

# **INFLUÊNCIA DO USO DE FIBRAS POLIPROPILENO NO PARÂMETRO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA E EXPANSÃO DE UM SOLO DA REGIÃO URBANA DE PALMAS-TO**

**Ana Paula Felicio Santos**  
**Ananda Beatriz Martins de Sousa**  
**Janaina Lima de Araújo**  
**Marcus Vinicius Ribeiro e Souza**  
Universidade Federal do Tocantins  
Curso de Engenharia Civil

## **RESUMO**

O uso de fibras como reforço de solos é respaldado na tecnologia de materiais compósitos, que busca criar um novo material, com propriedades e características específicas, através da combinação de dois ou mais materiais conhecidos. No presente artigo, utilizando uma mistura de solo silto-argiloso reforçado com fibras de polipropileno de comprimento de 6mm, foram avaliadas as influências provocadas pela sua inserção aleatória no solo na proporção de 0,25% em massa do solo. Foram realizados ensaios de caracterização do solo e com os resultados obtidos fez-se uma análise comparativa dos resultados dos ensaios de compactação na energia Proctor Modificado, com as amostras de solo natural e do composto solo-fibra. Com os resultados de Índice de Suporte Califórnia, observa-se que a fibra não aumentou diretamente a resistência do solo, porém apresentou redução nas taxas de expansão em 64% do solo-fibra em relação ao solo natural.

## **ABSTRACT**

The use of fiber as soil reinforcement is supported by the technology of composite materials, which it is sought to create a new material with specific properties and characteristics by combining two or more known materials. In the present article, using a mixture of silt-clayey soil reinforced with polypropylene fibers of length 6mm, the influences caused by their random insertion in the soil in the proportion of 0.25% by mass of the soil were evaluated. Soil characterization tests were carried out and a comparative analysis of the results of the compaction tests in the modified proctor energy with the soil samples and the soil-fiber compost were performed. With the results of the California Bearing Ratio, it can be observed that the fiber did not increase directly soil resistance, however, it showed a reduction in the expansion rates in 64% of the soil-fiber in relation to the natural soil.

## **1. INTRODUÇÃO**

A grande disponibilidade e o baixo custo tornam o solo um material amplamente empregado, seja como material de construção ou como material de suporte de fundação. Por este se apresentar naturalmente de maneira heterogênea, variada e inconstante, com frequência, muitas vezes suas características não se enquadram às propriedades e às exigências de projeto, necessitando assim da aplicação de técnicas de melhoramento do material.

Neste sentido, a tecnologia de materiais compósitos vem ganhando espaço na engenharia geotécnica, a qual fundamenta as técnicas de reforço de solo com fibras sintéticas ou até mesmo naturais. O reforço do solo pode ser compreendido como um melhoramento das características do solo, por meio de processos físicos ou químicos. Essas técnicas podem ser utilizadas com a adição de alguns tipos de elementos geossintéticos, fibras como as de politereftalato de etileno (PET), polipropileno (PP), raspas de pneus, aditivos (quimicamente modificados ou fabricados e naturais), sisal e outros materiais variados.

Nas últimas décadas, tem-se observado um número crescente de relatos sobre a utilização de fibras de aço, vidro, borracha e de plástico em pesquisas de laboratório na área geotécnica. No âmbito mundial, a inclusão de fibras aos solos tem sido estudada por diversos pesquisadores em diversas aplicações, desde estruturas de contenção até a estabilização de solos sob fundações e pavimentos, tais estudos vem demonstrando um ganho significativo do

comportamento do solo sob condições de carregamentos estáticos e dinâmicos. (Gray e Ohashi, 1983; Gray e Al-Refeai, 1986; Freitag, 1986; Maher e Gray, 1990; Maher e Ho, 1993; Santoni et al., 2001; Zornberg, 2002). No âmbito nacional, é destaque as experiências brasileira de Silva *et al.* (1995); Lima *et al.* (1996); Teodoro & Bueno (1998); Ulbrich (1997); Montardo (1999); Feuerharmel (2000); Specht (2000); Casagrande (2001; 2005); Montardo *et al.* (2002); Heineck (2002); Casagrande e Consoli (2002; 2004); Heineck e Consoli (2002; 2004); Donato (2003; 2007); Vendruscolo (2003); Santos (2004), a grande maioria dos trabalhos citados atestam ganhos de resistência e confirmam a ação das fibras como meio de aumentar a tenacidade do solo. No Tocantins, Sousa (2016) deu início às primeiras pesquisas no estado de solo reforçado com fibra de PP, visando à aplicação do solo reforçado em obras de infraestrutura rodoviária, os resultados apontaram uma melhora significativa nas características mecânicas e físicas do solo estudado.

Considerando-se o grande potencial do uso de solo reforçado com fibras na área de infraestrutura rodoviária, e dando continuidade ao estudo realizado por Sousa (2016) na Universidade Federal do Tocantins-UFT, o presente trabalho tem como objetivo aperfeiçoar o estudo do comportamento do solo da região urbana de Palmas-TO, verificando a melhoria do mesmo ao adicionar de forma aleatória ao solo fibras de polipropileno (PP), e assim analisar a influência do uso de fibras polipropileno no parâmetro de Índice de Suporte Califórnia e expansão um solo da região urbana de Palmas-TO.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Melhoria ou reforço de solos é a utilização de processos físicos e/ou químicos que busquem o melhoramento das propriedades mecânicas dos solos. Procura-se, usualmente, o aumento da resistência do solo tratado e a diminuição de sua compressibilidade e de sua permeabilidade. O termo melhoria de solos está associado ao tratamento através de processos químicos, enquanto que o termo reforço está associado à utilização de inclusões em aterros e taludes (Casagrande, 2005).

Segundo Palmeira (1987) a técnica de reforço consiste na inclusão de um novo elemento na massa de solo, formando um compósito que permite uma redistribuição favorável dos esforços de tensão e deformação. É primordial para a avaliação assegurar a execução correta da técnica do reforço de solo considerando a forma de interação entre os elementos envolvidos. A eficácia do reforço de solo dependerá de três fatores de desempenho: as características mecânicas do solo, as características mecânicas do reforço adotado e o grau de interação entre o reforço e a matriz, tal como, as relações causa/efeito decorrentes dessa interação. Bento (2006), cita outras características complementares como a região em que se localiza o reforço e a sua disposição na matriz.

No geral a ação das fibras determina um comportamento reológico particular ao solo-fibra, quando comparado ao solo isoladamente. Essas modificações refletem no seu aumento de capacidade de carga e na modificação de sua resistência à compressão simples (Bueno *et al.*, 1994; Silva, 1995). O mecanismo de interação solo-fibra ainda não se encontra esclarecido em bases racionais, acredita-se que a presença de fibras cause micro ancoragem no interior da massa, por meio de atrito e aderência, que se desenvolvem nos contatos fibra-solo circundantes, e que proporcionam ganho de resistência ao cisalhamento via redução do deslocamento relativo de elementos de massa de solo em contato com as fibras (Silva *et al.*, 1995; Ribeiro, 1995).

As fibras de polipropileno, são fibras já utilizáveis em estruturas de concreto e que foram bastante estudadas como reforços em solo na Europa e nos Estados Unidos, tendo resultados satisfatórios em tais localidades. As fibras são materiais classificados como geotêxteis não tecido, um subgrupo pertencente aos geossintéticos. Quando comparado aos outros elementos de reforço existentes (p.ex. metálicos, fibras naturais, geogrelhas e geotêxteis tecidos), as fibras sintéticas apresentam uma menor interação química com outros elementos e, segundo Ehrlich e Becker (2009), além de reforçar o solo, possuem uma versatilidade de funções, como por exemplo, a drenagem, filtração e separação.

Montardo (1999) e Specht (2000) explicam que a constituição molecular do polímero termoplástico e a capacidade de movimentação separada de cada cadeia, são os responsáveis pela grande flexibilidade e tenacidade apresentada por essas fibras, o que tende a aumentar substancialmente a resistência dos materiais em que são incorporadas. Além das características físicas, o polipropileno apresenta uma vida útil superior se comparado às fibras naturais. As fibras de polipropileno vêm sendo bastante estudadas na atualidade assim sendo declarada uma das fibras mais promissoras existentes, já que os estudos comprovam que com a adição destas fibras ocorre o aumento a resistência à tração, assim sendo viável sua aplicação em vários setores da construção civil, como estabilização dos solos, material para terraplenos, pavimentação entre outros (Trindade *et al.*, 2004).

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

As características do solo foram determinadas pelos ensaios de massa específica dos grãos (NBR 6508), limite de liquidez (NBR 6459), limite de plasticidade (NBR 7180), compactação e determinação da umidade ótima e massa específica aparente seca máxima (NBR 7182) e análise granulométrica (NBR 7181). O material misturado foi compactado na energia modificada, em seguida foi determinado índice de suporte Califórnia (NBR 9895) para avaliar o efeito da compactação no comportamento do composto solo-fibra.

#### **3.1. Material**

##### *3.1.1. Solo*

O solo utilizado na pesquisa foi definido a partir de estudos já realizados anteriormente na pesquisa de Sousa (2016). A coleta de solo foi realizada no mês de abril do corrido ano, e seu ponto foi georeferenciado (coordenadas geográficas 10° 16' 56,8"S; 48° 18' 49,0"W), em quantidade suficiente para a realização de todos os ensaios previstos tanto na caracterização do solo natural como para análise do composto solo-fibra. As camadas inferiores a uma profundidade de 20 cm foram desprezadas de modo a evitar um material com elevado teor orgânico e, conseqüentemente, encontrar um solo mais representativo da região, como mostra a Figura 1.



**Figura 1:** Local da extração do solo.

Fonte: Acervo pessoal

### 3.1.2. Fibras

A Fibra de Polipropileno utilizada foi a NeoFibra MF doada pela empresa Neomatex - Comércio de Fibras e Têxteis Técnicos Ltda (Figura 2). As fibras comercializadas são encontradas com comprimento de 6mm, diâmetro em torno de 12 $\mu$ m acopladas em embalagens hidrossolúveis. Este tipo de material possui aplicações que vão desde pisos à pavimentos de concreto. Baseando em pesquisas anteriores como Sousa (2016), nesta pesquisa foi adotado um teor de 0,25% de fibra para análise do solo-fibra.



**Figura 2:** Fibra de polipropileno.

Fonte: Acervo pessoal

### 3.1.3. Composto solo-fibra

Dando continuidade aos estudos de Sousa (2016) já desenvolvidos na Universidade Federal do Tocantins, para a mistura de solo reforçado com fibras de polipropileno de comprimento de 6mm, foi determinado a inserção aleatória da fibra no solo na proporção de 0,25% em massa de solo (Figura 3), para realização dos ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia.



**Figura 3:** Procedimento de inserção da Fibra de polipropileno ao solo.  
Fonte: Acervo pessoal

### **3.2 Descrição dos procedimentos de ensaios**

#### *3.2.1. Preparação para ensaio de compactação e caracterização - NBR 6457*

O solo foi coletado de seu local de origem e do mesmo foi retirado amostras necessárias para determinação da umidade natural. Ao chegar ao laboratório de solos da Engenharia Civil da Universidade Federal do Tocantins - UFT, o solo foi colocado em baias para devida secagem ao ar e alcance da umidade higroscópica, determinada a partir das amostras necessárias levadas à estufa. Estando o mesmo na umidade higroscópica, procedeu o destorroamento do mesmo a quantidade necessária para os ensaios subsequentes de caracterização e compactação de acordo com os normativos vigentes.

#### *3.2.2. Análise Granulométrica do solo - NBR 7181*

Com o solo destorroado procedeu-se a preparação da amostra a ser utilizada para o peneiramento grosso, sedimentação e peneiramento fino. Para o peneiramento grosso segundo a norma NBR 7181, foi utilizado o material lavado e retido na peneira #2 mm, em seguida levado a estufa a 105°C por 24h, após o material seco em estufa foi feito o peneiramento com a série de peneiras 50 – 38 – 25 – 19 – 9,5 – 4,8 – 2 mm e analisada porcentagem retida em cada uma. Para a sedimentação e peneiramento fino, foi utilizada uma amostra onde foi adicionada água destilada com defloculante (hexametáfosfato de sódio com concentração de 45,7g do sal por 1000 cm<sup>3</sup> de solução) uma amostra de material passante da #2 onde a mesma após 12 h em repouso é adicionada no copo dispersor e agitada, e então colocada na proveta para sedimentação. Após o ensaio de sedimentação o material é lavado na peneira nº 200 (0,075 mm) em água potável e levado a estufa a 105°C por 24h após isso então é realizado o peneiramento fino na série de peneiras 1,2 – 0,6 – 0,4 – 0,25 – 0,15 – 0,075 mm.

#### *3.2.3. Massa específica do solo - NBR 6508*

Para o seguinte ensaio foram utilizadas duas amostras de 50g de solo já preparado. As amostras foram colocadas em imersão na água destilada por 12 horas. Após esse período foram levadas para o copo de dispersão com adição da quantidade necessária de água destilada para a correta dispersão. Foi então transferido para os respectivos picnômetros devidamente calibrados, onde se faz os processos necessários para ir então à máquina de

vácuo. Depois de estabelecido o vácuo e retirado todas as partículas de ar do sistema, foi adicionada água cuidadosamente nos picnômetros e colocado em repouso, para após o repouso fazer a leitura da temperatura dentro do picnômetro e anotações necessárias para conclusão do ensaio.

#### *3.2.4. Limite de Liquidez do solo - NBR 6459*

A amostra para esse ensaio foi tomada cerca de 200g de material passada na peneira de 0,42 mm. Nesse material é adicionado a água destilada para obter uma pasta homogênea que é então levado ao aparelho de Casagrande para determinação de liquidez, em quantidade adequada. O local a ser adicionado o solo é uma superfície em forma de concha, que após o solo colocado sofre uma ranhura em sua parte central. O experimento consiste em dar golpes seguidos na concha até que a ranhura se feche anotando a quantidade de golpes necessários para que isso ocorra. Após isso é retirada amostra do mesmo para determinação da umidade relacionada ao número de golpes do equipamento de Casagrande.

#### *3.2.5. Limite de Plasticidade do solo - NBR 7180*

A amostra tomada para o ensaio procedeu de forma similar a amostra do ensaio de limite de liquidez. Esta também recebe adição de água destilada até sua devida homogeneização. E após esta homogeneização, toma-se cerca de 10g da amostra preparada, forma-se então uma pequena bola com esse material e rola a mesma em uma placa de vidro, para que se molde um cilindro. É necessário repetir esse processo, adicionando a quantidade necessária de água ou solo, até que o cilindro apresente comprimento de 10cm e diâmetro de 3mm (dimensões do gabarito padrão) e apresente pequenas ranhuras sem quebrar. Ao atingir esses limites retira-se então a amostra para determinar a umidade. É necessário repetir o ensaio até alcançar três ou mais valores de umidade, que permitam assim encontrar o valor do limite de plasticidade.

#### *3.2.6. Ensaio de compactação - NBR 7182*

Para a realização do ensaio foi utilizado uma amostra de 35kg de solo separado em cinco partes iguais para produção de cinco corpos de prova, conforme mostra a Figura 4, estando um corpo de prova na umidade ótima presumível, previamente estimada, dois corpos de prova abaixo desta e dois corpos de prova acima da mesma desta. Com os dados de massa específica aparente seca e umidade do solo é produzido então a curva de compactação e a partir dela retirados os dados de massa específica aparente seca máxima e umidade ótima.



**Figura 4:** Separação e preparação do solo para compactação  
Fonte: Acervo pessoal

### 3.2.8. Ensaio de Índice de Suporte Califórnia - NBR 9895

A descrição do procedimento realizado seguiu conforme descrito em norma, os corpos de prova do solo natural e do composto solo-fibra foram compactados na umidade ótima na energia modificada, e após a retirada do disco espaçador foi colocado o prato perfurado com a haste de expansão e sobre ele o disco de massa  $4540 \pm g$  e acoplado o extensômetro, foi então imerso em um taque e feito as leituras para a obtenção dos resultados tanto para solo sem adição de fibra como para o solo com fibra.

O ensaio de índice de Suporte Califórnia – ISC ou *California Bearing Ratio* – CBR é usado para determinação da resistência do solo compactado a penetração de um pistão de carga, o valor dessa resistência do solo é dado em porcentagem em relação ao valor padrão de resistência da brita padrão da Califórnia. Além desta determinação do ISC, é realizado e tomado as determinações da expansão do solo após 4 dias submerso em água.

## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1. Caracterização do solo

Ao realizar os ensaios de caracterização do solo pode-se determinar os seus valores característicos como a massa específica dos grãos de solo, e os limites de liquidez e plasticidade e produzir a curva granulométrica. A partir da subtração do limite de liquidez (LL ou wL) pelo limite de plasticidade (LP ou wP) foi possível encontrar o índice de plasticidade (IP) de 7,1 que caracteriza a consistência baixa plástica deste solo. A Tabela 1, apresenta as características geotécnicas básicas do solo.

**Tabela 1:** Características do solo coletado

Parâmetro analisado	Resultado de ensaio
Massa específica dos grãos ( $g/cm^3$ )	2,7
Limite de liquidez (%)	39,0
Limite de Plasticidade (%)	32,0
Índice de plasticidade (%)	7,0

Fonte: Acervo pessoal

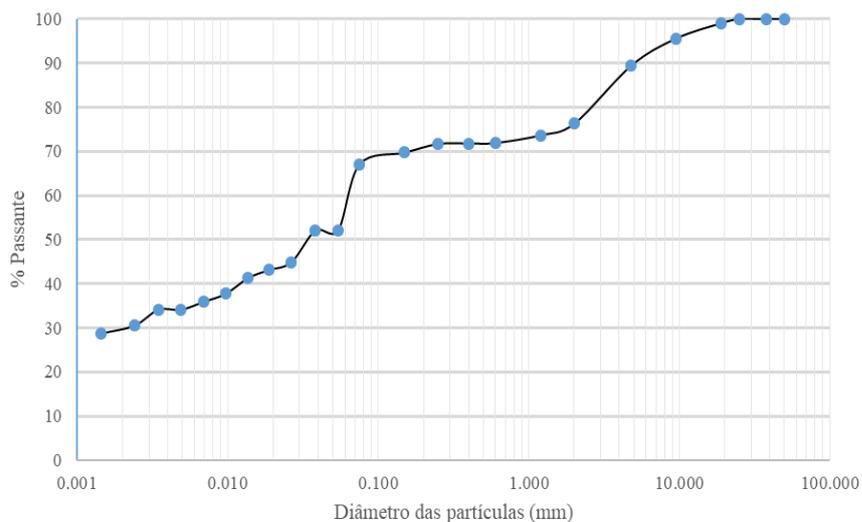
A análise granulométrica visou determinar os tamanhos dos diâmetros equivalentes das partículas sólidas, em conjunto com a proporção de cada fração constituinte do solo em relação ao peso de solo seco. A Tabela 2, a seguir apresenta a composição do solo em estudo.

**Tabela 2:** Composição do solo

Tipo de solo	Quantidade (%)
Argila	29
Silte	23
Areia fina	18
Areia média	2
Areia grossa	4
Pedregulho	24

Fonte: Acervo pessoal

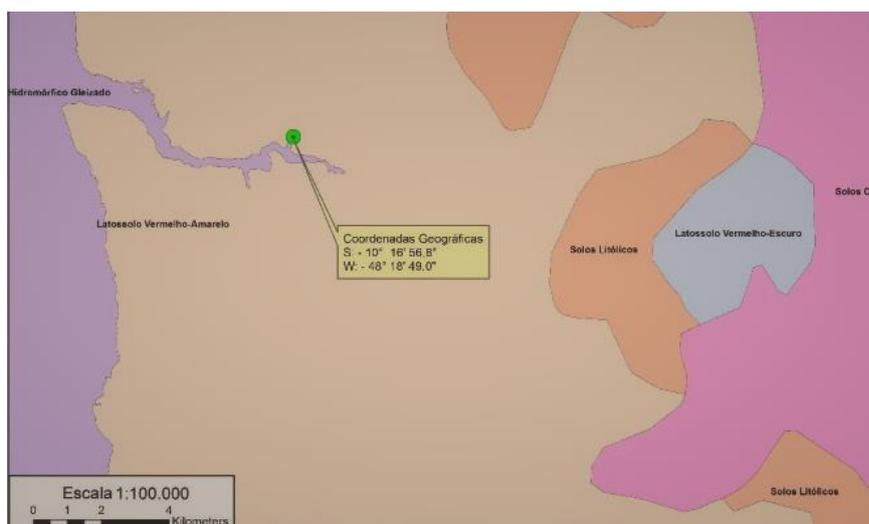
A representação gráfica das medidas realizadas é apresentada de forma gráfica pela Figura 5.



**Figura 5:** Distribuição granulométrica.  
 Fonte: Acervo pessoal

A partir da análise da curva granulométrica do solo e em conjunto com os resultados obtidos de limites de liquidez e índice de plasticidade, pode-se classificar o solo a partir da metodologia de classificação HRB (*Highway Research Board*) AASHTO como um solo pertencente ao Grupo A4, ou seja, solo siltooso de baixa compressibilidade.

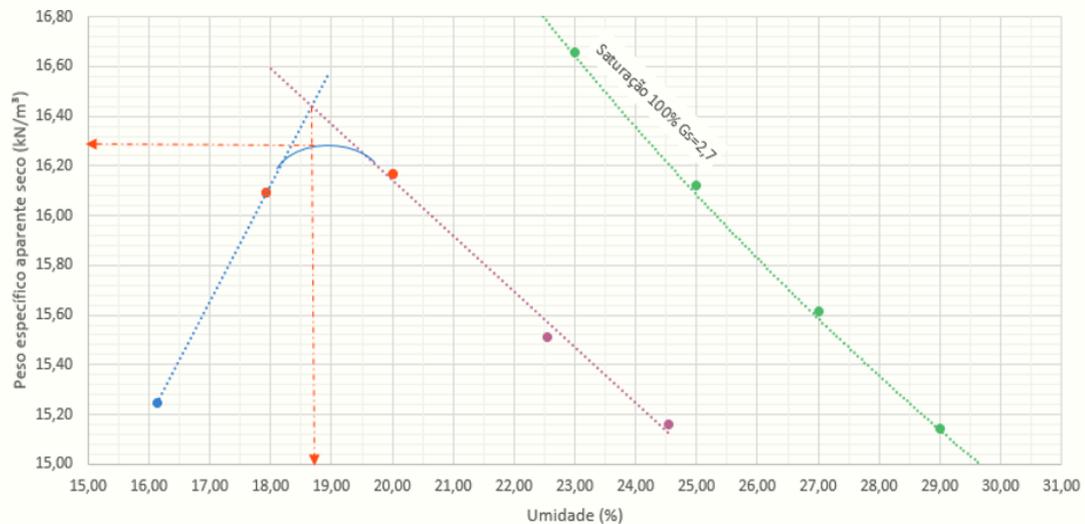
Analisando o mapa pedológico da região (Figura 6) que mostra a localização do ponto de coleta pertencente um Latossolo vermelho-amarelo e considerando o IP, as porcentagens de distribuição do solo e as porcentagens de solo passante nas peneiras #10, #40 e #200 apresentados anteriormente é possível caracterizar o solo como Silto Argiloso, o que corrobora com a classificação HRB.



**Figura 6:** Mapa Pedológico da região analisada.  
 Fonte: Sousa (2016)

A Figura 7, a seguir, apresenta a curva de compactação do solo na energia modificada, analisando esta curva foi possível determinar os parâmetros de umidade ótima de 18,7%, e

peso específico aparente seco máximo de 16,28 kN/m<sup>3</sup>.



**Figura 7:** Curva de compactação do solo  
Fonte: Acervo pessoal

#### 4.2. Avaliação do composto solo-fibra

Os corpos de prova do solo natural e do composto solo-fibra foram compactados na umidade ótima e na energia modificada. Para o solo natural o ISC encontrado foi igual a 10,45%, já para o composto solo-fibra apresentou um ISC de 9,22%, o resultado demonstra uma tendência à diminuição da resistência do solo ao adicionar a fibra.

Com relação aos resultados de expansão, o solo natural apresentou uma expansão de 2,60%, valor este superior ao valor limite admitido para um solo ser aceito para fins de subleito rodoviário, conforme preconiza os normativos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT, já o composto solo-fibra apresentou uma expansão de 0,93%. Com os resultados de ISC observa-se que a fibra não contribuiu para o aumento da resistência do solo, porém apresentou redução de 64% na taxa de expansão do solo-fibra em relação ao solo natural.

#### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final do processo e realizando comparações dos dados das amostras de solo natural e da mistura solo-fibra é possível entender que a utilização da fibra de polipropileno não é regular, e sendo de fato uma fibra para melhoria de solo ainda é necessário estudo mais específico. São muitas as variáveis para adequação do composto solo-fibra, considerando entre elas o tipo de solo à receber essa possível melhoria, as porcentagens de fibra à serem adicionadas, as diretrizes à serem seguidas (p.ex. a energia escolhida para o ensaio de compactação), etc.

Considerando todas essas variáveis e o fato de que a adição de fibra no solo utilizado não se apresentou totalmente satisfatório, pode-se ainda concluir que a fibra apresentou forte indicativo no que se refere à expansão do solo, haja vista que ao adicionar a fibra ao solo, o mesmo apresentou redução nas taxas de expansão em 64% do composto solo-fibra em relação

ao solo natural. O que já caracteriza uma influência positiva nesse solo, propósito principal, da pesquisa. Para os outros quesitos ainda é necessário o devido aprofundamento do estudo.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1984) *NBR 6508 - Solo – Determinação da densidade real dos grãos*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1984) *NBR 7180 - Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1984) *NBR 7181 - Solo – Análise granulométrica*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1986) *NBR 6457 - Amostras De Solos – Preparação para ensaios de compactação e caracterização*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1986) *NBR 7182 - Solo – Ensaio de Compactação*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1984) *NBR 6459 - Solo – Determinação do limite de liquidez*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT *NBR 9895 - Solo – Índice de suporte califórnia – Método de ensaio* Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- Al-Refeai, T.O. *Behavior of granular soils reinforced with discrete randomly oriented inclusions. Geotextiles and Geomembranes*, v. 10, n. 4, p. 319-333, 1986.
- Bento, P. F. *Uso de Cal e Fibras na Melhoria de Materiais para Utilização em Estruturas de Pavimentos*. 2006. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- Bueno, B.S. e D.C. Lima e C. C. Machado (1994) *Estudo de dosagens de misturas solo-cal, cimento, DS-328 e fibras*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 68p. (Relatório Técnico LMS-01/94).
- Casagrande, M.D.T. *Estudo do comportamento de um solo reforçado com fibras de polipropileno visando o uso como base de fundações superficiais*. Porto Alegre, 2001, 95p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS.
- Casagrande, M.D.T. (2005) *Comportamento de solos reforçados com fibras submetidos a grandes deformações*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Casagrande, M.D.T.; Consoli, N. *Estudo do comportamento de um solo residual areno=siltoso reforçado com fibras de polipropileno*. Solos e Rochas, São Paulo, ABMS/ABGE, v.25, n.3, p.223-230, 2002.
- Casagrande, M.D.T.; Consoli, N. C. *Comportamento a Grandes Deformações Cisalhantes de uma Areia Reforçada com Fibras*. In: IV Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Curitiba. Geosul' 2004. p.293-300, 2004.
- Donato, M. *Comportamento Mecânico de Concreto Compactado com Rolo Reforçado com Fibras de Polipropileno*. Porto Alegre, 2003. 82p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS.
- Donato, M. *Medidas Diretas de Tensão em Solo Reforçado com Fibras de Polipropileno*. Porto Alegre, 2007. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS.
- Ehrlich, M. e L. Becker (2009) *Muros e Taludes de Solo Reforçado: Projeto e Execução*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 126 p. (Coleção Huesker: Engenharia com Geossintéticos).
- Feuerharmel, M.R. *Comportamento de solos reforçados com fibras de polipropileno*. Porto Alegre, 2000. 131p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS.
- Freitag, D.R. (1986). *Soil randomly reinforced with fibers. Journal of Geotechnical Engineering*, New York, v.112, n.8, p. 823-826.
- Heineck, K.S. *Estudo do comportamento hidráulico e mecânico de materiais geotécnicos para barreiras horizontais*. Porto Alegre, 2002. 251p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS.
- Heineck, K.S.; Consoli, N.C. *Influência da adição de fibras na resistência última de solos*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICO, 12., 2002, São Paulo. Anais... São Paulo: ABMS, 3v., v.1, p.403-408, 2002.
- Heineck, K.S.; Consoli, N.C. *Discussion to Discrete framework for limit equilibrium analysis of fibre reinforced soil*. Géotechnique, London, v.54, n.1, p.72-73, 2004.

- Gray, D.H.; Ohashi, H. *Mechanics of fibers reinforced in sand*. *Journal of Geotechnical Engineering*, v. 109, n. 3, p. 335-353, 1983
- Lima, D.C.; Bueno, B.S.; Thomasi, L. *The Mechanical response of soil-lime mixtures reinforced with short synthetic fiber*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL GEOTECHNOLOGY, 3., 1996, San Diego. Proceedings... v.1, p.868-877, 1996.
- Maher, M.H.; Gray, D.H. (1990). *Static response of sands reinforced with randomly distributed fibers*. *Journal of Geotechnical Engineering*, New York, v.116, n.11, p.1661-1677.
- Maher, M.H.; Ho, Y.C. (1993). *Behavior of fiberreinforced cemented sand under static and cyclic loads*. *Geotechnical Testing Journal*, Philadelphia, v.16, n.3, p. 330-338
- Montardo, J. P. (1999) *Comportamento mecânico de compósitos solo-cimento-fibra: estudo do efeito das propriedades dos materiais constituintes*. Porto Alegre, 1999. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS.
- Montardo, J.P.; Consoli, N.C.; Prietto, P.D.M. *Comportamento Mecânico de compósitos solo-cimento-fibra: estudo do efeito das propriedades dos materiais constituintes*. Solos e Rochas, São Paulo, ABMS/ABGE, v.24, n.3, p.191-209, 2002.
- Palmeira, E. M. (1987) *The Study of Soil-Reinforcement Interaction by Means of Large Scale Laboratory Tests*. 1987. 234 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Oxford, Trinity Term, 1987.
- Ribeiro, N. J. (1995) *Estudo do comportamento de solo reforçado com fibras*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 13p. (Relatório FAPEMIG).
- Santos, A.P.S. *Comportamento de misturas solo-cimento-fibra sob compressão confinada com medição de tensão lateral*. Porto Alegre, 2004. 125p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS.
- Silva, M.A. e B. S. Bueno e D.C. Lima (1995) *Estabilização de solos com inclusões curtas aleatórias*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE APLICAÇÕES DE GEOSSINTÉTICOS, 2., 1995.
- Silva, M. (1995) *Estabilização de solos com fibras plásticas curtas aleatórias: Um estudo de caso*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 69p. (Tese de MS).
- Sousa, W. S. V. (2016) *Uso de Fibras de Polipropileno para reforço de solo visando a aplicação em obras de infraestrutura urbana*. 2016. 99 p. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2016.
- Santoni, R.L.; Tingle, J.S.; WEBSTER, S.L. (2001). *Engineering Properties of sand-fiber mixtures for road construction*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, New York, v.127, n.3, p.258-268.
- Specht, L.P. (2000) *Comportamento de misturas de solo-cimento-fibra submetidos a carregamentos estáticos visando à pavimentação*. Porto Alegre, 2000. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS.
- Teodoro, J.M.; Bueno, B.S. *Estudo do comportamento dos solos reforçados com fibras plásticas de polipropileno*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 11, Brasília, 1998. Anais... v.2., p.1093-1100, 1998.
- Trindade, T. P. e I. LASBIK e D. C. LIMA e C. H. C. SILVA e P. S. A. Barbosa (2004) *Latosolo vermelho – amarelo reforçado com fibras de polipropileno de distribuição aleatória: estudo em laboratório*. Minas Gerais, p.6, 2004.
- Vendruscolo, M.A. *Comportamento de ensaios de placa em camadas de solo melhoradas com cimento e fibras de polipropileno*. Porto Alegre, 2003. 224p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS.
- Ulbrich, L.A. *Aspectos do comportamento mecânico de um solo reforçado com fibras*. Porto Alegre, 1997. 122p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS.
- Zornberg, J.G. (2002). *Discrete framework for limit equilibrium analysis of fibre-reinforced soil*. *Geotechnique*, London, v.52, n.8, p.593-604

---

Ana Paula Felício Santos (anapaulafelicio@uft.edu.br)

Ananda Beatriz Martins de Sousa (ananda\_bms@hotmail.com)

Janaina Lima de Araújo (janaina.araujo@uft.edu.br)

Marcus Vinícius Ribeiro e Souza (marcussouza@uft.edu.br)

Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Tocantins

Quadra 109 Norte, Avenida NS 15, ALCNO-14 – Plano Diretor Norte, Palmas, TO, Brasil.