

## 20ª RPU – REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA

Florianópolis, SC – CentroSul - 28 a 30 de junho de 2017

### ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE MISTURAS DE SOLO, CAL E FIBRAS DE POLIPROPILENO PARA USO EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

*José Breno Ferreira Quariguasi<sup>1</sup>; Francisco Heber Lacerda de Oliveira<sup>2</sup>; Haikel Buganem Busgaib Gonçalves<sup>3</sup> & Marcos Fábio Porto de Aguiar<sup>4</sup>*

#### RESUMO

Este trabalho foi realizado visando encontrar materiais que possam melhorar a capacidade de suporte de solos para utilização em pavimentos rodoviários, haja vista que a quantidade de solo considerado adequado para pavimentação vem diminuindo com a sua constante exploração. Para isso, foram utilizadas cal e fibras de polipropileno, um material novo no mercado e que já é usado na produção de concreto. O solo escolhido para ser reforçado foi um solo argiloso com presença de pedregulhos, classificado como A-2-4, cujo Índice de Suporte Califórnia (ISC) foi de 21%. Com o intuito de dar prosseguimento a estudos anteriores, foram utilizados dois teores de fibras, 1,0% e 2,0%, e analisada sua influência quando adicionado 1,0% de cal à mistura. A metodologia foi embasada pesquisas preliminares, assim como a dosagem dos materiais e os ensaios realizados de acordo com as normas técnicas nacionais. Os principais resultados mostram que, a depender dos percentuais de cal e fibra adicionados ao solo, há um aumento significativo no ISC se comparado ao solo *in natura*. No entanto, ao se comparar o ISC do solo e fibra com a mistura solo-fibra-cal percebe-se que o ISC tanto pode aumentar quanto diminuir, dependendo das porcentagens usadas. Percebe-se, também, uma diminuição da expansão volumétrica quando adiciona-se cal ao solo com fibra.

**PALAVRAS-CHAVE:** Solo. Reforço. Fibras. Cal. Pavimento.

#### ABSTRACT

This work intends to find materials that can improve the bearing capacity of soils for use in road pavements, once the amount of soil considered good for paving is ending up with its continuous exploration. It was used lime and polypropylene fibers, a material that is used for improvement of reinforced concrete. The soil chosen to be reinforced was a clayey soil with presence of gravels, classified as A-2-4 and its California Bearing Ratio (CBR) is 21%. Purposing to continue previous studies, two percentages of fibers were analyzed with the addition of 1,0% of lime: 1,0% and 2,0%. The tests made for this thesis were performed following the national technical standards. The main results found show that depending on the percentage of lime and fiber added to the soil, there is a significant increase on the CBR if compared to the natural soil, however when compare the CBR to the soil and fiber to mixture soil, fiber and lime it see that CBR can increase or decrease, depending on the percentage of fiber used. It was also noted a decrease in its percentage expansion compared to the natural soil and soil with fiber.

**KEYWORDS:** Soil. Reinforce. Fiber. Lime. Pave.

<sup>1</sup>Engenheiro Civil. Rua Fonseca Lobo, 1444, Ap. 302, Fortaleza-Ce. CEP 60175-020. breno\_92@yahoo.com.br.

<sup>2</sup>Doutor em Engenharia de Transportes. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Bloco 703. Fortaleza-Ce. CEP 60440-900. heber@det.ufc.br.

<sup>3</sup>Engenheiro Civil. Rua Silva Jatahy, 54, apartamento 300, Fortaleza-Ce. CEP 60165-070. haikelbusgaib@gmail.com.

<sup>4</sup>Doutor em Geotecnia. Professor Adjunto. Departamento de Construção Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Fortaleza-Ce. CEP 60040-215. marcosfpa@hotmail.com.

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A pavimentação rodoviária é um elemento importante quando se trata da infraestrutura de transportes. Desde as civilizações mais antigas, é possível perceber a contribuição da pavimentação para a população por meio do seu desenvolvimento socioeconômico e cultural.

Desde a civilização egípcia, segundo Saunier (1936, *apud* Bernucci, et al., 2008), tem-se registros do uso da pavimentação para o transporte de cargas. Porém, foi atribuída ao Império Romano a arte maior do planejamento e construção viária, com um sistema robusto construído com elevado nível de critério técnico. De acordo com Hagen (1955, *apud* Bernucci, et al., 2008), os romanos exploraram a pavimentação para fins militares, facilitando o deslocamento das tropas para manter e ampliar seu território.

Entretanto, com o passar do tempo, o fluxo nas rodovias foi aumentando e os veículos ficaram mais pesados, o que exigiu uma maior capacidade dos pavimentos. No entanto, nem todo solo possui essa capacidade naturalmente, precisando ser estabilizado, reforçado ou substituído.

Segundo Farias (2010), a estabilização de um solo corresponde a qualquer processo, natural ou artificial, pelo qual um solo, sob o efeito de cargas aplicadas, torna-se mais resistente à deformação e à ruptura, do que o solo original. Já o reforço de solo é um tratamento para melhorar o solo, com a finalidade de aumentar sua capacidade de carga e diminuir o recalque e, conseqüentemente, viabilizar construções sobre áreas que antes eram instáveis.

Devido ao uso cada vez maior das jazidas de solo consideradas adequadas para pavimentação, faz-se necessário a busca por novas alternativas, seja de novas jazidas, materiais ou técnicas que possam melhorar um solo já existente. Para tanto, foi escolhido, para este trabalho, o uso de fibra de polipropileno e cal hidratada como reforço para melhorar a capacidade de suporte de um solo.

A fibra de polipropileno foi escolhida por ser considerada umas das mais promissoras presentes no mercado. Apresenta aumento da resistência à tração, além de muitas aplicações, como estabilização de solos e pavimentação, e reforço em concreto e argamassa (TRINDADE *et al.*, 2004).

A cal foi escolhida por ser o estabilizante de maior utilização e abundância, bem como o mais econômico usado para estabilização de solos, com aplicação em pavimentação e aterros. A sua eficiência foi comprovada através de vários estudos sobre a utilização da cal no melhoramento de solo para pavimentação, apresentando bons resultados em relação a sua capacidade de suporte e na redução de recalques (ROSA, 2009).

Diante do exposto, este artigo tem como objetivo analisar a influência na capacidade de suporte de misturas de um solo com fibras de polipropileno e cal hidratada como reforço de solo argiloso para uso em camadas de pavimentação.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Há uma grande quantidade de materiais fibrosos com aplicação em reforços para solo no mercado. Essas fibras variam de acordo com seu material de origem e fabricação, e apresentam diferentes propriedades físicas, mecânicas e químicas. Fazendo com que cada uma tenha uma reação diferente no comportamento do material compósito.

As fibras fabricadas a partir de polímeros apresentam uma vasta quantidade de materiais no mercado, pois os polímeros podem apresentar diferentes estruturas químicas com diferentes comportamentos. Por ter propriedades importantes como a durabilidade, são as fibras mais utilizadas para reforço de solos.

As fibras de polipropileno, de acordo com Specht (2000), são compostas por termoplástico, material polimérico que adquire consistência plástica com o aumento de temperatura. Possuem alta flexibilidade e tenacidade, proporcionando aumento de resistência ao impacto de materiais. As principais vantagens são seu elevado ponto de fusão (165°C) baixo custo e resistência aos álcalis. Porém, não são tão resistentes ao fogo, possuem um baixo módulo de elasticidade (1 a 8 GPa), são sensíveis à luz e ao oxigênio, e tem uma pobre ligação com a matriz solo. No entanto, a sensibilidade ao fogo é diminuída quando se mistura fibra ao solo (BENTUR & MINDESS, 2007).

As fibras de polipropileno mais populares são as de monofilamentos e as fibriladas. Para Lima Neto (2016), as fibras de monofilamentos são constituídas por fios cortados em comprimento padrão e as fibriladas são malhas de filamentos finos de formato retangular, fazendo com que aumente a adesão das fibras na matriz.

### Interação Solo-Fibra

De acordo com Gray & Maher (1989, *apud* VENDRUSCOLO, 2003) os processos utilizados para reforçar uma massa de solo com fibras discretas e aleatoriamente distribuídas são semelhantes aos processos usados nas misturas de solo estabilizado com cal ou cimento. Os autores perceberam que o aumento da relação comprimento/diâmetro da fibra resulta na diminuição da tensão de confinamento crítica e torna a contribuição da fibra mais efetiva no aumento da resistência ao cisalhamento. No entanto, esse aumento da resistência ao cisalhamento devido ao aumento do teor de fibras só é observado até certo limite.

Através da relação  $l/d$  (comprimento/diâmetro da fibra) ou fator de forma Taylor (1994) buscou equacionar o equilíbrio de forças entre a resistência à tração ( $F_t$ ), Figura 1, e a resistência de aderência entre a fibra e a matriz ( $F_a$ ) usando as equações 1 e 2:

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} * F_t = \pi * d * \frac{1}{2} * F_a \quad (1)$$

$$\frac{l}{d} = \frac{F_t}{2F_a} \quad (2)$$

Em que:

$d$  = diâmetro da fibra;

$l$  = comprimento da fibra;

$F_a$  = resistência de aderência entre a fibra e a matriz;

$F_t$  = resistência à tração da fibra.

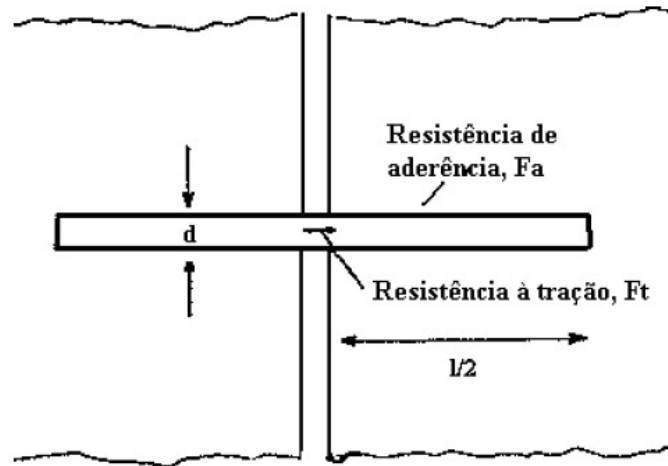


Figura 1. Fibrossolo (Taylor, 1994).

De acordo com os resultados obtidos por Lima Neto (2016), quando adicionado fibra ao solo houve um aumento considerável no aumento da resistência em relação ao solo *in natura*. Conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Resumo do ensaio de ISC para solo e fibra

Teor de fibra (%)	ISC	Umidade (%)	Expansão
1,0	31	13,52	0,05
	31	13,84	0,08
2,0	33	13,40	0,32
	36	14,30	0,28

### Efeitos da cal no solo

A cal, segundo Lopes Júnior (2007), quando adicionada em um solo argiloso altera suas propriedades físicas. No entanto, essas alterações dependem de alguns fatores, tais como tipo de solo, tipo e teor de cal, energia de compactação, período e condições de cura.

A eficiência da estabilização do solo com cal está relacionada a pureza e origem da cal. As reações da cal no solo podem ser divididas em fase rápida e lenta. A fase rápida compreende a floculação, troca iônica e adsorção de moléculas de hidróxido de cálcio; já a fase lenta é resultado das ações pozolânicas (cimentantes) e da carbonatação (BERNUCCI *et al*, 2008).

Para Guimarães (2002), a troca iônica tem uma ação imediata após alguns instantes de contanto, alterando as propriedades físicas do solo. Tais mudanças são observadas na granulometria, nos Limites de Atterberg, na compactação e na capacidade de suporte.

De acordo com Guimarães (2002), a principal consequência físico-química da inclusão de cal em solos é a aglomeração e a floculação por troca iônica, processada nas pequenas partículas de argilas reativas, tendo como produto um solo mais grosso, permeável e friável. Através da adição de cal em solos, conforme afirma Guimarães (2002), há uma diminuição brusca nas propriedades de expansão dos solos, principalmente em solos argilosos. A cal age aumentando o limite de contração. Valores acima do teor ótimo de cal tendem a produzir poucos efeitos, apenas pequenas reduções nos valores das alterações de volume.

O teor ótimo de umidade tende a aumentar, inicialmente, a medida que aumenta-se o teor de cal, porém após um certo ponto é possível observar que a umidade ótima permanece constante. O aumento da capacidade de retenção de água, granulometria e do teor ótimo de umidade auxiliam no processo de secagem do solo, o que melhora sua trabalhabilidade (GUIMARÃES, 2002).

## MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir estão apresentadas as características dos materiais utilizados nesta pesquisa, solo, fibras de polipropileno e cal, bem como métodos que foram seguidos.

### Solo utilizado

O solo foi coletado na jazida localizada próxima a Avenida Eta Gavião, no município de Itaitinga, Ceará, sendo o mesmo utilizado por Lima Neto (2016). Também pode ser localizada através das coordenadas 3 ° 52' 43'' S/ 38 ° 32' 20'' O. Foi coletado, aproximadamente, 140 kg de solo, para este trabalho, em uma profundidade de 3 metros. O solo coletado apresentava uma coloração avermelhada com presença de pedregulhos, Figura 2.



Figura 2. Solo utilizado

### Caracterização do solo

Os dados da caracterização do solo foram obtidos através de trabalhos de Lima Neto (2016). O ensaio de granulometria foi feito conforme a ABNT (1984a). Os ensaios de Limites de Liquidez e Plasticidade foram realizados de acordo com a ABNT (1984b; 1984c). Estes ensaios foram feitos para fazer a classificação do solo pelo *Transportation Research Board* (TRB), que resultou em A-2-4, ou seja, um solo argiloso com presença de pedregulhos. A Tabela 2 apresenta o resumo granulométrico.

Tabela 2: Resumo granulométrico do solo

Predregulho (>4,8mm)	31,47%
Areia Grossa (4,8mm-2,0mm)	6,59%
Areia Média (2,0mm-0,42mm)	11,25%
Areia Fina (0,42mm-0,075mm)	20,81%
Silte, Argila (<0,075mm)	29,88%
Total.....	100,00%

Apresentou um Limite de Liquidez (LL) de 31,5% e Limite de Plasticidade (LP) de 23,77%. Com esses dados encontrou-se um Índice de Plasticidade (IP) de 7,73%. Com esse valor de IP pode-se dizer que é um solo medianamente plástico.

### Ensaio de compactação

A compactação diminui o volume de vazios no solo à medida que se adiciona água ao solo fazendo com que seu peso específico aparente aumente, entretanto esse aumento só vai até certo limite de umidade, que é considerado o teor de umidade ótima. O ensaio de compactação tem como finalidade conhecer o peso específico seco máximo aparente e o teor de umidade ótima. Para a realização deste ensaio foi seguida a ABNT (1986b).

O ensaio de compactação foi feito com energia intermediária. O peso específico aparente seco máximo do solo *in natura* foi 1,98gf/cm<sup>3</sup> e apresentou um teor de umidade de 14,5%.

### Ensaio de Índice de Suporte Califórnia

O ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou *California Bearing Ratio* (CBR), tem como finalidade conhecer a capacidade de suporte do solo e sua expansão volumétrica. O ensaio foi realizado conforme a norma DNER 049/14, em que se deve compactar uma amostra de solo utilizando a umidade ótima, encontrada no ensaio de compactação. A Tabela 3 apresenta os resultados de ISC para o solo *in natura*.

Tabela 3: Resultados de ISC para o solo *in natura*

ISC (%)	Expansão (%)
19	0,24
21	0,25
31	0,21

### Fibras de polipropileno adotada

A fibra utilizada na pesquisa foi a Fibromac-24. Essa fibra foi escolhida por conta do seu comprimento de 24 mm e diâmetro de 18 µm. A Tabela 4 discrimina as características da fibra.

Tabela 4: Características da fibra

Propriedades Físicas		
	Unidades	Medidas
Diâmetro	µm	8
Seção	-	circular
Comprimento	mm	24
Alongamento	%	80
Matéria-prima	-	polipropileno
Peso Específico	g/cm <sup>3</sup>	0,91
Propriedades Mecânicas		
Temperatura de fusão	°C	160
Temperatura de ignição	°C	365
Resistência á tração	MPa (N/mm <sup>2</sup> )	300
Módulo de Young	MPa	3000

Para esta pesquisa foram utilizados os teores de 1,0% e 2,0% de fibra para efeito de comparação com estudos iniciados por Lima Neto (2016). É importante ressaltar que esses teores são em relação à massa do solo seco.

### Cal utilizada

Foi utilizada, para este trabalho, a cal hidratada (CH-I). Foi escolhida por ser considerada a de maior pureza e qualidade. Na Tabela 5 são apresentadas as características da cal.

Tabela 5: Características da cal

Cal Hidrata CH-I	
Textura	Microcristalina Romboédica
Densidade	2,7 g/cm <sup>3</sup>
Pureza	92,5%
Umidade	≤ 2,0%
Densidade Aparente	0,55 - 0,65 g/cm <sup>3</sup>

Para a dosagem da cal foi utilizada como referência uma tabela adaptada de Ingles e Metcalf (1972) feita por Lopes Júnior (2007). Utilizou-se a quantidade mínima de cal, de 1,0%, para modificação de solos argilosos bem graduados, conforme a Tabela 6.

Tabela 6: Dosagem da cal

Tipo de solo	Teor de cal (%)	
	Para modificação	Para estabilização
Pedra finamente britada	2 a 4	Não recomendado
Pedregulho argiloso bem graduado	1 a 3	≥ 3
Areias	Não recomendado	Não recomendado
Argila arenosa	Não recomendado	≥ 5
Argila siltosa	1 a 3	2 a 4
Argilas	1 a 3	3 a 8
Solos orgânicos	Não recomendado	Não recomendado

## ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de compactação realizados com fibras apresentaram pouca diferença quando comparado ao solo *in natura*, como mostrado na Tabela 7. Vale ressaltar, também, que foram utilizados dois modos de homogeneização em trabalhos anteriores, em que no primeiro modo adicionava-se fibra ao solo e depois se homogeneizava com água, já no segundo modo o solo era misturado com água e em seguida homogeneizado com fibra. De acordo com os resultados encontrados, o segundo modo de homogeneização demonstrou ser mais eficiente. Portanto, esta pesquisa foi feita utilizando o segundo modo de homogeneização.

Tabela 7: Resumo do ensaio de compactação

Teor de fibra (%)	Peso Específico Aparente Seco Máximo (gf/cm <sup>3</sup> )	Umidade Ótima (%)
Solo <i>in natura</i>	1,98	14,5
Solo + 0,5% de fibra	1,93	14,2
Solo + 1,0% de fibra	1,90	13,2
Solo + 1,0% de cal	1,909	17,3
	1,887	16,7

Nos ensaios de compactação realizados com cal não foram utilizadas fibras, uma vez que elas não apresentam muita diferença na umidade ótima e no peso específico aparente seco máximo. Através dos dados do ensaio percebe-se uma pequena redução do peso específico aparente seco máximo e um aumento no teor de umidade ótima, como descrito na revisão bibliográfica.

A Figura 3 mostra um comparativo entre as curvas de compactação obtidas para o solo *in natura* e para o solo adicionado de cal. Percebe-se que com a adição de cal há uma variação maior no teor de umidade e menor no peso específico aparente seco máximo do que em relação ao solo *in natura*.

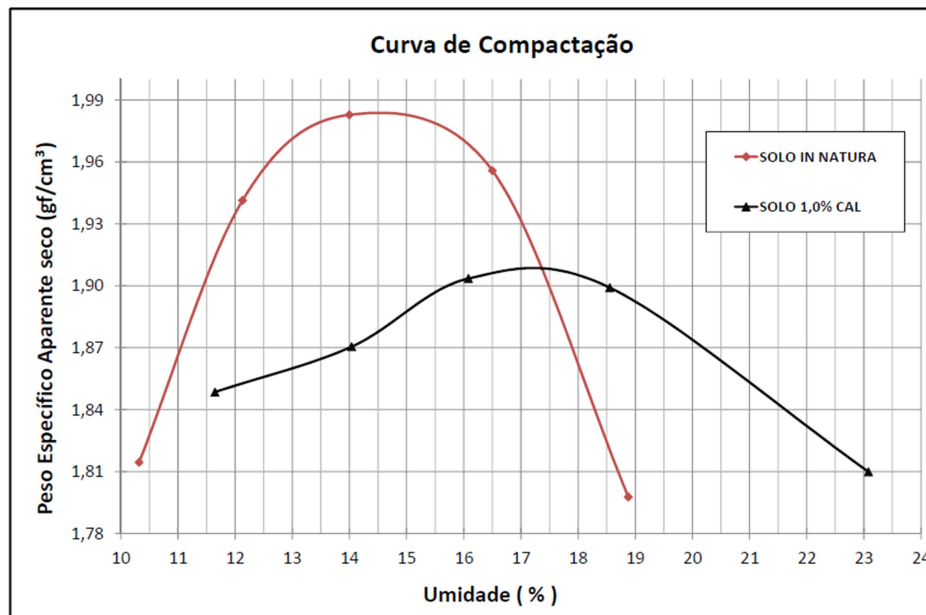


Figura 3: Comparativo entre as curvas de compactação

De acordo com os resultados obtidos por Lima Neto (2016), quando adicionado fibra ao solo houve um aumento considerável no aumento da resistência em relação ao solo *in natura*. É importante salientar que o valor de ISC de 31% para o solo *in natura* foi descartado por ser muito divergente dos demais, para tanto considerou-se o ISC de 21%. Conforme mostrado na Tabela 8.



Tabela 8: Resumo do ensaio de ISC para solo e fibra

Teor de fibra (%)	ISC (%)	Expansão (%)
1,0	31	0,05
	31	0,08
2,0	33	0,32
	36	0,28

Para os ensaios de ISC com a mistura de solo, fibra e cal, em que foram utilizados primeiramente 1,0% de fibra e 1,0% de cal, os resultados apresentaram aumento de resistência se comparado ao solo *in natura*, porém houve uma pequena redução na resistência se comparado à mistura solo e 1,0% de fibra. Para a mistura solo, fibra e cal utilizando as porcentagens de 2,0% de fibra e 1,0% os resultados apresentados foram melhores, uma vez que houve aumento de resistência em comparação ao solo *in natura* e à mistura solo e 2,0% de fibra. A expansão volumétrica dos ensaios realizados com solo, fibra e cal foi menor do que em relação ao solo *in natura*. A mistura solo e fibra apresentou aumento de expansão quando se aumentou o teor de fibra de 1,0% para 2,0%, mas não há aumento de expansão quando se adicionou cal à mistura. A Tabela 9 expressa os resultados do ISC obtido com solo, fibra e cal. Foram feitos 3 corpos de prova para as duas misturas.

Tabela 9: Resumo do ensaio de ISC para a mistura solo, fibra e cal

Teor de fibra e cal	ISC (%)	Expansão (%)
1,0% fibra + 1,0% cal	28	0,11
	61	0,12
	27	0,11
2,0% fibra + 1,0% cal	40	0,12
	42	0,12
	46	0,13

O valor de ISC igual a 61% foi descartado por ser muito divergente dos demais. De acordo com os resultados apresentados acima, pode-se perceber que a cal reagiu melhor na presença de um teor maior de fibra. A Figura 4 mostra a relação entre a tensão e o deslocamento, fazendo um comparativo entre o solo *in natura*, a mistura solo e fibra e a mistura solo, fibra e cal.

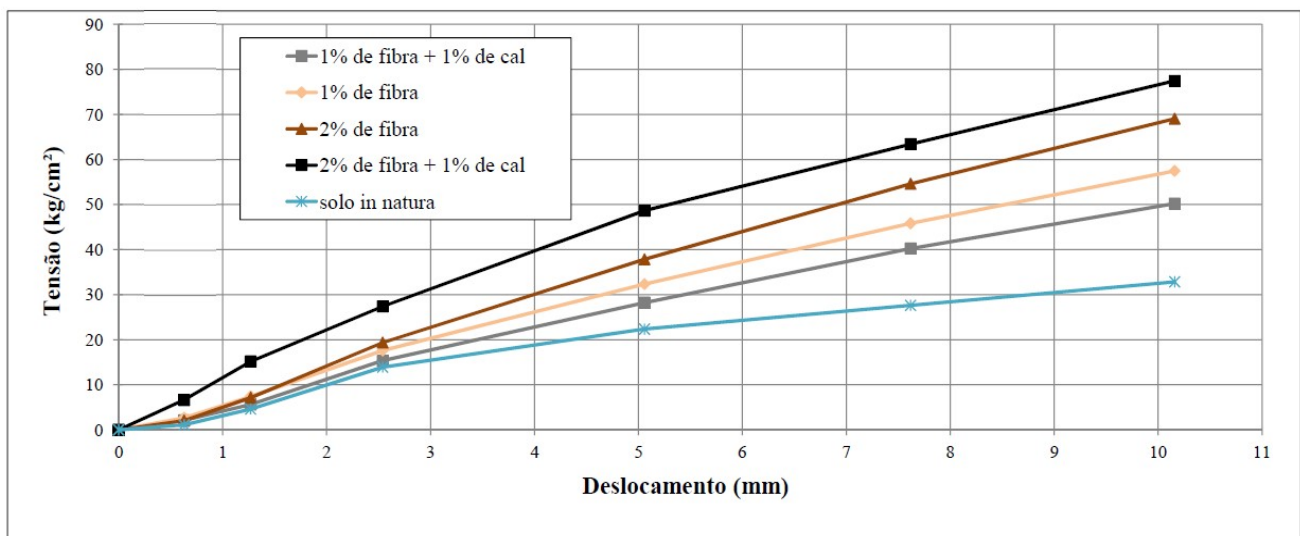


Figura 4: Relação Tensão (kg/cm²) x Deslocamento (mm)

A Figura 5 expressa um comparativo entre as misturas solo e fibra e solo, fibra e cal. Nele é possível perceber que ao adicionar cal à mistura, a expansão volumétrica fica próxima de 0 %, tendo uma pequena variação ao aumentar o teor de fibra.

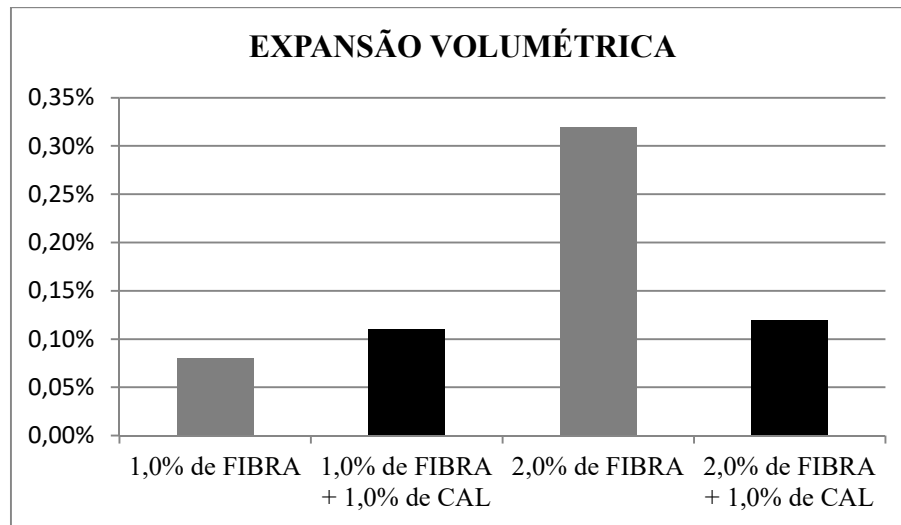


Figura 5: Comparativo da expansão volumétrica entre as misturas

Os resultados dos ensaios mostram que, dependendo do teor de fibra adicionado ao solo modificado com 1,0% de cal, pode-se melhorar ou piorar a resistência dessa mistura. Tendo em vista que, quando adicionado 1,0% de fibra na mistura, os valores de ISC foram menores do que quando se tinha apenas à mistura solo e fibra. No entanto, ao aumentar o teor de fibra adicionado (2,0%), observou-se um aumento na resistência. Também foi possível constatar que a presença da cal diminui a expansão desse solo e mesmo variando a quantidade de fibra de 1,0% para 2,0%, a expansão pouco alterou.

A fibra com cal apresenta ser viável para o teor de fibra de 2,0%, já que houve um aumento de 25% no ISC, se comparado o solo *in natura* ao solo com 2,0% de fibra mais 1,0% de cal, e um aumento de 10% comparando o solo com 2,0% de fibra ao solo com 2,0% de fibra e 1,0% de cal. Também podem apresentar resultados diferentes dependendo do tipo de solo a ser utilizado. No entanto, esses resultados não foram suficientes para viabilizar a utilização deste solo como camada de base.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A combinação fibra e cal pode ser utilizada quando o objetivo desejado for a diminuição da expansão volumétrica, uma vez que os resultados apresentaram baixa expansão volumétrica. Também pode ser para melhorar a capacidade de suporte de solos. Comparando as duas porcentagens de fibras utilizadas, 1,0% e 2,0%, pode-se observar que aumentando a quantidade de fibra, na mistura de solo e cal, há um aumento considerável na capacidade de suporte.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR-7181**: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR-7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR-6459**: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR-7180**: Determinação dos limites de Atterberg. Rio de Janeiro, 1984c.

BENTUR, A. ; MINDESS, S.; **Fiber Reinforced Cementitious Composites**, New York, v.2 , p. 14 – p.261, 2007.

BERNUCCI, L. B. *et al.* **Pavimentação asfáltica**: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - **DNER-ME 49/94**: Determinação do índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro, 1994.

FARIAS, Márcio Muniz de. **Estabilização de solos**. Brasília: Márcio Muniz de Farias, 2010. 61 slides, color.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal**: fundamentos e aplicações na Engenharia Civil. 2 ed. São Paulo: Pini, 2002.

LIMA NETO, Paulo de Souza. **Utilização de fibras de polipropileno como reforço em solo para a pavimentação rodoviária**. 2016. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2016.

LOPES JÚNIOR, L. S. **Parâmetros de controle da resistência mecânica de solos tratados com cal, cimento e rocha basáltica pulverizada**. 2007. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

ROSA, Amanda Dalla. **Estudo dos parâmetros-chave no controle da resistência de misturas solo-cinza-cal**. 2009. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SPECHT, L.P. **Comportamento de misturas de solo-cimento-fibra submetidas a carregamentos estáticos e dinâmicos visando à pavimentação**. Porto Alegre, 2000. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – PPGEC/UFRGS.

TAYLOR, G.D. **Materials in Construction**. 2ed. London: Longman Scientific & Technical, p.282, 1994.

TRINDADE, Tiago Pinto da; et al. Latossolo vermelho-amarelo reforçado com fibras de polipropileno de distribuição aleatória: Estudo em laboratório. **Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 57, n. 1, p.53-58, mar. 2004.

VENDRUSCOLO, M. A. **Estudo do comportamento de materiais compósitos fibrosos para a aplicação como reforço de base de fundações superficiais**. Porto Alegre, p.224 ,2003 .Tese (Doutorado em engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

