do constante aperfeiçoamento das rotas e mecanismos” (Silva, 2022, p.130). As cooperativas e associações de trabalhadores e trabalhadoras catadores de materiais recicláveis surgem como uma forma de organização dos trabalhadores desta categoria (Silva, 2022), funcionando como um instrumento para a garantia de emprego e renda para a população marginalizada pelo sistema e possibilitando, com isso, a garantia dos demais direitos.

A apropriação e o controle do processo circular da reciclagem pelas associações devem ser financiados “de forma ampla e irrestrita, sobretudo por meio de uma efetiva responsabilização dos grandes geradores de resíduos” (Silva, 2022, p.130). Ademais, a prestação de serviços realizados pelas associações de catadores deve ser plenamente remunerada e garantidos os direitos trabalhistas (Silva, 2022), como sinaliza o ODS 8 (United Nations, 2015) que versa sobre trabalho decente e crescimento econômico. Não obstante, cabe destacar que não é possível superar a problemática dos resíduos sólidos e da exploração da força de trabalho de catadoras e catadores dentro da ordem de produção e consumo estabelecida (Silva, 2022).

Aponta-se, portanto, a necessidade de que novas formas de gestão dos resíduos envolvam outros princípios norteadores do modo de

produção da indústria de reciclagem no Brasil (e no mundo) e fomentem a gestão eficiente e sustentável de resíduos, com base na economia circular. Visto isso, e no que se pretende tímidamente com este trabalho, investir em pesquisas científicas e tecnológicas que investiguem a reutilização de resíduos sólidos em obras de geotecnia, por exemplo, é uma maneira de colaborar para a construção de sociedades resilientes e ambientalmente mais equilibradas.

Tendo em vista as questões supracitadas, Santos (2011) propôs a análise experimental do potencial de uso de materiais alternativos em estruturas de solo reforçado, fazendo uso de resíduos sólidos de construção civil e demolição reciclados como material de preenchimento de um solo silto-arenoso. No que se refere aos resíduos sólidos, este tem sido um dos temas ambientais mais destacados na agenda de discussão sobre sustentabilidade do ambiente construído, sobretudo nos grandes centros urbanos. Diferentes estudos e publicações científicas têm focado variados fenômenos relacionados à geração, coleta, disposição e reciclagem dos rejeitos e resíduos sólidos urbano (Berthier, 2003; Pieters, 1991).

Estudos apontam a reciclagem dos resíduos para sua reutilização em outras esferas da produção, para propósitos construtivos ou como materiais secundários (Pieters, 1991). Reschetti (2008), por sua vez, propôs a avaliação da influência da inclusão de fibras de vidro e de polipropileno no comportamento mecânico de um solo laterítico. A partir dessa lacuna, são apresentados neste artigo os resultados do teste de viabilidade de fibras plásticas de politereftalato de etileno (material presente em garrafas PET) para sua reutilização como reforço de solos compactados para base de pavimentação, utilizando como base o solo laterítico.

Solos lateríticos são caracterizados por apresentarem características macroscópicas e constituição mineralógica peculiar, compondo a camada mais superficial do perfil de solo de áreas bem drenadas (acima do lençol freático). Eles se destacam pela uniformidade e coloração característica, se apresentando nas cores vermelho, alaranjado ou amarelo (Nogami; Villibor, 1981). Os solos lateríticos se encontram em seu estado natural, geralmente, não saturados e com elevado índice de vazios, por isso possuem pequena capacidade de suporte. A capacidade de suporte de um solo diz respeito à sua capacidade de

suportar a carga da tensão que provoca a ruptura do maciço em que a fundação está assentada (Marangon, 2018). Quando compactados, entretanto, a capacidade de suporte dos solos lateríticos é elevada, sendo, por isso, um tipo de solo muito empregado em obras de pavimentação e aterros (Pinto, 2002).

Após a compactação, os solos lateríticos se contraem se o teor de umidade diminuir, mas não se expandem na presença de água (Pinto, 2002). A fração de argila é predominantemente constituída de caulinita e é rica em óxidos de alumínio e de ferro, o que caracteriza sua tonalidade e causa uma cimentação natural recobrimdo agregações de partículas argilosas. Estes óxidos envolvem os argilominerais, resultando em uma microestrutura porosa (com alta permeabilidade) e em uma homogeneidade granulométrica. Quanto à fração arenosa, pode conter elevada porcentagem de concreções de resistência inferior à da areia (rica em quartzo), pois a presença de mica e/ou feldspato nos solos lateríticos reduz a massa específica seca, a capacidade de suporte e o índice de plasticidade, aumentando o teor de umidade ótima e a expansão do solo (Abel, 2011).

Solos lateríticos, ao passarem pelo processo de laterização, tornam-se menos suscetíveis à ação da água, sofrendo menos erosão se comparados aos solos não lateríticos, além de adquirirem uma cimentação que lhes dá bom desempenho mecânico para aplicação em base de pavimentos. Não obstante, a estabilização dessa base pode ser feita com a adição de novos materiais que

proporcionem a melhoria ou o reforço do solo utilizado – sendo esse reforço associado à utilização de inclusões que melhorem o estado físico do solo, enquanto as melhorias associam-se ao estado químico (Pinto, 2002; Abel, 2011).

No que diz respeito ao reforço de solo utilizado (fibras de garrafas PET), segundo Forlin & Faria (2002), o plástico é considerado um substrato inerte, com índice de decomposição variável (quase desprezível) por elementos ambientais, como luz, umidade, calor e microrganismos. Quando degradados, podem originar substâncias não inócuas, de prolongada resistência e de restrito controle ambiental. A transformação em novos materiais, produtos ou formas de reuso consiste em submeter os materiais a serem reutilizados – neste caso, as garrafas PET – a processos mecânicos, moldando-os fisicamente em uma forma diferente da original.

Desse modo, as discussões aqui propostas evidenciam como as pesquisas sobre resíduos sólidos como reforço de solo compactado para pavimentação estão na fronteira do conhecimento geotécnico sustentável. Para além disso, engloba tópicos importantes que, além de emergentes, se fazem urgentes, como a geologia e geotecnia ambiental e os princípios da geoética. Isto posto, para atingir ao objetivo proposto de avaliar o comportamento de um solo laterítico reforçado com a fibras de garrafas PET, foi elaborado o programa metodológico de ensaios laboratoriais, realizados segundo a preconização de suas respectivas normas, apresentado a seguir.

METODOLOGIA

No desenvolvimento do presente artigo, foi utilizada uma metodologia de análise experimental. Os procedimentos realizados no desenvolvimento metodológico consistiram em: (1) revisão bibliográfica; (2) seleção e coleta de amostra de solo; (3) confecção das fibras de garrafas PET; (3) realização dos ensaios laboratoriais; (4) interpretação dos dados. Dentre os ensaios realizados, estão: granulometria, teor de umidade, limites de consistência, compactação, Índice de Suporte Califórnia (ISC) e cisalhamento direto. As etapas encontram-se descritas a seguir.

Seleção e coleta de amostra

Preconizados pela norma NBR 9604 (ABNT, 1986), os trabalhos de coleta da amostra de solo para a execução dos ensaios foram realizados no distrito de Passagem de Mariana, no estado de Minas Gerais, numa região conhecida como Vila

São Vicente. O solo selecionado trata-se de um solo laterítico. Para a seleção do tipo de solo, embasou-se na revisão bibliográfica de estudos prévios – como Reschetti (2008), Trovatto & Portelinha (2015) e Benjamim et al. (2007) – que analisaram a influência de outros materiais de reforço, como fibra de vidro e outros plásticos em solos lateríticos, relatando resultados positivos para o uso de solos lateríticos para esse fim.

Caracterização e classificação do solo

Foram empregados os ensaios de caracterização do solo, a partir dos quais foram determinados diversos parâmetros, tais como: classificação granulométrica, massa específica dos grãos e limites de consistência. Os ensaios seguiram os procedimentos preconizados pelas normas técnicas NBR 7181 (ABNT, 1984), NBR 6459 (ABNT, 1984) e NBR 7180 (ABNT, 1984).

Os ensaios de caracterização realizados foram: granulometria por peneiramento e sedimentação, teor de umidade e limites de consistência (liquidez e plasticidade). A partir da caracterização, procedeu-se à classificação do solo pela sua origem, um complemento importante para o conhecimento das ocorrências e para a transmissão de conhecimentos acumulados. Algumas vezes, a indicação da origem do solo é tão ou mais útil do que a classificação sob o ponto de vista da constituição física. Entretanto, além da classificação pela origem, a qual já é conhecida, o material do presente estudo deve ter sua identificação a partir das partículas que os constituem (Pinto, 2006).

Confecção de fibras de politereftalato de etileno

As fibras de PET foram confeccionadas manualmente no tamanho desejado para a investigação aqui proposta: formato retangular com 7 cm de comprimento e 1 mm de largura (Figura 1). A confecção das fibras se deu com o auxílio de uma guilhotina (Figura 2). A dimensão foi proposta de modo que as fibras pudessem ser facilmente homogeneizadas no solo e acomodadas no molde do corpo de prova usado no ensaio de cisalhamento direto, o qual possui um formato cúbico com volume de 200 cm³; entretanto, as fibras não deveriam ser tão pequenas a ponto de não exercerem influência no ensaio de ISC.



Figura 1. Representação do tamanho das fibras utilizadas.

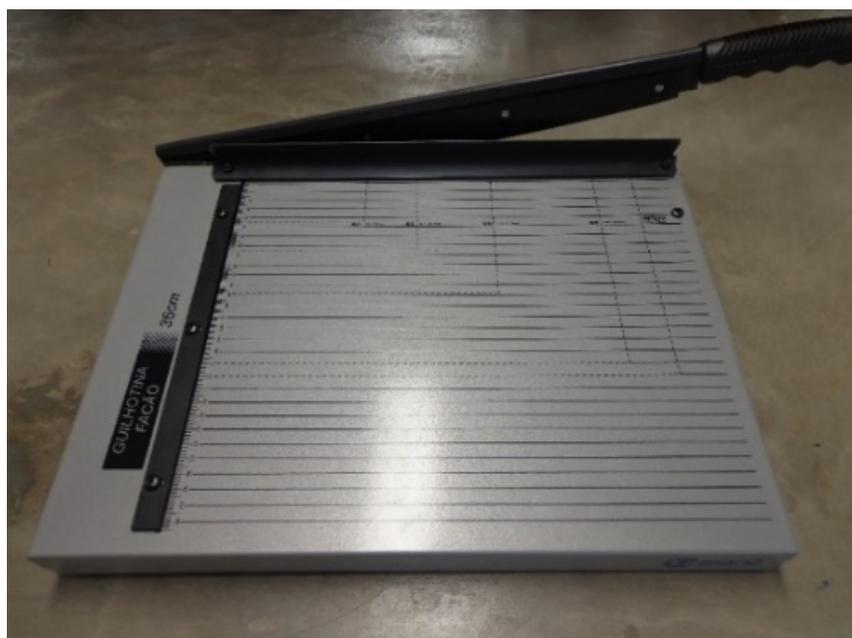


Figura 2. Guilhotina utilizada na confecção das fibras.

Salienta-se que o tamanho aproximado das fibras foi proposto anteriormente por Reschetti (2008), quando da utilização para seu estudo de fibra de vidro na forma de feixes. Como supracitado, o material componente da fibra aqui utilizada é o politereftalato de etileno (PET), um polímero termoplástico cujas principais aplicações são: fibras têxteis, embalagens processadas por injeção-sopro, filmes biorientados 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).

Ensaio de compactação, ICS e cisalhamento direto

Após determinadas as características fundamentais do solo por meio dos ensaios de caracterização, foram realizados os ensaios de compactação, de ISC e de cisalhamento direto nas amostras de solo sem reforço e reforçado com as fibras. O solo reforçado foi preparado com as fibras dispostas e misturadas de maneira randômica na amostra, como pode ser observado na Figura 3, 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 3. Solo utilizado no estudo com a adição das fibras de garrafas PET.

Com os ensaios de compactação, Índice de Suporte Califórnia (ISC) e cisalhamento direto, foi possível determinar, respectivamente, a massa específica seca máxima, a umidade ótima e a resistência do corpo de prova, obtendo resultados comparativos para o solo sem reforço

e reforçado. Para os ensaios de compactação, Índice de Suporte Califórnia (ISC) e cisalhamento direto, utilizou-se como referência as normas técnicas NBR 7182 (ABNT, 1988), NBR 9895 (ABNT, 1987) e D3080 (ASTM, 2004), respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios para se determinar a granulometria do solo, preconizados conforme a norma, foram realizados com e sem a adição de defloculante – hexametáfosfato de sódio na proporção de 120 ml para 75 g de solo. Como o defloculante tem a função de desagregar grãos maiores, os resultados do ensaio indicaram uma classificação para o solo como sendo argila siltosa com pedregulhos de cor marrom avermelhada; já para o ensaio sem o defloculante, o solo foi classificado como areia siltosa

com pedregulhos de cor marrom avermelhada, pois neste os grãos argilosos não se desagregaram.

Os resultados distintos da análise realizada com e sem o uso do defloculante pode se justificar pela existência de agregações de partículas constituintes do solo analisado em concreções com certa resistência à água, necessitando de um agente químico dispersor. As características geotécnicas da amostra de solo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo das características geotécnicas do solo.

<i>Parâmetro</i>	<i>Unidade</i>	<i>Valor</i>
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 (I_a)	-	0,27
Índice de consistência (IC)	-	1,40
Massa específica dos grãos (ρ_s)	(kN/m ³)	28,9

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; Sória, 1986). De acordo com as características geotécnicas, o solo foi classificado, segundo seu índice de consistência, como de baixa compressibilidade e baixa atividade, medianamente plástico e duro. Segundo o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), foi classificado como ML-CL, e pelo Sistema de Classificação Rodoviária (HRB) como A-4 (6). Segundo o Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), caso o limite de liquidez seja maior que 25% e/ou o índice de plasticidade seja maior que 6%, o solo poderá ser usado em base estabilizada para

pavimentação – camada sobre a qual se constrói o revestimento.

No que diz respeito aos 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. 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 pelo reforço, pois, ao serem homogêneas no material, as fibras 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 4.

Tabela 2 - Parâmetros do ensaio de compactação.

<i>Parâmetro</i>	<i>Unidade</i>	<i>Sem fibra</i>	<i>Com fibra</i>
Umidade ótima (w_{ot})	%	24,5	23,9
Massa específica seca máxima ($\rho_{dmáx}$)	(kN/m ³)	16,3	15,7

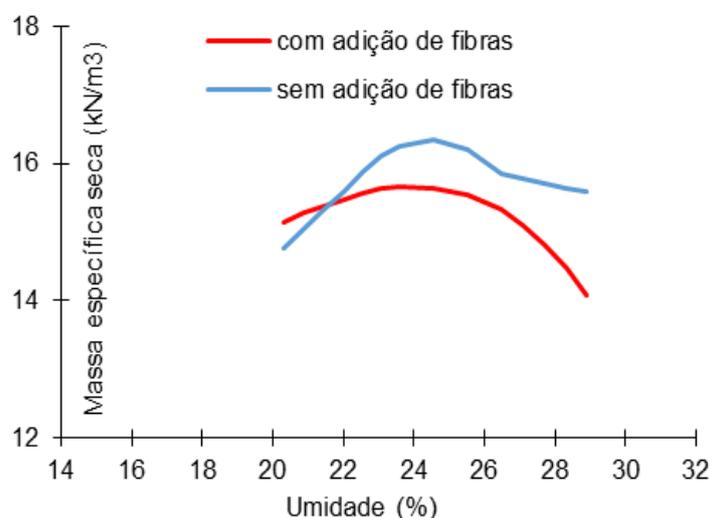


Figura 4 - Curvas resultantes do ensaio de compactação.

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. 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. O ensaio de penetração, feito após quatro dias de imersão do corpo de prova, simula a pior condição possível. O resultado encontra-se apresentado no gráfico de correção do ISC,

plotado na curva “pressão *versus* penetração”. As Figuras 5 a 9 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.

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

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

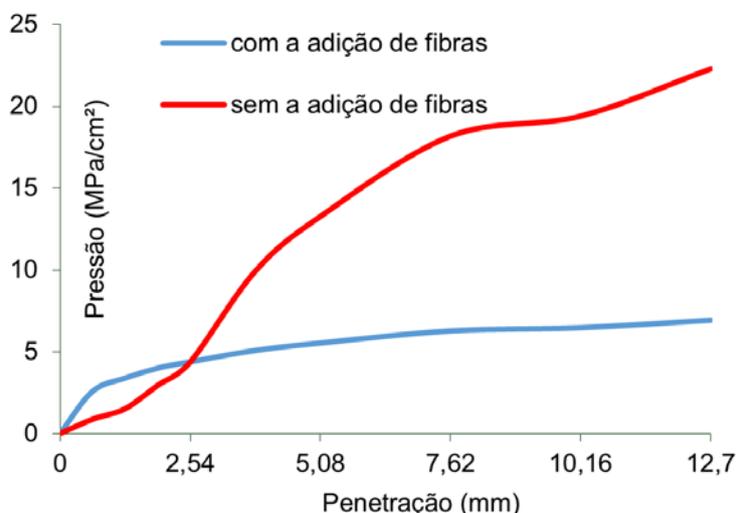


Figura 5. Gráfico de correção do ISC para o 1º ponto, de umidade 20,3%.

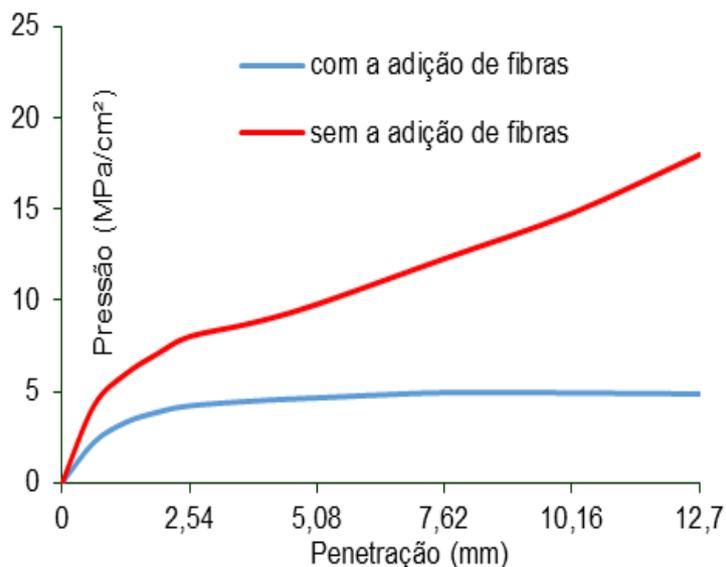


Figura 6 - Gráfico de correção do ISC para o 2º ponto, de umidade 22,0%.

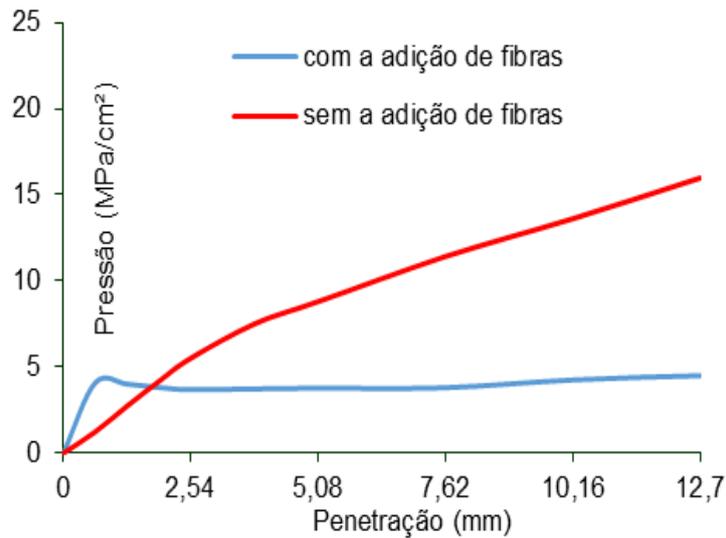


Figura 7. Gráfico de correção do ISC para o 3º ponto, de umidade 23,6%.

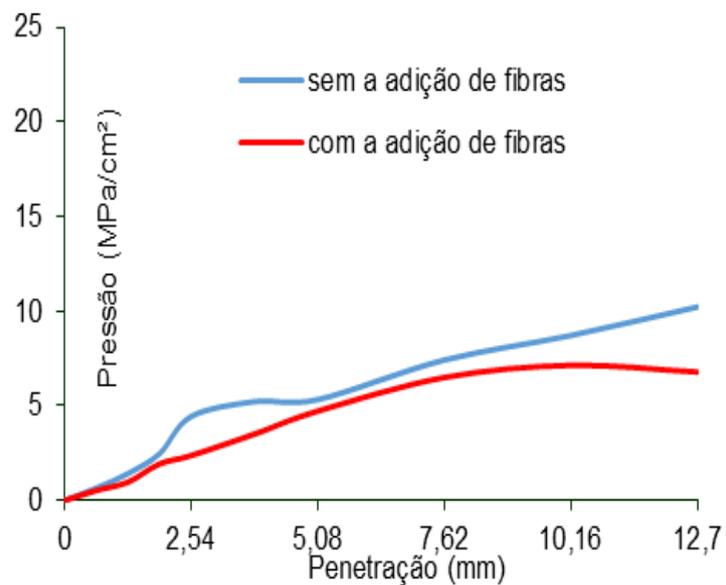


Figura 8. Gráfico de correção do ISC para o 4º ponto, de umidade 26,5%.

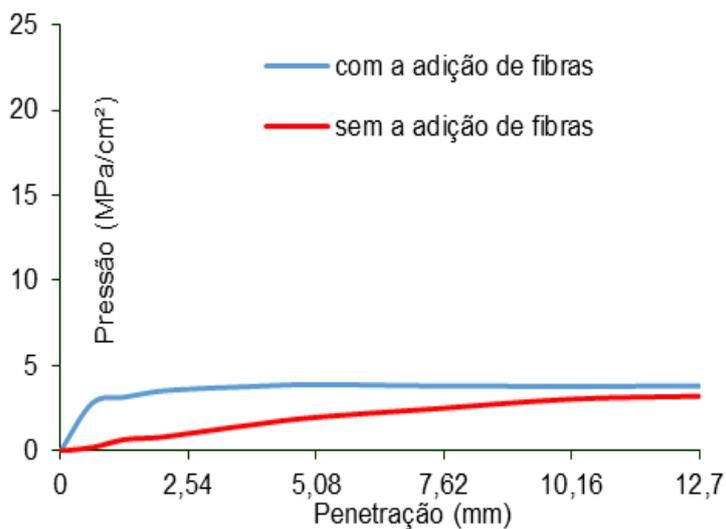


Figura 9. Gráfico de correção do ISC para o 5º ponto, de umidade 28,3%.

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 padrão têm valores correspondentes às penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm, respectivamente. As representações gráficas das Tabelas 4 e 5 encontram-se nas Figuras 10 e 11.

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

<i>Reforço</i>	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>	<i>Ponto 3</i>	<i>Ponto 4</i>	<i>Ponto 5</i>
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.

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

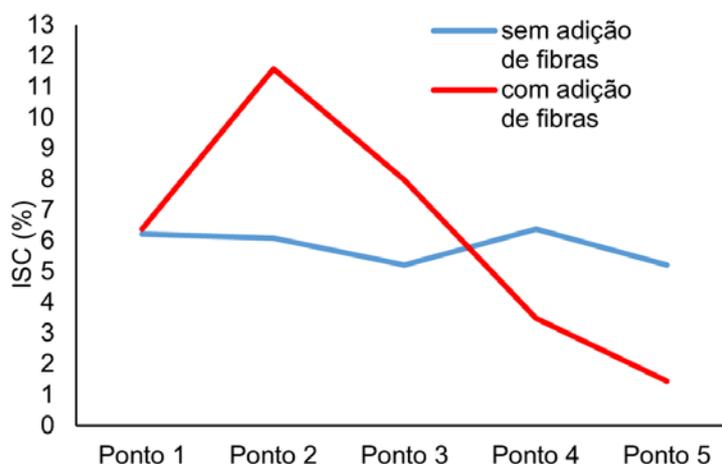


Figura 10. Valor do ISC, em porcentagem, dos pontos compactados, para uma pressão padrão de 6,90 MPa.

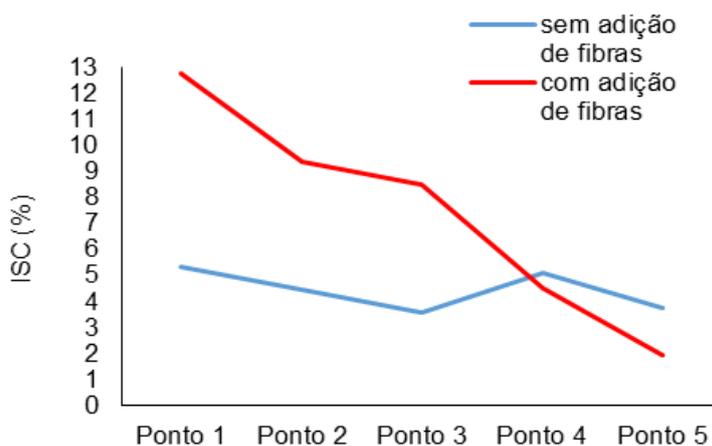


Figura 11.- Valor do ISC, em porcentagem, dos pontos compactados, para uma pressão padrão de 10,35 MPa.

Observando os dados referentes ao ISC (Tabelas 4 e 5 e Figuras 10 e 11), corrobora-se 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). De maneira similar à compactação, ao preencherem os vazios que seriam ocupados pelas partículas do solo, as fibras impedem que

durante a imersão e conseqüente saturação do material esses vazios sejam oclusos pela água, já que são preenchidos pelas fibras. Com isso, o solo satura menos, tendo, portanto, uma menor expansão. 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 moldado 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.

<i>Reforço</i>	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>	<i>Ponto 3</i>	<i>Ponto 4</i>	<i>Ponto 5</i>
Sem fibra	0,43	0,50	0,13	0,13	0,11
Com fibra	0,11	0,16	0,13	0,09	0,00

Na seqüência, foram realizados ensaios de cisalhamento direto. O volume do corpo de prova utilizado no ensaio de cisalhamento foi de 200 cm³, e seu procedimento de moldagem, em ambos os casos, se deu a partir da extração em um corpo de prova compactado na umidade ótima em um cilindro de compactação de 2.184,61 cm³. O cisalhamento foi realizado para o solo com e sem reforço. No corpo de prova com reforço, as fibras foram dispostas de maneira randômica, sem uma orientação predeterminada,

como nos outros ensaios. As amostras foram submetidas a tensões normais de 50, 100 e 200 kPa. A Figura 12 representa um corpo de prova com a aplicação do reforço cisalhado sob uma tensão de 100 kPa. Os resultados obtidos nos ensaios de cisalhamento direto são apresentados em gráficos de “tensão cisalhante *versus* deformação horizontal” (Figuras 13 e 14), “deformação vertical *versus* deformação horizontal” (Figura 15 e 16) e “tensão cisalhante *versus* tensão normal” (Figura 17).



Figura 12. Corpo de prova, moldado com solo reforçado, cisalhado com uma tensão aplicada de 100 kPa.

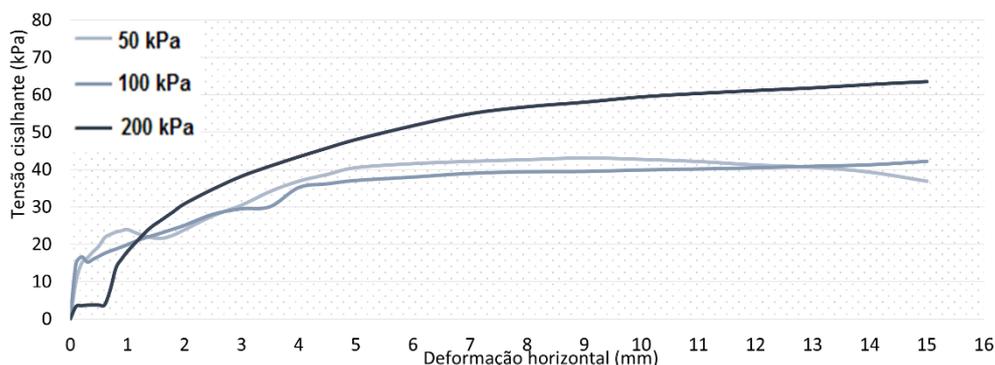


Figura 13. Gráfico de “tensão cisalhante *versus* deformação horizontal” para o solo sem reforço.

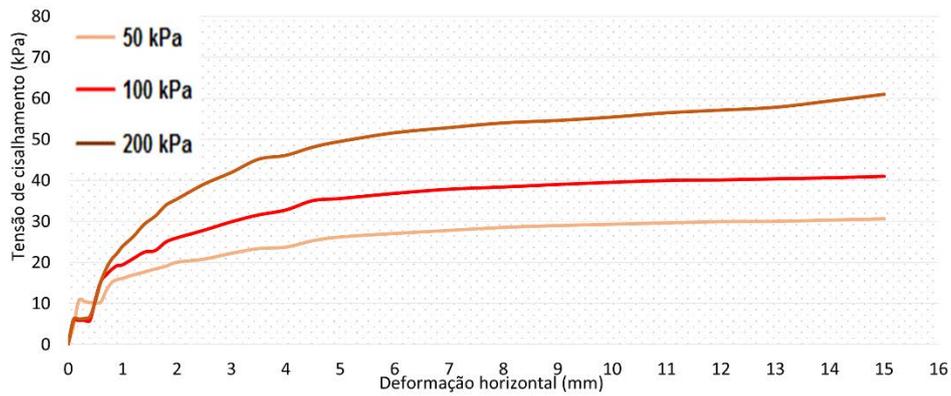


Figura 14. Gráfico de “tensão cisalhante *versus* deformação horizontal” para o solo reforçado.

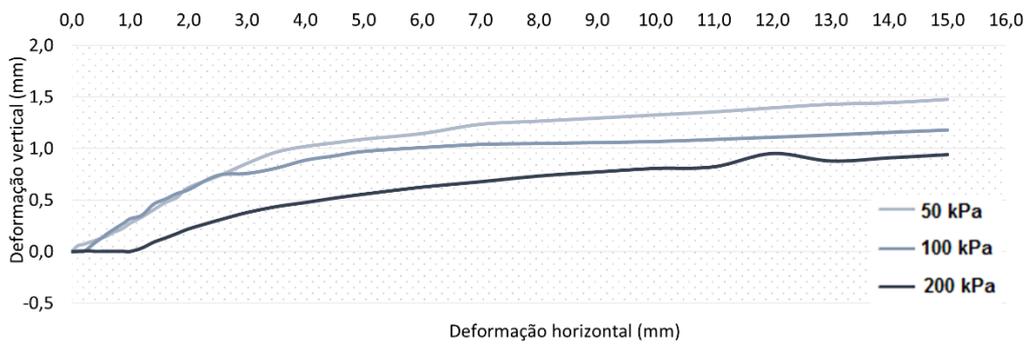


Figura 15. Gráfico de “deformação vertical *versus* deformação horizontal” para o solo sem reforço.

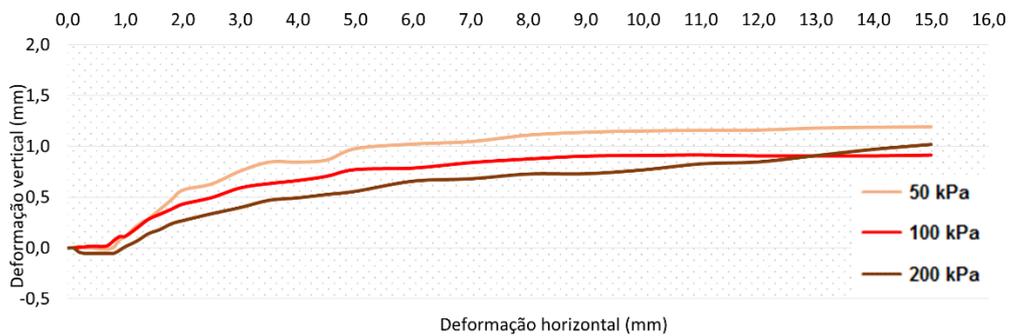


Figura 16 - Gráfico de “deformação vertical *versus* deformação horizontal” para o solo reforçado.

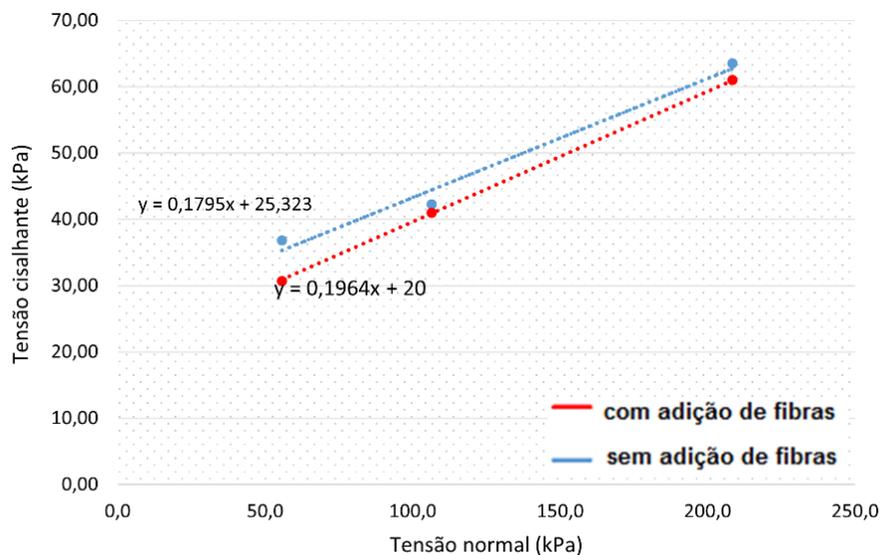


Figura 17 - Gráfico de "tensão cisalhante *versus* tensão normal". Em azul: solo sem reforço; em vermelho: solo reforçado.

Pela equação da reta no gráfico da Figura 17, foi possível determinar o valor numérico da coesão e do ângulo de atrito (ϕ') do solo. Esses valores estão apresentados na Tabela 7. Analisando-se graficamente a tensão cisalhante gerada em função da tensão normal aplicada (50, 100 e

200 kPa), foi possível notar um razoável aumento na tensão cisalhante quando sob influência das fibras (Figuras 13 e 14). Entretanto, feita uma análise criteriosa dos resultados obtidos, nota-se que a resistência sofreu uma brusca redução na coesão (c'), como pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7. Valores numéricos da coesão e do ângulo de atrito para o solo com e sem reforço da fibra.

	<i>Sem fibras</i>	<i>Com fibras</i>
c' (kPa)	25,32	20,00
ϕ' (°)	10,17	11,11

Em relação aos gráficos de “tensão cisalhante *versus* deformação horizontal”, observa-se, de maneira geral, o aumento da tensão cisalhante para o solo reforçado, sugerindo-se uma influência positiva das fibras. Entretanto, como comparado em ambos os gráficos de “deformação vertical *versus* deformação horizontal”, a variação da deformação vertical entre o solo sem reforço e o reforçado foi mínima. A baixa resistência das fibras ao cisalhamento deve-se ao fato da sua disposição randômica, que, por

estarem paralelas à direção do cisalhamento em alguns pontos, agiram de maneira contrária à esperada, diminuindo o atrito entre os grãos e facilitando o deslocamento do corpo de prova durante o cisalhamento. Por fim, sugere-se o aprofundamento na avaliação do comportamento das fibras, com base na inserção de diferentes tamanhos, formas, proporções e distribuição do reforço, e até mesmo a construção de um pequeno trecho experimental com ensaios em campo.

CONCLUSÕES

O presente artigo teve como objetivo avaliar a influência de fibras de garrafas PET e seu comportamento como reforço de um solo laterítico compactado, visando uma possível aplicação como base de pavimentação. O solo em questão foi caracterizado como sendo uma argila siltosa com pedregulhos de cor marrom avermelhada, de baixa compressibilidade e de baixa atividade, sendo esta última uma característica típica de solos lateríticos. Foi classificado como medianamente plástico e duro, segundo seu índice de consistência. Como a caracterização do solo gerou um limite de liquidez de 38,5% e um índice de plasticidade de 10,5%, conclui-se que o estudo apontou resultados que se enquadram dentro das exigências de escolha do tipo de solo utilizado nos ensaios.

Os ensaios de compactação mostraram que a adição das fibras causou uma diminuição da umidade ótima – de 24,5 para 23,9% – e da massa específica seca máxima – de 1,635 para 1,567 g/cm³. Esse fato pode ser explicado pela influência exercida pelo reforço. Ao ocuparem os vazios que seriam preenchidos pelos grãos de solo na compactação, as fibras tornaram a relação peso do solo + água + fibra menos densa, diminuindo a massa específica seca máxima, e, de maneira análoga, a umidade ótima.

Observou-se, também, a diminuição da expansão do solo no ensaio de ISC, pois as fibras, ao preencherem os vazios que seriam ocupados pelas partículas do solo, impediram que durante a imersão e conseqüente saturação do material esses vazios fossem oclusos pela água, já que foram preenchidos pelas fibras. Com isso, o solo saturou menos, apresentando, portanto, uma menor expansão. Em relação à pressão exercida durante a penetração, esta foi maior para o solo reforçado, com exceção dos pontos no ramo úmido. O fato de as fibras apresentarem efeito contrário nesses pontos pode ser justificado pela lubrificação dos grãos e estrutura dispersa. Em todo modo, conclui-se que as fibras representaram uma resistência à penetração, aumentando sua estabilidade.

O ensaio de cisalhamento direto foi realizado para complementação dos estudos. Os resultados apontaram uma diminuição significativa da coesão para o solo com a inserção do reforço, entretanto, apresentaram um aumento no ângulo de atrito interno, o qual indica um aumento na resistência para o solo reforçado. O aumento na resistência foi menor que o esperado devido à disposição randômica das fibras, que, por estarem paralelas à direção do cisalhamento em alguns pontos, agiram diminuindo o atrito entre

os grãos e facilitando o deslocamento do corpo de prova durante o rompimento ao cisalhar. Isso explica a redução considerável no valor da coesão calculado para o solo com e sem reforço.

Por fim, com base nos resultados apresentados, conclui-se que o emprego das fibras de garrafas PET apresentou um indicativo positivo para sua utilização como reforço de solos lateríticos argilo-siltosos como base para pavimentação de estradas, já que, pelo ensaio de ISC, foi observado o aumento da resistência sob sua influência. Todavia, estudos mais robustos de

análises experimental e quali-quantitativa da influência das fibras devem ser realizados para que se estabeleça uma conclusão definitiva. Ressalta-se que o presente artigo tem caráter experimental simplificado e merece ser aprofundado. Com isso, sugere-se o investimento em pesquisas em que a avaliação do comportamento das fibras de PET seja feita com base na inserção de diferentes proporções do reforço, bem como em diferentes formatos e granulometrias, e até mesmo com base na construção de um pequeno trecho experimental.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece ao Professor Dr. Eleonardo Lucas Pereira, pelas contribuições ao trabalho, ao Guilherme da Cruz, pelo acompanhamento nos ensaios, e ao Laboratório de Mecânica dos Solos do NUGEO/UFOP, onde foi realizado este trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABEL, L. S. **Mapeamento Geotécnico e Caracterização dos Materiais Naturais de Construção da Província de Maputo, Moçambique**. Tese de Doutorado, Publicação G.TD - 068/11, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 280 p., 2011.
- ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 6459: **Solo – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 7180: **Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 7181: **Análise granulométrica de solos**. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 9604: **Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 9895: **Solo – Índice de Suporte Califórnia – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1987.
- ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 7182: **Solo – Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 1988.
- AGUIAR, L. A.; AQUINO, F. R. & CAMAPUM DE CARVALHO, J. **Melhoria da Resistência a Tração de Solos Finos por Meio da Incorporação de Fios de Cabo para Uso em Pavimentação**. Anais Geocentro 2009. p. 112-116, 2009.
- ASTM. American Society for Testing and Materials – ASTM. D3080: **Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions**, 2004.
- BENJAMIM, C. V. S. **Avaliação experimental de protótipos de estruturas de contenção em solo reforçado com geotêxtil**. Tese de Doutorado. EESC, Universidade de São Paulo. São Carlos, 294p., 2006.
- BENJAMIM, C. V. S.; BUENO, B. S. & ZORNBERG, J. G. **Comportamento da Fundação de um Protótipo de Estrutura de Contenção em Solo Reforçado com Geotêxtil Não-tecido**. In: VI Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental – REGEO'2007. 7 p., 2007.
- BERNUCCI, L. L. B. **Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos laterítico para rodovias de baixo volume de tráfego**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.
- BERTHIER, H. C. **Garbage, work and society. Resources, Conservation and Recycling**. 39: 193-210, 2003.
- BOBROWSKY, P.; CRONIN, V. S.; DI CAPUA, G.; KIEFFER, S. W. & PEPPOLONI, S. **The emerging field of geothermics. Scientific integrity and ethics in the geosciences**, p. 175-212, 2017.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura De Transportes – DNIT. **Manual de Pavimentação**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 3 ed., Rio de Janeiro, 274 p, 2006.
- FLETCHER, C. S. & HUMPHRIES, W. K. **California Bearing Ratio Improvement of Remolded Soils by the Addition of Polypropylene Fiber Reinforcement**. TBR. **Transportation Research Record**, nº 1295, 1991.
- FORLIN, F. S. & FARIA, J. A. F. **Considerações Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas. Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 12, nº 1, p. 1-10, 2002.
- GÓNGORA, I. A. M. G. **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., 2015.
- GRAY, D. H. & OHASHI, H. **Mechanics of fiber reinforcement in sand. Journal of Geotechnical Engineering**, vol. 109, nº 3, p. 335-353, 1983.
- LAGO, A. & PÁDUA, S. A. **O que é ecologia**. Brasiliense, 2017.
- MARANGON, M. **Mecânica dos Solos**. Departamento de Transportes e Geotecnia, Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, 2018.
- MOORE, J. **¿ Antropoceno o capitaloceno. El capitalismo en la trama de la vida. Ecología y acumulación del capital. Traficantes de Sueños**, 2020.
- NOGAMI, J. S. & VILLIBOR, D. F. **Caracterização e Classificação Geral de Solos para Pavimentação: Limitações dos Métodos Tradicionais, Apresentação de Uma Nova Sistemática**. 15º Reunião Anual de Pavimentação, Belo Horizonte, MG, 1980.
- PIETERS, R. **Changing, garbage disposal patterns of consumers: motivation, ability, and performance. Journal of Public Policy and Marketing**, v.10, 1991.
- PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. 2ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- RESCHETTI, P. R. Jr. **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, 2008.
- ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S.; PAOLI, M. A. Poli

- (tereftalato de etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. **Polímeros**, v. 19, p. 121-132, 2009.
- SAITO, K. **O ecossocialismo de Karl Marx: capitalismo, natureza e a crítica inacabada à economia política**. 1ª ed. São Paulo: Boitempo Editorial, v.1, 2021.
- SANTOS, E. F. **Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.
- SANTOS, E. C. G. **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., 2011.
- SANTOS, F. A.; DIÓRIO, G. R.; GUEDES, C. C. F.; FERNANDINO, G.; GIANNINI, P. C.; ANGULO, R. J.; SOUZA, M. C.; CÉSAR, M. A. F & DOS SANTOS OLIVEIRA, A. R. Plastic debris forms: Rock analogues emerging from marine pollution. **Marine Pollution Bulletin**, v. 182, p. 114031, 2022.
- SILVA, P. P. **O mundo do trabalho na base da indústria da reciclagem: formulação crítica a partir da experiência das associações de catadoras e catadores de materiais recicláveis de Viçosa-MG**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 135p., 2022.
- SÓRIA, M. H. A. **Os Limites de Atteberg, 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, 1986.
- SPECHT, L. P. **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, 2000.
- TROVATTO, A. & PORTELINHA, F. H. M. **Avaliação do Comportamento de Barreiras Capilares em Interfaces entre Solo Fino e Diferentes Geossintéticos**. In: VII Congresso Brasileiro de Geossintéticos. 6 p., 2015.
- UNITED NATIONS. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Ministério das Relações Exteriores do Brasil, 2015.
- VIEIRA, C.S. Contributos da Geotecnia para a Economia Circular na construção. Uma perspectiva. **Construção Magazine** n.º. 103 p. 32-37, 2021.
- VILLIBOR, D. F. **Pavimentos Econômicos, Novas Considerações**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1981.

*Submetido em 16 de fevereiro de 2023
Aceito para publicação em 30 de junho de 2023*