

Comportamento do Módulo de Elasticidade Tangente (E_t) de um Material Compósito Quando da Variação do Teor e do Comprimento de Fibras na Matriz

Saul Barbosa Guedes

Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Brasil, saulbguedes@yahoo.com.br

Roberto Quental Coutinho

Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, rqc@ufpe.br

António Joaquim Pereira Viana da Fonseca

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, viana@fe.up.pt

RESUMO: O módulo de elasticidade tangente inicial ou módulo de Young ou ainda módulo de deformabilidade tangente, consiste num parâmetro mecânico que proporciona uma medida de rigidez de um material sólido. Este parâmetro é fundamental para a engenharia e aplicação dos materiais, pois está associado com as características de várias outras propriedades mecânicas, como por exemplo, a tensão última ou tensão de ruptura, tensão de escoamento, etc. Neste trabalho, por meio da realização de ensaios de compressão não confinada com equipamentos precisos, apresentamos os resultados dos Módulos de Elasticidade Tangente Inicial obtidos quando da incorporação de fibras poliméricas, de diâmetro $18 \cdot 10^{-6}$ m, nos teores de 0,25; 0,50 e 0,75 % e comprimentos de 6 e 24 mm, na matriz cimentícia de uma areia argilosa da Formação Geologia Barreiras com 5 % de cimento de alta resistência inicial. De modo geral, para ambos os comprimentos compreende-se que, quanto maior o teor de fibras incluídas na matriz de solo-cimento, maior foi a energia de compactação necessária para manter a densidade de projeto. Porém, o aumento da energia de compactação resultou num maior imbricamento e distorção, que por sua vez também afetou a resposta do solo-cimento-fibra. Observou-se que o maior teor de fibras (0,75 % em relação à massa de solo-cimento) utilizado desenvolveu um efeito do tipo esponja nos corpos de prova, os quais, consequentemente experimentaram deformações maiores para iniciarem o desenvolvimento da sua resistência às solicitações impostas.

PALAVRAS-CHAVE: Material Compósito, Módulo de Elasticidade, Fibras Poliméricas.

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho trata de um estudo desenvolvido nos laboratórios de geotecnia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) envolvendo os materiais: solo, cimento e fibras poliméricas, cujo objetivo consistia em, observar o comportamento mecânico do material compósito desenvolvido pela união conjunta desses materiais, diante do critério da rigidez, por meio da realização do

ensaio de compressão não confinada, com medidores eletrônicos de grande precisão de deformação axial e registro de carga.

O material compósito desenvolvido era para ser utilizado como solução alternativa na construção de um revestimento primário, mais resistente e de menor custo de construção e manutenção, para as estradas de terra existente numa área de preservação ambiental pertencente ao Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcante (PMAHC), localizado no município do Cabo de Santo Agostinho - PE distante 41

km da cidade do Recife.

As superfícies de rolamento das estradas de terra existentes no presente parque (PMAHC) encontram-se totalmente deterioradas pelo fenômeno da erosão que atua de maneira intensa na área.

O processo de compactação juntamente com a incorporação do cimento ao solo do subleito das estradas de terra, são técnicas consideradas eficientes no aumento da resistência ao solo ao fenômeno da erosão. Entretanto, ao incorporar cimento ao solo, o mesmo adquire maior rigidez, e quando submetido à variação de temperatura e esforços de tração produzidos pelos pneus dos veículos de passeio, a mistura solo-cimento começa a desenvolver rapidamente fissuras que compromete a estrutura do revestimento primário das estradas.

Com o objetivo de assegurar resistência e flexibilidade a mistura de solo-cimento decidiu-se, portanto, incorporar a mesma fibras poliméricas de comprimentos diferentes (6 e 24 mm) e teores distintos (0,0; 0,25; 0,50 e 0,75 %).

Os materiais compósitos formados foram submetidos a ensaios de compressão não confinada após um período estabelecido de cura de 21 dias. Após a realização dos ensaios foi verificado que o aumento do teor de fibras, independentemente do comprimento da mesma, contribui para o aumento da resistência à compressão não confinada, porém reduz de maneira bastante significativa o módulo de rigidez devido a grande deformação sofrida pelo material para alcançar a tensão de ruptura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Erosão em Estradas de Terra

De maneira geral, a grande maioria das estradas de terra das zonas rurais foi aberta pelos colonizadores de uma forma inadequada, por ter sido orientada basicamente pela estrutura fundiária e pelas facilidades do terreno. Estes traços favoreciam, em períodos de chuvas intensas, o desenvolvimento de processos erosivos extremamente prejudiciais à pista de rolamento, áreas marginais e à sua plataforma como um todo. Muitas delas, ao terem evoluído

originalmente de pequenas trilhas e caminhos utilizados pelos primeiros grupos de pessoas que se estabelecem nas mais diversas regiões, apresentam traçados atravessando locais cujos solos apresentam grande fragilidade em termos de suporte.

À medida que o tráfego cresce, tais caminhos tornam-se estradas recebendo, entre outros serviços, melhoramentos graduais na forma de revestimento primário de sua superfície de rolamento. A maioria, mesmo assim, são executados sem obediência a quaisquer princípios básicos de engenharia (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

2.2 Materiais Compósitos

Em se tratando dos materiais cimentados, sabe-se que os mesmos apresentam: alta rigidez, fragilidade, baixa resistência à tração e tendência de fissuração por secagem. Enquanto que, os materiais poliméricos apresentam: baixo módulo de elasticidade, ductilidade variável, resistência à tração moderada e são extremamente versáteis (TAYLOR, 1994).

Sendo assim, com o objetivo de desenvolver um material com comportamento mecânico que satisfaça determinadas aplicações na engenharia decidiu-se nesta pesquisa desenvolver um material compósito.

Material compósito é a combinação de dois ou mais materiais que tem propriedades que os materiais componentes isoladamente não apresentam.

Os materiais compósitos apresentam características mais apropriadas de resistência mecânica, rigidez, ductilidade, fragilidade, capacidade de absorção de energia de deformação e comportamento pós-fissuração, quando comparados com os elementos que deram origem.

Em todas as áreas do conhecimento um grande número de novos materiais pode ser desenvolvido a partir da combinação de outros. Para tanto, é necessário que se conheça as propriedades mecânicas, físicas e químicas dos materiais de constituição e como eles podem ser combinados.

2.3 Módulo de Elasticidade Tangente Inicial

O módulo de elasticidade tangente inicial (E_i) ou módulo de Young (E) ou ainda módulo de deformabilidade tangente (E), consiste num parâmetro mecânico que proporciona uma medida de rigidez de um material sólido. Este parâmetro é fundamental para a engenharia e aplicação dos materiais, pois está associado com as características de várias outras propriedades mecânicas, como por exemplo, a tensão última ou tensão de ruptura, tensão de escoamento, etc.

Este parâmetro fornece um comportamento mecânico que é de propriedade intrínseca de cada tipo de material.

O parâmetro é obtido dividindo a tensão aplicada pela respectiva extensão sofrida, seja esta última, obtida por um esforço de compressão ou extensão.

Existe uma grande diferença entre o módulo de elasticidade dos materiais metálicos, cerâmicos e os poliméricos, em consequência dos diferentes tipos de ligações atômicas existentes nestes tipos de materiais.

Quando um dos materiais citados tem valor do módulo de elasticidade muito inferior ou superior para uma determinada aplicação, pode-se fazer uso da união com materiais de propriedades diferentes de módulos, para desenvolver outro material de propriedade intermediária satisfazendo uma determinada aplicação. Foi o que se estudou nesta pesquisa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais Utilizados

Os materiais utilizados na pesquisa foram:

3.1.1 - Solo

Com base na sua composição granulométrica (Tabela 1), o solo utilizado na pesquisa era composto em sua grande parte pela fração areia, 64 %, seguida da fração argila, 32 %, portanto, o solo foi classificado como sendo uma areia argilosa (SC) da Formação Geológica Barreiras.

A fração considerada fina do solo apresentou limite de liquidez (LL) igual a 30 % e limite de

plasticidade (LP) de 18 %, portanto, apresentando índice de plasticidade de 12 %. Com base nos resultados dos índices de Atterberg e por meio do gráfico de plasticidade desenvolvido por Artur Casagrande, a fração fina do solo pertencia ao grupo das Argilas Inorgânicas de Baixa Plasticidade.

Com os resultados obtidos da granulometria e dos índices de Atterberg ($\phi < 0,002 \text{ mm} = 30 \%$ e $IP = 12 \%$), determinou-se o índice de atividade, $IA = 0,4$, que indica, que a argila presente no solo é considerada como inativa.

Com base nos valores dos coeficientes obtidos e por meio do ábaco de classificação MCT, o solo estudado foi caracterizado como sendo um solo de comportamento de uma areia argilosa do tipo laterítica (LAö).

A curva característica do solo é do tipo bimodal. De acordo com Miguel, Teixeira e Padilha (2006) curva característica do tipo bimodal é típica de solos nos quais a distribuição dos poros é mal graduada, ou seja, de granulação aberta, concordando dessa maneira com os resultados obtidos na análise granulométrica.

Tabela 1. Composição granulométrica do solo estudado de acordo com a ABNT.

Fração	Tamanho dos Grãos	Composição do Solo
Matacão	$25.10^{-2} \text{ m} < \phi < 1 \text{ m}$	0 %
Pedra	$7,6.10^{-2} \text{ m} < \phi < 25.10^{-2} \text{ m}$	0 %
Pedregulho	$4,8.10^{-3} \text{ m} < \phi < 7,6.10^{-2} \text{ m}$	0 %
Areia Grossa	$2.10^{-3} \text{ m} < \phi < 4,8.10^{-3} \text{ m}$	3 %
Areia Média	$42.10^{-5} \text{ m} < \phi < 2.10^{-3} \text{ m}$	21 %
Areia Fina	$5.10^{-5} \text{ m} < \phi < 42.10^{-5} \text{ m}$	40 %
Silte	$5.10^{-6} \text{ m} < \phi < 5.10^{-5} \text{ m}$	4 %
Argila	$\phi < 5.10^{-6} \text{ m}$	32 %

3.1.2 - Cimento

O cimento utilizado foi de alta resistência inicial conhecido também como cimento de cura rápida. O cimento utilizado era da marca MIZU Cimentos Especiais, da Fábrica Pacatuba ã SE. Os resultados dos ensaios químicos, físicos e mecânicos do cimento utilizado encontram-se detalhado na Tabela 2.

Tabela 2. Ensaios químicos, físico e mecânicos do lote de cimento CP V ã ARI ã RS (Fonte: SEVERO, 2011).

Ensaios Químicos			
Perda de Fogo	RS	SO ₃	CaO Livre
4,50%	0,54%	3,50%	2,15%
Ensaio Físico	Ensaios Mecânico Resistência a Compressão Simples		
Massa Específica	1 Dia	3 Dias	7 Dias
3,12 g/cm ³	19,7 MPa	20,7 MPa	29,4 MPa

3.1.3 - Fibras

As fibras utilizadas na presente pesquisa foram disponibilizadas pela empresa MACCAFERRI, na forma de filamentos contínuos. O polímero sintético utilizado na fabricação das fibras foi o polipropileno (PP). Na Tabela 3 detalham-se as propriedades físicas, mecânicas e de aplicação das fibras utilizadas na pesquisa.

Tabela 3. Propriedades físicas, mecânicas e de aplicação das fibras (FONTE: MACCAFERRI).

Propriedades Físicas:	Modelo da Fibra	
	FibroMac-6	FibroMac-24
Diâmetro - (10^{-6} m)	18	
Seção	Circular	
Comprimento - (mm)	6	24
Alongamento - (%)	80	
Matéria-prima	Polipropileno	
Peso Específico - (g/cm^3)	0,91	
Propriedades Mecânicas:		
Temperatura de Fusão - ($^{\circ}\text{C}$)	160	
Temperatura de Ignição - ($^{\circ}\text{C}$)	365	
Resistência à Tração - (MPa) - (n/mm^2)	300	
Módulo de Young - (MPa)	3000	
Aplicação:		
Campo de Aplicação Indicados	Concreto Projetado, Pré-Fabricados, Pavimentos, Pisos e Revestimentos.	
Quantidades de Fibras por kilo	720.000.000	150.000.000
Área Superficial Específica - (m^2/kg)	244	225
Dosagem (Recomendação Mínima)	600 g/m^3	
Forma de Apresentação	As Fibras Sintéticas FibroMac são Acondicionadas em sacos Hidrossolúveis de 600 g	

3.2 Métodos

3.2.1 - Métodos Iniciais

O teor de cimento utilizado foi 5,0 % em relação à massa de solo total seca, a densidade máxima seca de projeto e a umidade ótima das misturas foram de 1,98 g/cm³ e 11,0 %, respectivamente.

Esses parâmetros foram definidos, em estudos anteriores por meio de ensaios de comportamento mecânico, como sendo os teores viáveis para aplicação da mistura de solo-cimento como material contra erosão e como revestimento primário para as estradas não pavimentadas pertencentes ao PMAHC.

Após fixar os parâmetros citados, em seguida foram moldados corpos de prova de solo cimento com fibras de 6 e 24 mm de comprimentos. Para cada comprimento utilizado, foram moldados corpos de prova com quatro diferentes teores em relação à massa de solo + cimento total seca. Os teores utilizados foram: 0,00; 0,25; 0,50 e 0,75 %.

Após preparar os materiais nas proporções calculadas, foi dado início ao processo de moldagem dos corpos de prova. Os CPs possuíam um diâmetro de 70 mm e uma altura de 140 mm. Todos os CPs foram compactados em quatro camadas e de maneira estática por meio de uma prensa automatizada.

Após Finalizar o processo de compactação, os CPs eram levados para o interior de uma câmara úmida, onde permaneciam por um período de 19 dias. No vigésimo dia, os mesmos eram imersos em água potável e retirado da imersão após dois (02) dias para realização do ensaio de compressão não confinada.

3.2.2 - Ensaio de Resistência a Compressão Não Confinada

Após o período de cura de dezenove dias em câmara úmida, antes de serem imersos em um recipiente com água durante dois dias, colou-se na superfície lateral dos CPs, utilizando cola do tipo instantânea, os suportes de fixação dos sensores de deformações denominados LDT (Linear Displacement Transducers =

Transdutores de Deslocamento Linear).

Os suportes dos LDTs foram fixados de maneira a formarem entre si um ângulo de 180° com o centro do CP, visando, o registro das deformações axiais dos lados opostos (Figura 1).

Depois da colocação dos LDTs, encostou-se a base da célula de carga no topo do corpo de prova por meio da realização de uma pequena pré-carga de 5,0 N.

Para o rompimento dos corpos de prova utilizou-se uma célula de carga de modelo externo com capacidade máxima de vinte quiloNewton (20,0 kN).

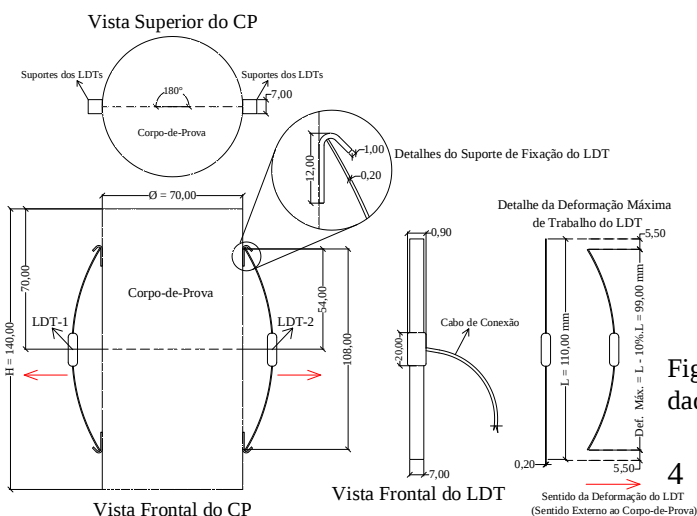


Figura 1. Detalhes em milímetros dos transdutores linear de deslocamento (LDT) e dos seus locais de fixação

Em seguida regulou-se a prensa automática para a velocidade de deformação de 1,00 mm/minuto (conforme estabelecido pela NBR-12253/1992) por meio de ajustes realizados em dois dispositivos de controle.

Finalizados os ajustes necessários, iniciou-se o ensaio de compressão, onde os dados da carga aplicada com suas respectivas deformações eram obtidos a cada dois (02) segundos e armazenados num ficheiro Excel por meio do programa TRIAX (Figuras 2 e 3).

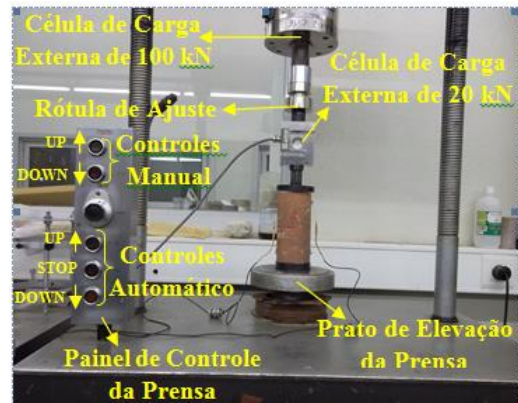


Figura 2. Detalhes dos controles de ajustes da prensa usada no ensaio de compressão simples

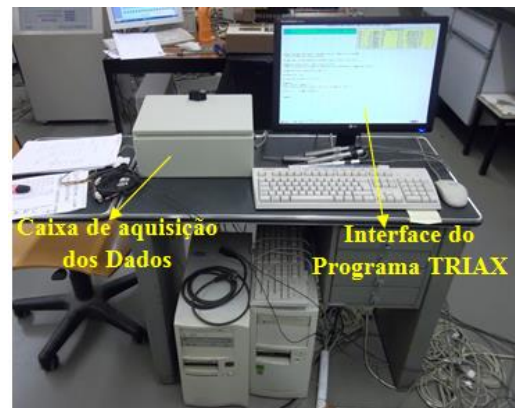


Figura 3. Detalhes do sistema eletrônico de aquisição dos dados

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Para calcular o módulo de elasticidade tangente inicial (E_i) utilizaram-se os critérios contidos na norma europeia EN 13286-43/Março de 2003 (Unbound and Hydraulically Bound Mixtures - Part 43: Test Method for the Determination on the Modulus of Elasticity of Hydraulically Bound Mixtures).

O parâmetro foi calculado utilizando a seguinte fórmula:

$$E_T = E_i = \frac{1,2 \cdot F_R}{\Delta \cdot D^2 \cdot \dot{\epsilon}_3}$$

(1)

onde:

- E_T = Módulo de elasticidade tangente inicial em compressão (MPa);
- F_R = Força máxima resistida pelo corpo de prova (N);
- D = Diâmetro do corpo de prova (mm);
- $\dot{\epsilon}_3$ = extensão vertical do corpo de prova para, quando $F_3 = 0,30 \cdot F_R$.

4.1 - Análise da Relação: Módulo de Elasticidade Tangente Inicial (E_i) Versus Teor e Comprimento das Fibras

Na Figura 4 ilustra-se o comportamento individual obtido do módulo de elasticidade tangente inicial de cada corpo de prova das misturas desenvolvidas. Observa-se claramente uma redução muito elevada do módulo em função do aumento da incorporação das fibras na matriz do solo-cimento. Observa-se também que, para um mesmo teor, a influência entre os comprimentos das fibras no módulo de Young é considerada significativa.

As misturas moldadas com a fibra de comprimento maior, apesar do aumento de resistência obtida com o aumento do teor de inclusões, apresentaram redução no módulo de elasticidade muito significativo quando comparado ao solo-cimento sem reforço.

Esse comportamento ocorreu possivelmente devido ao fato do aumento da extensão ser muito superior quando comparado ao aumento da resistência à compressão não confinada obtida.

Justifica-se este comportamento, explicando que a tendência para o aumento da resistência com o aumento da deformação é causada pela mobilização progressiva da resistência à tração das fibras.

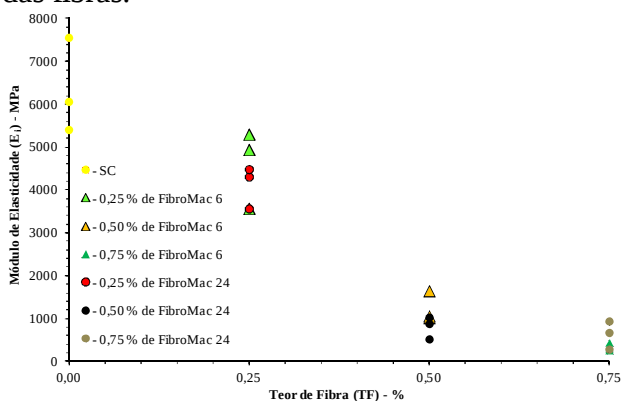


Figura 4. Relação: módulo de elasticidade tangente inicial versus teor e comprimento das fibras

Portanto, para deformações superiores à correspondente à resistência de ruptura do solo-cimento, embora a resistência do solo-cimento tenha se reduzido ligeiramente, o solo-cimento-fibra ganhou resistência à custa da mobilização da resistência das fibras.

Por isso, a resistência à compressão simples

que o compósito solo-cimento-fibra obteve quando sujeita a pequenas deformações de cisalhamento é, de modo geral, inferior à desenvolvida pelo solo-cimento para o mesmo deslocamento.

Para ambos os comprimentos, de modo geral, compreende-se que, quanto maior o teor de fibras incluídas na matriz de solo-cimento, maior foi a energia de compactação necessária para manter a densidade de projeto. Porém, o aumento da energia de compactação resultou num maior imbricamento e distorção, que por sua vez também afetou a resposta do solo-cimento-fibra.

Observou-se que o maior teor de fibras (0,75 % em relação à massa de solo-cimento) utilizado desenvolveu um efeito do tipo esponja nos corpos de prova, os quais, conseqüentemente experimentaram deformações maiores para iniciarem o desenvolvimento da sua resistência às solicitações impostas.

Na Figura 5, ilustra-se a média dos módulos de elasticidade tangente inicial em função do teor e do comprimento das fibras. Observa-se que a redução do módulo em função do aumento do teor das fibras apresenta comportamento linear mais satisfatório para as fibras de 6 mm de comprimento ($R^2 = 0,9579$).

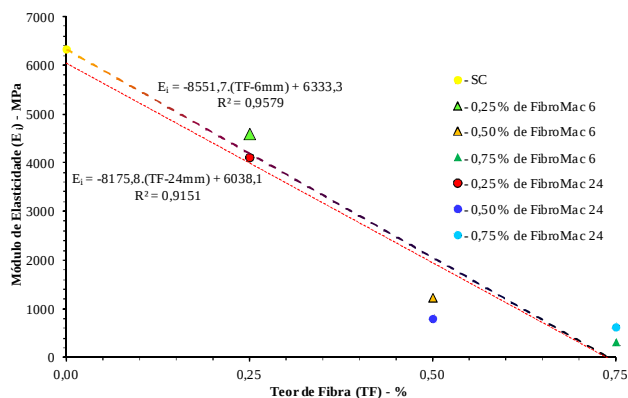


Figura 5. Média do Módulo de elasticidade tangente inicial versus teor e comprimento das fibras

Outro fator importante que possivelmente afetou os resultados do módulo de elasticidade na matriz do solo-cimento-fibra é o estado de tração ao qual as fibras foram dispostas na matriz, ou seja, uma vez que as fibras não são inclusas de maneira esticadas na matriz, faz-se necessário maior deformação para mobilizar sua resistência.

Na Tabela 4 detalham-se os valores médios dos módulos de elasticidade tangente inicial em função do teor e do comprimento das fibras com suas respectivas reduções, quando comparados ao módulo do solo-cimento sem reforço.

Tabela 4. Detalhes dos valores dos módulos de elasticidade tangente inicial nas misturas desta pesquisa.

Tipo de Fibra	Teor de Fibras - (%)	Módulo de Young (MPa)	Redução de Módulo - (%)
-	0,00	6339	0,00
FibroMac-6	0,25	4598	27,46
	0,50	1237	80,49
	0,75	332	94,76
FibroMac-24	0,25	4116	35,07
	0,50	806	87,29
	0,75	629	90,08

4.2 - Análise da Relação: Extensão Axial (ϵ_i) Versus Teor e Comprimento das Fibras

Com base nos resultados anteriores, observou-se que o módulo de elasticidade tangente inicial (E_i) foi muito reduzido pelo aumento da inclusão das fibras na matriz de solo-cimento, e esta redução foi influenciada significativamente pelo elevado aumento da extensão desenvolvida pelas misturas.

Na Figura 6 ilustra-se o comportamento obtido das extensões de cada corpo de prova em função do aumento do teor e do comprimento das fibras utilizadas.

Justifica-se o acréscimo das extensões em função do aumento do teor das fibras com base nos relatos descritos anteriormente, em que aumentando a quantidade de fibras na matriz, esta tende ao desenvolvimento do efeito esponja, que desencadeia deformações maiores para iniciarem o desenvolvimento da sua resistência às solicitações impostas.

Também contribui para o aumento da extensão dos compósitos de solo-cimento-fibra, o estado de tração os quais as fibras foram dispostas na matriz, ou seja, uma vez que as fibras não são inclusas de maneira esticadas na matriz, faz-se necessário uma deformação para mobilizar sua resistência.

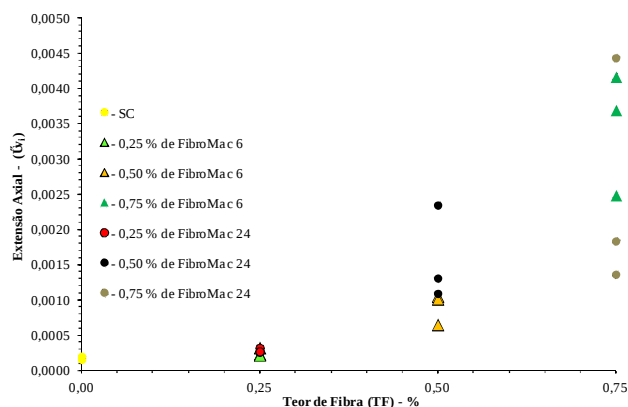


Figura 6. Relação extensão versus teor e comprimento das fibras

Observa-se para os teores de 0,25 e 0,50 %, maior extensão dos compostos constituídos pela fibra de maior comprimento, quando comparados de fibra menor. Esse comportamento ocorreu devido à necessidade por parte das fibras maiores de se deformar mais para mobilizar sua resistência.

Para o teor de 0,75 % este fenômeno não aconteceu devido provavelmente à influência da homogeneização mais satisfatória por parte das fibras maiores em relação às fibras menores. Estas últimas talvez tenham ficado mais aderidas entre si de modo a formar um filamento de diâmetro superior, o qual, quando solicitado à tensão de extensão, primeiramente passou a deslizar uma sobre a outra até encontrar melhor acomodação na matriz de maneira a iniciar sua influência na contribuição da resistência à compressão não confinada.

Para visualizar melhor o comportamento das extensões lineares médias em função das variáveis investigadas, tem-se a Figura 7. Observa-se um comportamento exponencial satisfatório crescente de ambas as fibras para a relação entre teores e extensões lineares ou verticais.

Na Tabela 5 detalha-se o aumento médio das extensões obtidas em função das variáveis investigadas, tomando como referência o valor obtido para a extensão do solo-cimento sem reforço.

Embora a resistência tenha aumentado com a inclusão das fibras, observa-se claramente que, o aumento da extensão para atingir a tensão última de pico é bastante superior, por isso foram obtidos módulos de Young muito

reduzidos.

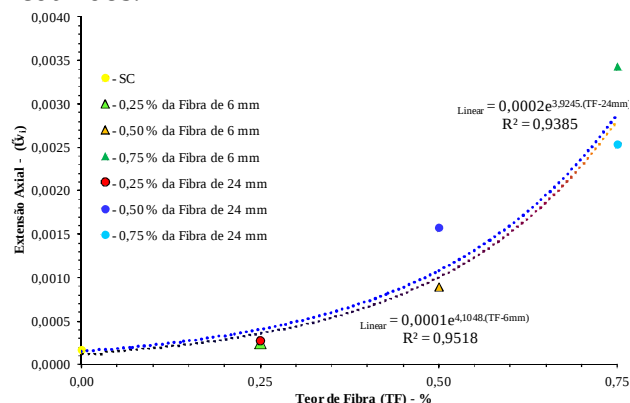


Figura 7. Relação extensão vertical média versus teor e comprimento das fibras

Tabela 5. Detalhes dos valores das extensões lineares verticais nas misturas no ensaio de RCS.

Tipo de Fibra	Teor de Fibras - (%)	Extensão (Adimensional)	Aumento da Extensão - (%)
-	0,00	0,00017195	0,00
FibroMac-6	0,25	0,00025108	46,02
	0,50	0,00089809	422,31
	0,75	0,00343928	1900,21
FibroMac-24	0,25	0,00027834	61,88
	0,50	0,00157740	817,38
	0,75	0,00253850	1376,34

5 CONCLUSÕES

Após a realização dos ensaios, obtenção e análises dos resultados obtidos, chegamos as seguintes conclusões principais:

é Observa-se claramente uma redução muito elevada do módulo em função do aumento da incorporação das fibras na matriz do solo-cimento.

é As misturas moldadas com a fibra de comprimento maior apresentaram redução no módulo de elasticidade muito significativo quando comparado ao solo-cimento sem reforço devido ao fato do aumento da extensão ser muito superior quando comparado ao aumento da resistência à compressão não confinada obtida, pois a tendência para o aumento da resistência com o aumento da deformação foi causada pela mobilização progressiva da resistência à tração das fibras.

é Para ambos os comprimentos, de modo geral, compreende-se que, quanto maior o teor de fibras incluídas na matriz de solo-cimento,

maior foi a energia de compactação necessária para manter a densidade de projeto. Porém, o aumento da energia de compactação resultou num maior imbricamento e distorção, que por sua vez também afetou a resposta do solo-cimento-fibra.

é Outro fator importante que possivelmente afetou os resultados do módulo de elasticidade na matriz do solo-cimento-fibra é o estado de tração o qual as fibras foram dispostas na matriz, ou seja, uma vez que as fibras não são inclusas de maneira esticadas na matriz, faz-se necessário maior deformação para mobilizar sua resistência.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor manifesta o seu agradecimento ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPE, a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, a FACEPE, ao CNPq e aos professores orientadores do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Dosagem para Camada de Pavimento*, NBR-12253/Procedimento. Rio de Janeiro, 1992. 04 p.
- Baesso, D. P. e Gonçalves, F. L. R. *Estradas Rurais: Técnicas Adequadas de Manutenção*. Florianópolis: DER, 2003. 236 p.
- European Committee For Standardization. *Unbound and Hydraulically Bound Mixtures* ñ Part 43: Test Method for the Determination on the Modulus of Elasticity of Hydraulically Bound Mistures. EN 13286-43. 2003. 12 p.
- Miguel, M. G.; Teixeira, R. S.; Padilha, A. C. C. *Soil-Water Characteristic Curves for the Lateritic Soil of the City of Londrina Region*. Revista de Ciência e Tecnologia, Londrina, v. 12, n. 24, p. 63-74. 2006.
- Severo, R. N. F. *Caracterização Geotécnica da Falésia da Ponta do Pirambu em Tibau do Sul-RN Considerando a Influência do Comportamento dos Solos nos Estados indeformado e Cimentado Artificialmente*. 2011. 280 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) ñ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco ñ UFPE, Recife, 2011.
- Taylor, G. D. *Materials in Construction*. Longman Scientific e Technical, 2a ed. London. 1994. 284 p.