

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO E TEOR DE FIBRAS ADICIONADAS EM REFORÇO DE SOLOS LATERÍTICOS

Jackelinny Soares Silva¹
Rodrigo Martinez Castro²

RESUMO

A prática de reforço em solos, principalmente os destinados à pavimentação, é bem vista para a ampliação da resistência do solo frente às solicitações cada vez maiores a que rodovias e estradas são submetidas. Esse ganho de resistência depende da matriz dos compósitos solo-fibras, pois sofrem influência das fibras adicionadas podendo provocar mudanças nas propriedades do compósito. Para avaliar a influência das características dimensionais e quantitativas de fibras nas mudanças ocorridas em solos lateríticos, foram estudados dois trabalhos com reforço utilizando fibras de polipropileno, Reschetti Junior (2008) que apresentava ensaios com solo laterítico da região sudeste nacional, e Rocha (2019) que avaliou a influência de fibras de polipropileno na resistência efetiva de um solo argiloso, também do sudeste do país. Realizou-se uma comparação entre os resultados dos ensaios desenvolvidos por cada autor, comparando-os entre si. Verificou-se, de uma forma geral, que a adição de fibras de maior comprimento e em teores que permitam a trabalhabilidade da mistura são indicados para reforço de solos lateríticos.

Palavras-chave: Resistência. Compósito solo-fibras. Deformação.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF LENGTH AND CONTENT OF FIBERS ADDED ON REINFORCEMENT OF SOIL SOILS

ABSTRACT

The practice of reinforcement in soils, especially those intended for paving, is well regarded for increasing soil resistance against the increasing demands that highways and roads are subjected to. This strength gain depends on the matrix of the soil-fiber composites, as they are influenced by the added fibers and may cause changes in the composite properties. To evaluate the influence of the dimensional and quantitative characteristics of fibers on changes in lateritic soils, two studies with reinforcement using polypropylene fibers were studied, Reschetti Junior (2008) that presented tests with lateritic soil of the Southeastern region, and Rocha (2019). which evaluated the influence of polypropylene fibers on the effective resistance of a clay soil, also from southeastern Brazil. A comparison was made between test results developed by each author and compared to each other. In general, it has been found that the addition of longer fibers and contents that allow the workability of the mixture are indicated for reinforcement of lateritic soils.

Keywords: Strength, Soil-fiber composite, Deformation.

Recebido em 23 de junho de 2020. Aprovado em 27 de julho de 2020.

¹ Engenheira civil PUC GO. E-mail: jacksoares3010@gmail.com

² Mestre em agronomia e especialista em geotecnia.

INTRODUÇÃO

No Brasil um dos principais tipos de solos encontrados são os lateríticos, que possuem características típicas de regiões de clima tropical. Eles são formados por meio de processos de intempérie intensos, provocando mudanças na sua constituição químico-física e agregando uma coloração característica. A suas aplicações à pavimentos iniciaram-se na década de 1950 com os estudos de Nogami e Vilibor à Metodologia MCT (Miniatura Compactada Tropical) (VILIBOR et al., 2009). No entanto, apesar de os estudos confirmarem a possibilidade de utilização de solos finos lateríticos para construção de vias de tráfego, os mesmos podem necessitar de reforços para aumento da resistência.

A prática de reforço de solos por meio de fibras é bastante estudada pela literatura geotécnica. Maher & Ho (1994) analisaram o comportamento de uma areia artificialmente cimentada, reforçada com fibras de vidro, obtendo o aumento da resistência a baixas tensões de confinamento. Casagrande (2005) estudou a contribuição de fibras de polipropileno na mobilização de resistência de um solo arenoso fino, para diferentes níveis de densidade e compactação, obtendo também um ganho de resistência quanto mais denso fosse a mistura do compósito solo-fibra.

Em estudos recentes, Rocha (2019) aponta um ganho de resistência ao cisalhamento com a inclusão de fibras de polipropileno, propiciado com o aumento da capacidade de absorção de energia. Girardello (2014), em estudos de solos brasileiros da região sudeste, também afirmou que as fibras diminuem a fragilidade do solo e aumentam a capacidade de absorção de energia do mesmo. Dessa forma, quanto maior a quantidade de fibras, maior resistência o compósito pode adquirir. O mesmo autor explana que o comprimento da fibra reduz a resistência de pico e aumenta a capacidade de absorção de energia de ruptura, ou seja, torna-se, o compósito, mais elástico.

No entanto, em estudos desenvolvidos por Reschetti Junior (2008), que avaliou a inserção de fibras curtas de polipropileno e de vidro, respectivamente, a um solo laterítico, há uma controversa em relação ao emprego de fibras como reforço. O autor aponta que as fibras não são indicadas para tal emprego devido, entre outros fatores, a uma queda crescente de resiliência de acordo com o aumento do teor de fibra utilizado.

Considerando os resultados expostos nos parágrafos anteriores, o presente artigo busca realizar uma análise da influência do comprimento e teor das fibras de polipropileno em compósitos com solos lateríticos, confrontando os resultados obtidos pelo trabalho de Reschetti Junior (2008) e Rocha (2019) no ganho de resistência dos mesmos. Considera-se, com esta análise, a influência das metodologias de estudos aplicadas e as peculiaridades de cada solo. Os resultados analisados em cada obra, partiu de ensaios de compressão axial, compressão diametral, cisalhamento direto, ensaios de compressão triaxial drenado e não drenado e cíclico, relacionando o melhor teor e melhor comprimento a ser aplicado em solos lateríticos.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realizar uma análise sobre a interferência do comprimento e quantidade de fibras de polipropileno adicionadas em solos lateríticos, foram pesquisadas bibliografias a respeito do tema, focando em dois principais autores, e nos seus diferentes sistemas de preparo do solo, que permitiram uma quantificação de melhorias obtidas com tais reforços.

Para selecionar os estudos-veículos de inferências e deduções neste artigo, foi realizado um mapeamento dos temas estudados na literatura geotécnica em relação às fibras e suas aplicações no solo. Esse mapeamento foi feito através de leituras de artigos e dissertações científicas que indicaram diferentes características acrescidas ao solo laterítico e suas consequências. Foram selecionadas duas obras acadêmicas que utilizaram a fibra de polipropileno como reforço do solo: Reschetti Junior (2008), que avaliou o comportamento mecânico de um Solo Arenoso Fino Laterítico reforçado com fibras de vidro e fibras de polipropileno, do estado de São Paulo, para aplicação em base de pavimentos. E Rocha (2019), que avaliou a influência de fibras de polipropileno na resistência efetiva de um solo argiloso, do interior do estado de São Paulo, caracterizado como solo argiloso-arenoso laterítico. Para fins de melhor compreensão da leitura deste artigo, optou-se por a

denominação de Autor 1 para referir-se à Reschetti Junior (2008) e Autor 2 para referir-se à Rocha (2019).

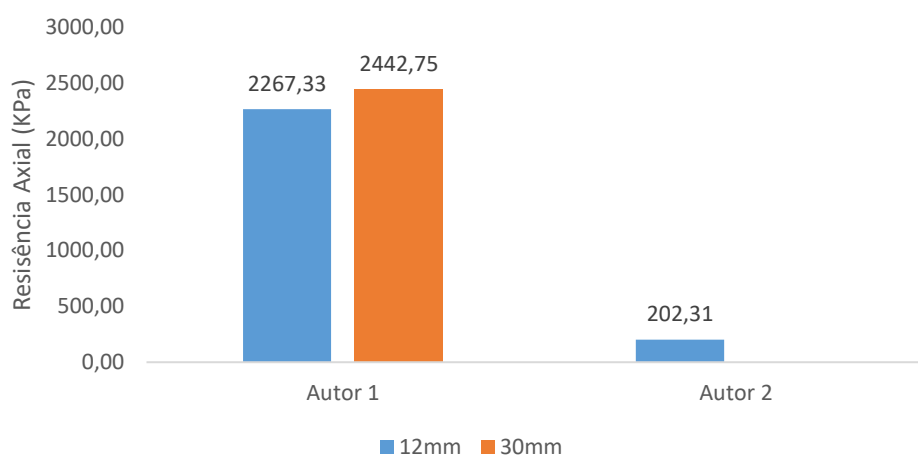
Após a seleção dos trabalhos, analisou-se os resultados apresentados por cada autor, comparando-os entre si e confrontando a influência do teor e do comprimento das fibras nos resultados obtidos. Essa comparação deu-se por meio de uso de sistemas gráficos e comparativos com resultados consolidados na literatura geotécnica a respeito de solos lateríticos e técnicas de reforço com fibras de polipropileno.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de resultados da resistência à compressão axial

O ensaio de compressão axial visa auferir a resistência à compressão simples de um corpo de prova. Comparando os resultados obtidos pelos autores em estudo, verifica-se que ambos os autores salientaram o ganho de resistência axial adquirida com a inclusão de fibras de polipropileno no solo. A Figura 1 aponta as resistências encontradas.

Figura 1: Análise das resistências axiais e comprimentos das fibras estudadas pelos autores 1 e 2.



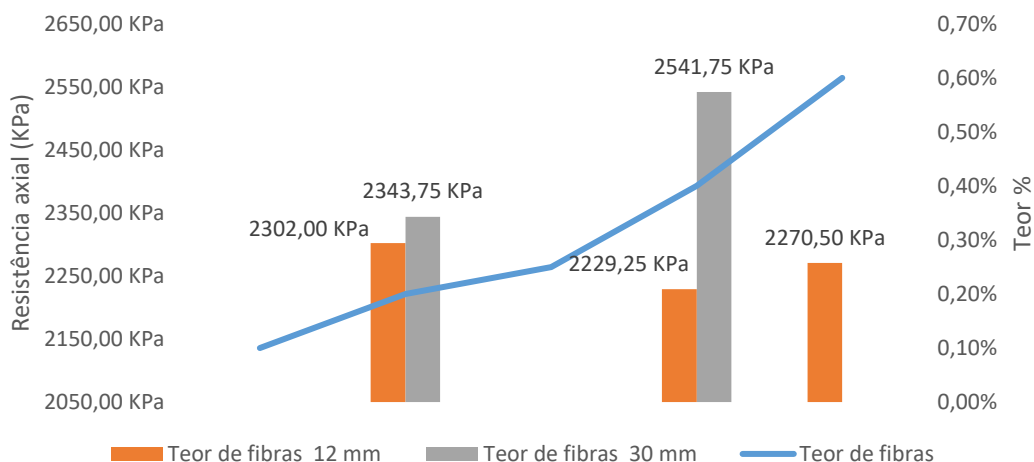
Constata-se uma grande diferença entre os valores de resistência encontrado pelos autores. Essa diferença de resistência pode ser explicada pela granulometria dos solos. Apesar de ambos os solos terem classificação laterítica, possuindo características como baixa expansão e elevadas resistências, solos lateríticos com características acentuadas de areia em sua composição, possuem maior densidade, corroborando para uma maior compactação e, conseqüentemente, uma melhor resultado de resistência à compressão axial.

A forma de moldagem dos corpos de prova também corrobora para o comportamento do solo arenoso, estudado pelo Autor 1. O mesmo, expôs as amostras de solo a uma secagem prévia à moldagem dos corpos de prova, por 24 horas para homogeneização da umidade e depois de moldados, uma secagem de 48 horas. A compactação dos corpos de prova seguiu conforme as normas do DNER-ME 129/94 com uma energia que simulava o tráfego médio em uma via. Dessa forma, a exposição da amostra a uma condição de modelagem específica induziu as fibras a formarem pontes de resistência que amenizaram as deformações e a fissuração (ROCHA, 2019).

A criação de pontes de resistência relaciona-se diretamente com o comprimento das fibras, pois, uma maior superfície específica em contato com partículas de solos provocariam sulcos nessas fibras, beneficiando o intertravamento entre os grãos de solo e uma menor reorganização da estrutura física do mesmo quando solicitado por carregamentos externos, aumentando sua deformação elástica. Dessa forma, fibras com maiores comprimentos beneficiam com maior eficácia a resistência à compressão simples de compósitos solo laterítico-fibras.

A Figura 2 mostra a relação de teor de fibras de polipropileno adicionadas no solo estudado pelo Autor 1.

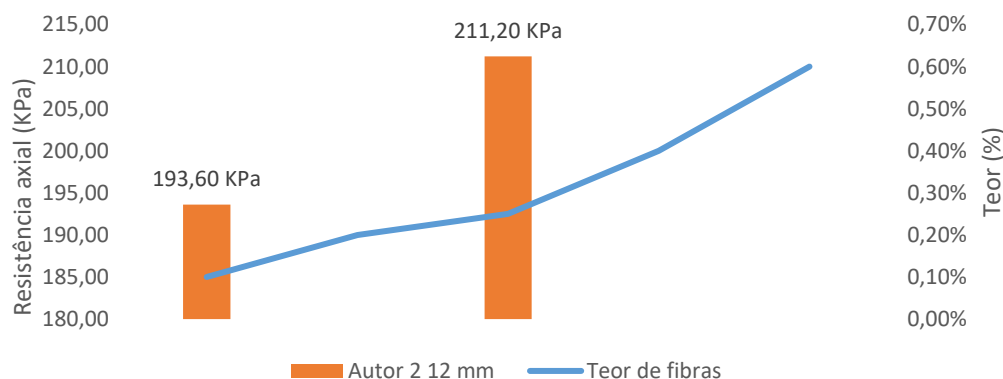
Figura 2: Análise das resistência axial e teor das fibras estudadas pelo Autor 1.



Desprende-se da análise da Figura 2 que o aumento da resistência à compressão simples é maior para compósitos com fibras mais longas e com maiores teores adicionados, o que é visto pela diferença média entre os resultados de resistência alcançados pelas fibras de 12 mm e 30 mm. A diferença de resistência aproxima-se de 8% para as fibras mais longas.

A Figura 3 exhibe a relação entre a resistência axial e o teor de fibras adicionados nos trabalhos do Autor 2. Constata-se que o incremento de maiores teores de fibras no compósito desenvolvido pelo Autor 2, pode promover maiores ganhos de resistência. Ocorreu um ganho de 9% na resistência quando foi adicionado 0,15% a mais de fibras no compósito. A partir disso pode-se inferir que para maiores teores de fibras em solos, tanto com predominância de argilas quanto de areias, teremos, geralmente, maiores resultados.

Figura 3: Análise das resistência axial e teor das fibras estudadas pelo Autor 2.



No entanto, Bento (2006) afirmou que fibras curtas não conseguem boa ancoragem na matriz quando tracionadas, pois, suas superfícies de contato não garantem um atrito e intertravamento entre os grãos capazes de resistir a maiores deformações. Mesmo quando se usa de maiores teores como recompensa, há uma falha na trabalhabilidade do solo e a possibilidade de surgimento de maiores fissuras. Até mesmo o Autor 1 observou a falta de trabalhabilidade para misturas com fibras de 30mm para teores acima de 0,50%. Por esta razão, a adição de maiores teores de fibras em compósitos depende da análise desse fator para sua utilização.

Análise de resultados de resistência ao cisalhamento direto e deformação de ruptura

A tensão normal proporciona o conhecimento de vários índices e aspectos importantes do solo. Entre os diversos tipos de ensaios que utilizam a aplicação de uma tensão normal, está o de

cisalhamento direto, que visa determinar a resistência cisalhante do elemento por meio da correlação entre a tensão cisalhante e a tensão normal. A análise da deformação de ruptura, como o próprio nome indica, analisa a deformação de ruptura por meio de aplicação de uma tensão normal. Estes ensaios foram desenvolvidos pelo Autor 2 e Autor 1, respectivamente.

Nos resultados alcançados pelo Autor 2 denotou-se que as fibras provocaram um aumento na tensão cisalhante e uma menor compressibilidade nos compósitos. Essa menor compressibilidade pode ser explicada pelo fato de que a adição de fibras em solos reduz a massa específica seca do mesmo por meio da impossibilidade de incremento de grão sólido por volume unitário do compósito. (Rocha, 2019).

Outro fator observado pelo Autor 2 foi a melhora no comportamento tensão-deformação. Esse fenômeno pode ser explicado quando as fibras estão distribuídas na matriz do solo de forma aleatória. Elas interceptam a zona potencial de ruptura, interferindo nos planos de cisalhamento, fazendo com que as deformações sejam passadas para zonas mais distantes, nas quais as fibras encontram-se mais entrelaçadas entre si, ocasionando um melhoramento da tensão-deformação do solo. (Tang, *et. al*, 2017; Rocha, 2019)

O mesmo autor também atestou um aumento da coesão e do ângulo de atrito com o aumento do teor de fibras de polipropileno adicionadas. A coesão demonstra uma força de ligação entre as partículas do solo que resulta em maiores resistências ao deslizamento entre as partículas e, conseqüentemente, maiores resultados de resistência ao cisalhamento. Já o ângulo de atrito relaciona-se com o ângulo entre a força transmitida ao solo e a força normal. Quanto maior o ângulo, menores são as possibilidades de cisalhamento do solo no plano de ruptura. (Silva e Carvalho; 2007).

Uma explicação para o alcance desses resultados seria a construção de pontes de ligação proporcionada pela inclusão de fibras, que cria um maior intertravamento entre os grãos, não permitindo que eles deslizem com facilidade quando solicitados por forças externas. Esse intertravamento também pode proporcionar a uma aproximação maior entre as partículas do solo e promover uma maior atração eletrostática, característica da coesão real. Quando mais coesos, maior é a resistência do solo ao cisalhamento e, conseqüentemente, maior ângulo de atrito entre as partículas. (Silva e Carvalho; 2007)

Semelhante aos resultados alcançados pelo Autor 2, o Autor 1 observou-se que os corpos de prova com fibras de 30 mm resultaram em maiores deformações do que os corpos de prova com fibras de 12 mm. O autor também atestou que a rigidez da mistura diminui com o aumento de teores de fibras adicionadas, pois o excesso de fibras no compósito acarretaria maiores fissurações e maior probabilidade de rompimento.

No entanto, diferentemente, dos estudos realizados na literatura geotécnica e atestado pelo Autor 2, as fissuras, segundo o Autor 1, ocorreriam devido à redução dos vínculos cimentados existentes entre as partículas, ocasionados pelo grande volume de fibra de polipropileno adicionadas. Desprende-se, dessa forma, das análises realizadas pelo autor, que para o alcance da rigidez máxima do compósito solo-fibra, deve-se utilizar teores ideais de fibras que possam atestar a melhor elasticidade do solo sem comprometer a unidade mássica do mesmo.

Assim, considerando os resultados expostos e analisados de cada autor, o uso de fibras de maior comprimento e em teores que permitam a trabalhabilidade, o entrelaçamento entre as partículas e a conseqüente criação de uma rede de grãos e fibras, permite um melhor desempenho de compósitos com solos lateríticos.

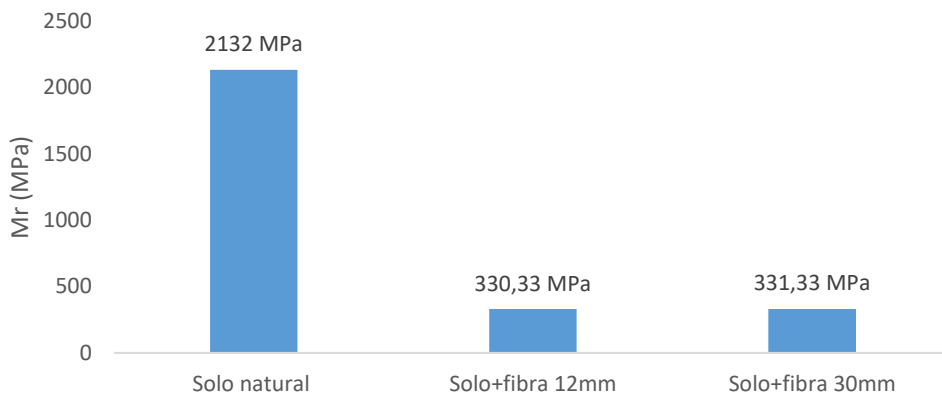
Análise de resultados de ensaios de compressão triaxial e triaxial cíclico

Os ensaios de compressão triaxial também possibilitam a análise da resistência ao cisalhamento de corpos de prova da mistura solo-fibra. No ensaio, o corpo de prova fica submetido a uma pressão do fluido existente numa câmara cilíndrica, que é conhecida como tensão confinante, e a aplicação de uma carga axial, provocando uma tensão desviadora. Nos ensaios desenvolvidos, o

Autor 2 analisou a resiliência do solo com carregamentos drenado e não drenado e o Autor 1 conferiu a influência da tensão desvio e confinante nos compósitos nos ensaios drenados.

Os ensaios desenvolvidos pelo Autor1 apresentaram alguns desempenhos discordantes da literatura geotécnica. Houve uma notável discrepância nos resultados obtidos entre o solo natural e o compósito solo-fibra. A Figura 4 compara os resultados de módulo de resiliência obtidos na simulação de um pavimento SAFL, realizados pelo autor, com o comprimento das fibras adicionadas.

Figura 4: Análise do módulo resiliente em comparação com o comprimento de fibra adicionado (Autor 1).

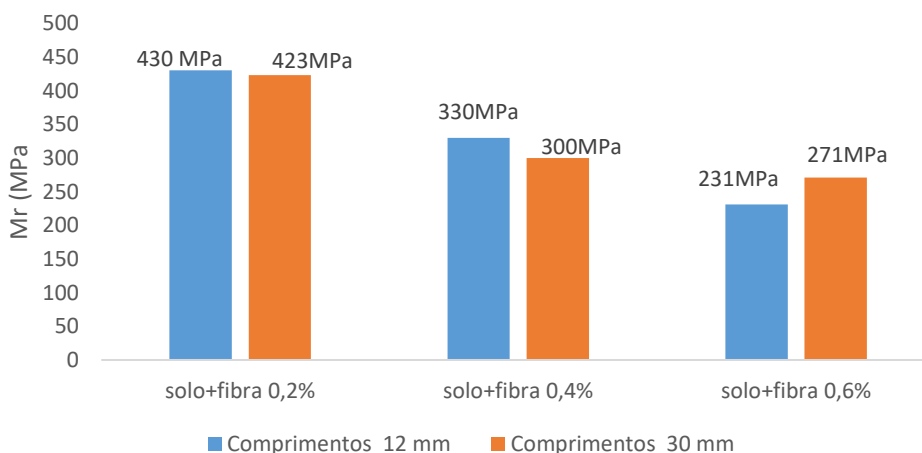


A diferença entre os resultados de resiliência do solo natural e o solo com fibras é maior que 544%. Uma hipótese que poderia explicar esse resultado encontra-se na dificuldade de rearranjo que as partículas do solo encontram após a sollicitação de compressão do compósito. As fibras adicionadas criam uma rede de inter travamento dos grãos, que quando modificada, não volta ao seu estado original, atestando mais uma vez, a plasticidade do compósito solo-fibra.

Em termos de tensões, esperava-se que o solo natural apresentasse resultados de módulo de resiliência proporcionais à tensão confinante e inversamente proporcional à tensão desvio. Porém, foram obtidos resultados negativos, indicando a influência direta da tensão desvio em alguns momentos do ensaio. (Reschetti Junior, 2008) O autor justifica os resultados com base no processo de secagem dos corpos de prova.

A Figura 5 mostra os resultados de resiliência em comparação com os teores de fibras de polipropileno adicionados nos compósitos estudados pelo Autor 2.

Figura 5: Análise do módulo resiliente em comparação com o teor de fibra adicionado (Autor 1).



Houve um aumento da influência da tensão confinante com a inclusão de maiores teores de fibra de polipropileno (Rocha, 2019). Os ensaios preveram uma queda acentuada no módulo de resiliência para a inclusão do menor teor de fibra adicionada, diminuindo, ainda, conforme o aumento

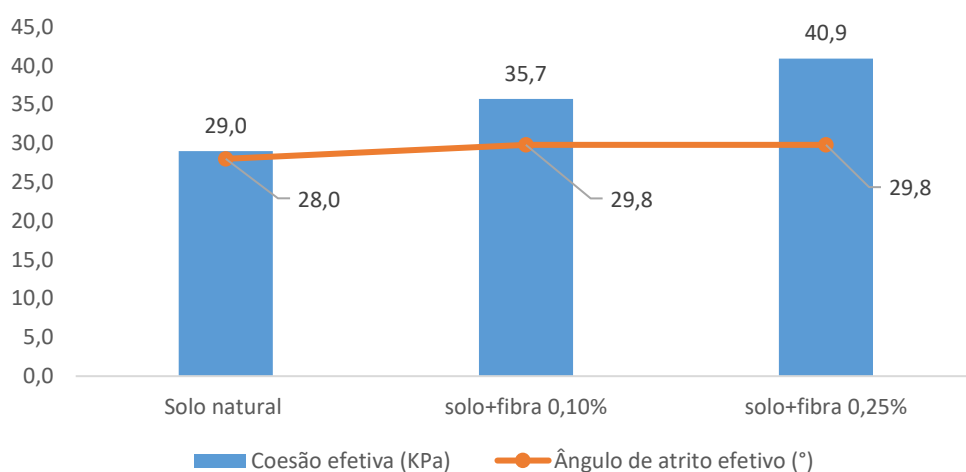
do teor de fibra utilizado. O comprimento, segundo Autor 1 e conforme se analisa na figura, não teve influência sobre o módulo de resiliência. Dessa forma, o Autor 1 concluiu que o solo estudado não é propício para ser aplicado em camadas de base de pavimentos.

Nos ensaios triaxial consolidado drenado (CD) o Autor 2 também atestou um ganho de rigidez com a inclusão de fibras de polipropileno, exceto para alguns resultados obtidos com o menor teor adicionado (0,10%). Ele também notou, entre os resultados, uma redução pós pico de ruptura mais suave, comparada ao solo in natura. Já nos ensaios triaxial consolidado não drenado (CU) observou-se maior atuação das fibras na não dilatação do solo durante o cisalhamento.

Conforme os resultados alcançados pelo Autor 2, de uma forma geral, não houve a existência de um pico de resistência definido, e sim, um aumento da resistência, gerando maiores deformações, indicando que o material tornou-se mais plástico. Os ensaios não drenado apresentaram, no entanto, picos definidos de resistência para baixas deformações. Leva-se a concluir que a solicitação da atuação das fibras no solo ocorre para maiores deformações, necessitando que as mesmas possuam boa ancoragem na matriz do compósito, e conseqüentemente, maiores comprimentos (BENTO, 2006).

O Autor 2 ainda explana melhores ganhos de coesão do compósito para as fibras com maiores teores adicionados, na condição drenada. Esse ganho de coesão é explicado pelo adensamento secundário proveniente do ensaio triaxial, quando o corpo de prova é submetido por uma saturação com posterior drenagem e a aplicação de uma carga axial. A água adsorvida pelas partículas do solo cria uma poro pressão negativa, causando uma coesão aparente, aumentando, assim, a coesão final do solo (Molina Junior, 2017). A Figura 6 ilustra o comportamento da coesão no cisalhamento drenado do solo natural e dos compósitos.

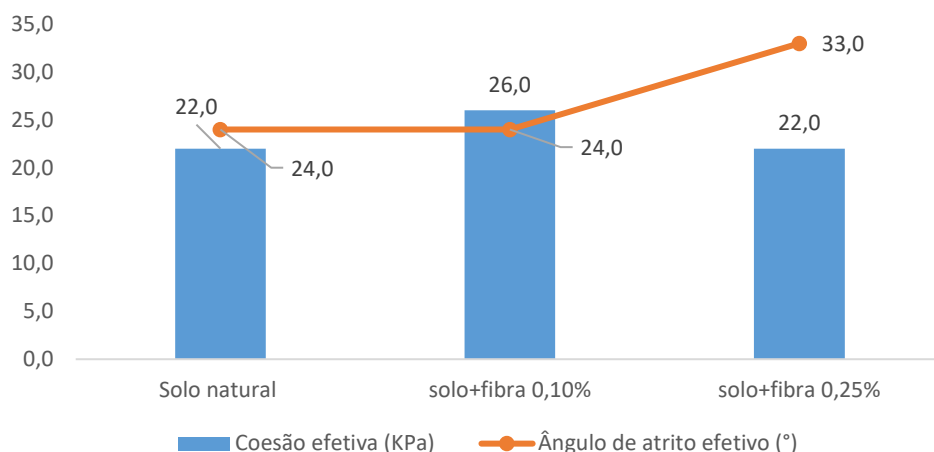
Figura 6: Comportamento da coesão e ângulo de atrito no cisalhamento drenado do solo natural e dos compósitos.



É observável a variação da coesão com a adição de fibras de polipropileno. Houve um ganho de 41% para o maior teor utilizado em comparação com a coesão do solo natural.

Para os ensaios não-drenados, houve o desenvolvimento de uma pressão neutra durante o cisalhamento, o que segundo o Autor 2, pode ter influenciado negativamente a tensão efetiva do solo e provocado perturbação e rearranjo da interface do compósito, enfraquecendo a relação entre solo-fibra. (Rocha, 2019). A Figura 7 expõe os resultados alcançados nos ensaios triaxial não drenado.

Figura 7: Comportamento da coesão e ângulo de atrito no cisalhamento não drenado do solo natural e dos compósitos.



Há um aumento do ângulo de atrito quando a coesão diminui porque as partículas, em um meio saturado, encontram-se mais afastadas, diminuindo o atrito entre si (coesão aparente) e aumentando o ângulo que a força transmitida ao solo faz com a força normal à superfície das partículas (SILVA & CARVALHO, 2007). Esse aumento do ângulo de atrito é mais expressivo para os maiores teores de fibras adicionados, indicando ainda uma deformação residual mais aparente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os solos lateríticos possuem características peculiares que os diferem de outros tipos de solo. Em sua porção de areia é possível encontrar grãos de quartzo envoltos por uma película de óxidos de ferro e de alumínio, que conferem maiores coesões entre as partículas. A sua fração de argila apresenta características como baixa ou quase nula expansão e elevadas resistências (Oliveira, 2018). Com a inclusão de fibras de polipropileno como reforço verifica-se um comportamento também peculiar, que pode diferir ainda conforme os teores e os comprimentos adicionados.

Nos resultados encontrados com ensaios de compressão simples observou-se ganhos de resistência para aos maiores comprimentos e em teores que permitisse a trabalhabilidade do solo. Fatores como a constituição granulométrica intervêm nos resultados. As areias, quando compactadas, possuem maior densidade e conseqüente melhor desempenho na resistência à compressão simples. As argilas, de um modo geral, possuem alta plasticidade e baixa capacidade de suporte.

Já nos resultados alcançados pelos ensaios de cisalhamento direto, pode-se desprender que a inclusão de fibras permitiu a criação de uma rede entre fibra e grãos de solo, aumentando a coesão real entre as partículas do solo e, conseqüentemente, aumentando a resistência ao cisalhamento e melhorando a relação tensão-deformação do mesmo. Esses fatores são mais sensíveis para o maior teor de fibra adicionado.

Na análise da deformação por ruptura, constatou-se que as fibras de maior comprimento podem acarretar maiores deformações e quando adicionadas em teores elevados, podem provocar a fissuração da mistura. Constatou-se, por meio das análises dos resultados dos ensaios de cisalhamento direto e tensão deformação que as fibras, adicionadas em teores que não impactam na trabalhabilidade da mistura e não provoquem a aparição de fissuras em pequenas deformações são mais indicadas para aplicação de reforço de solos lateríticos.

Os resultados alcançados pelo Autor 1 indicaram a redução do módulo de resiliência do solo natural com a inclusão de fibras, aumentando a capacidade de deformação residual. Essa redução do módulo de resiliência teve poucas influências pelo teor de fibras adicionados no compósito e quase nenhuma com a variação do comprimento das mesmas.

Nos resultados alcançados pelo Autor 2 também foi notável a mudança da plasticidade do solo, atestando maiores deformações e eliminando picos de resistências para grandes deformações.

Os compósitos apresentaram melhores resultados de coesão com a incorporação de maiores teores de fibras para os ensaios realizados com drenagem, porém, em estado de saturação, o compósito apresentou melhores resultados com a inclusão de um menor teor de fibras, pois as mesmas provocavam uma menor diminuição da densidade do compósito.

Assim, a inclusão de fibras de polipropileno mais longas e em teores que propiciem a trabalhabilidade da mistura e uma melhor relação de deformação-fissuração, que é dependente de análise de aplicação do compósito, são preferíveis no reforço de solos lateríticos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela oportunidade de realizar este trabalho em parceria com o professor Rodrigo e pela oportunidade concedida pela PUC GO na busca de conteúdo deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BENTO, Priscila Fiochi, 2006. **Uso de cal e fibras na melhoria de materiais para utilização em estruturas de desempenho**. Porto Alegre, RS. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRS, 132 p.
- CASAGRANDE, Michéle Dal Toé 2005. **Comportamento de solos reforçados com fibras submetidos a grandes deformações**. Porto Alegre, RS. Dissertação de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRS, 243 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGENS. DNER-ME 129/94 Compactação dos solos. Rio de Janeiro, 1994.
- GIRARDELO, Vinícius 2014. **Comportamento de ensaios de arrancamento de placas embutidas em camadas de solo-cimento-fibra**. Dissertação de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRS. Porto Alegre, RS 195 p.
- MAHER, M. H.; HO, Y.C, 1994. **Mechanical properties/ fiber soil composite**. Journal of Geotechnical Engineering. ASCE, V.120, n° 8, p.1381-1393.
- MOLINA JUNIOR, Walter Francisco. Eds. 2017. **Comportamento mecânico dos solos em operações agrícolas**. São Paulo, 228 p.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, 2009. D. F. PAVIMENTOS ECONÔMICOS: **Tecnologia do uso dos Solos Finos Lateríticos**. São Paulo: Arte & Ciência. 291 p.
- OLIVEIRA, Felício Geraldo de Oliveira, 2018. **Análise da aplicabilidade MCT na execução de bases rodoviárias com utilização de solos lateríticos estabilizados**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. Ouro Preto. 147 p.
- RESCHETTI JUNIOR, Paulo Roberto 2008. **Avaliação do comportamento mecânico de um solo arenoso fino laterítico reforçado com fibras para uso em pavimentação**. Dissertação de Doutorado. Universidade de São Paulo-USP. São Paulo. 145 p.
- ROCHA, Sabrina Andrade, 2019. **Avaliação da influência de fibras de polipropileno na resistência efetiva de um solo argiloso**. Dissertação de mestrado. UFSCAR- Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 120 p.
- SILVA, Apolino José Nogueira da; CARVALHO, Fabíola Gomes de. 2007. **Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um latossolo amarelo de tabuleiro costeiro**. R. Bras. Ci. Solo, 31:853-862.
- TANG, C.; SHI, B.; GAO, W.; CHEN, F.; CAI, Y. **Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil**. Geotext. Geomembr., p. 194–202, 2007.