

Influência do Teor e do Comprimento de Fibras Poliméricas na Durabilidade por Molhagem e Secagem de Materiais Compósitos

Saul Barbosa Guedes

Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Brasil, saulguedes@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 respectivo trabalho consistiu em um estudo experimental do comportamento mecânico de um solo, melhorado e reforçado com adição conjunta do cimento e das fibras de polipropileno, respectivamente, objetivando a utilização dessa mistura como material alternativo para uso como revestimento primário em estradas não pavimentadas. No trabalho foram utilizadas fibras poliméricas, de diâmetro $18 \cdot 10^{-6}$ m, nos teores de 0,00; 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. Após a realização dos ensaios, verificou-se que os valores da perda de massa obtidos pelas misturas após o teste de durabilidade, apresentaram resultados satisfatórios. A mistura contendo as fibras de 6 mm de comprimento desenvolveu menor redução da perda de massa quando sua incorporação foi de 0,75 % na matriz do solo-cimento, enquanto, o material contendo a fibra de maior comprimento desenvolveu menor redução quando utilizou-se o teor 0,25 %. Independentemente do teor de fibra incorporado, sempre se observa uma perda de massa após a realização de cada ciclo. Para os teores de 0,50 e 0,75 % de incorporação da fibra de 24 mm na matriz, tem-se respectivamente uma perda de massa a cada ciclo de 20,08 e 20,13 g. Sendo assim, para a fibra de maior comprimento verifica-se sempre uma perda de massa inferior ao se comparar com a perda do solo-cimento. Embora a fibra de maior comprimento tenha um efeito desfavorável na perda de peso a cada ciclo com o aumento do teor, este comportamento é considerado insignificante quando comparado ao valor permitido da perda de massa especificada pela literatura em função do tipo de solo utilizado.

PALAVRAS-CHAVE: Material Compósito, Durabilidade, 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 do material compósito desenvolvido pela união conjunta desses materiais, diante do critério da

durabilidade, por meio do Ensaio da Escova de Aço.

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 Cavalcanti (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 a variação de temperatura e esforço 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 aos testes de durabilidade por molhagem e secagem e resistência à abrasão, por meio da realização do Ensaio da Escova de Fios de Aço (NBR-13554/1996). Após os ensaios, verificou-se que todas as misturas apresentaram resultados de perda de massa bem abaixo do valor limite máximo estabelecido na literatura, ou seja, para o presente tipo de solo utilizado (areia argilosa) a perda de massa deveria ser de no máximo 8 a 10 % (BRANCO, *et al*, 2008).

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 chuva 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 Estabilização de Solos com o Uso do Cimento

Por se tratar de uma camada exposta (diferentes da camada de base ou sub-base que se encontra protegida pelo revestimento asfáltico ou de concreto), o revestimento primário encontra-se mais susceptível à ação das condições climáticas do ambiente em que foi construído, sendo necessário analisar a sua durabilidade diante dos agentes externos que atuam sobre ele.

Com o objetivo de tornar o solo da área do parque mais resistente ao fenômeno da erosão, decidiu-se incorporar ao mesmo cimento. Pois a adição de cimento ao solo produz modificações substanciais em suas propriedades. O mesmo desenvolve influência nos seguintes parâmetros: resistência a compressão simples e tração diametral, rigidez inicial; módulos de deformação, plastificação, deformação volumétrica, módulo de ruptura, condutividade hidráulica e resistência ao ataque químico.

O cimento tem a função de desenvolver uma estrutura capaz de minimizar os efeitos das variações de umidade do solo, que desenvolvem grandes forças de tração e compressão no interior de massas porosas.

2.3 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, 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.

2.4 Critério da Durabilidade e Abrasão: Ensaio da Escova de Fios de Aço

Quando se utiliza camada de base de solo-cimento visando aplicação em autoestrada, os tradicionais ensaios de durabilidade por molhagem-secagem e gelo-desgelo (para o caso de países de clima temperado) geralmente encontram-se aliados ao ensaio de resistência à abrasão.

De acordo com ASTM- D559, a perda de peso do material estabilizado com cimento através da escovação por fios de aço é determinada após 12 ciclos de molhagem e secagem e, uma técnica semelhante é utilizado por 12 ciclos de congelamento e descongelamento. No Brasil a norma utilizada para realizar o ensaio de durabilidade é a NBR-13554/1996 que estabelece apenas seis (06) ciclos de molhagem e secagem.

A maioria dos ensaios de durabilidade por molhagem e secagem levam um tempo

considerável para serem realizados (12 ciclos de molhagem e secagem demoram cerca de seis (06) semanas para serem desenvolvidos).

Uma desvantagem adicional do ensaio de durabilidade por molhagem-secagem é que, embora se determine uma força específica de aplicação igual a 15 N, o processo de escovação é manual e depende do operador e das cerdas da escova.

Um estudo desenvolvido por Samson (1986) demonstrou que a tentativa de reproduzir o processo da molhagem e secagem pelo método da escovação manual utilizada na África do Sul é deficiente devido ao fato da escovação ser inadequada por causa das técnicas adotadas por diferentes laboratórios.

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 encontra-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%
Ensaios Mecânico			
Resistência a Compressão Simples			
Ensaio Físico	1 Dia	3 Dias	7 Dias
Massa Específica	19,7 MPa	20,7 MPa	29,4 MPa
3,12 g/cm ³			

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), desenvolvido pela polimerização do propileno, um subproduto das indústrias do petróleo.

De maneira sucinta, pode-se dizer que o processo de fabricação deste tipo de fibra consiste basicamente em fundir o polipropileno granulado e forçar sua travessia em orifícios muito pequenos (por exemplo, tipo chuveiro) que moldam os filamentos contínuos, ou seja, submeter o polipropileno granulado ao processo de extrusão. Posteriormente, estes filamentos são submetidos a vários processos de melhoramento das suas propriedades mecânicas e recortados em determinados comprimentos uniformes.

Na Tabela 3 detalham-se as propriedades físicas, mecânicas e de aplicação das fibras utilizadas na pesquisa.

Em se tratando das propriedades mecânicas, sabe-se que as mais importantes são a resistência, a deformação e a rigidez à tração, obtidas a partir dos resultados dos ensaios de tração das fibras.

O ensaio de tração consiste em prender o corpo de prova com garras adequadas, pelas suas duas extremidades, e sujeitá-lo a um esforço de tração até o mesmo romper aplicando uma determinada velocidade de deformação.

Durante o ensaio registram-se a força de tração e o alongamento correspondente. De posse do gráfico: Força versus Deformação Linear, determinam-se parâmetros, sendo os mais usuais a máxima resistência à tração conseguida, sua respectiva deformação de ruptura e o módulo de elasticidade tangente inicial que é obtido em função da relação força com a deformação.

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 - (°C)			160	

Temperatura de Ignição - (°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 a 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. Em seguida foi dado início aos procedimentos necessários para realização do Ensaio de Durabilidade por Molhagem e Secagem segundo a NBR-13554

(ABNT 1996).

3.2.2 - Ensaio de Durabilidade por Molhagem e Secagem: Método da Escova de Aço

Os procedimentos realizados durante o referido ensaio foram:

- Depois dos corpos de prova completarem sete dias de cura em câmara úmida, os mesmos foram pesados e medidas suas dimensões;
 - Em seguida foram imersos em um recipiente contendo água durante o período de cinco (05) horas (processo de molhagem) e novamente pesados e retiradas suas dimensões.
 - Em seguida os CPs foram colocados numa estufa, de temperatura igual a 71 ± 20 °C, onde permaneceram por quarenta e duas horas (processo de secagem).
 - Finalizado o tempo na estufa, os CPs foram retirados e deixados esfriar, e em seguida foram pesados e medidas suas dimensões.
 - Após medir três leituras do diâmetro e três da altura, foi dado início ao processo de escovação com a escova de aço padrão desenvolvida para o respectivo tipo de ensaio, normalizada de acordo com os critérios estabelecidos pela NBR-13554/1996
 - Terminado o processo de escovação, o CP era assoprado por meio de um jato de ar e em seguida pesado e medidas suas dimensões.
 - Os procedimentos descritos da etapa b) à etapa f), que constitui um ciclo de 48 horas (05 horas de Imersão + 42 horas de estufa + 01 hora entre esfriamento e escovagem = 1 Ciclo de 48 horas) foi repetido mais cinco vezes, conforme estabelecido pela norma.
 - Finalizado os seis ciclos, os corpos de prova foram colocados numa estufa de temperatura entre 105°C e 110°C e retirados após 24 horas.
- Para cada tipo de mistura, eram moldados três corpos de prova, onde apenas dois (02) eram submetidos aos ciclos de molhagem, secagem e escovação e o outro servia de parâmetro de comparação ao final do ensaio.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Após a realização dos ensaios, verificou-se que, os corpos de prova de solo + 5,00 % cimento,

apresentaram em média uma perda de peso de 20,25 g a cada ciclo realizado.

Para o material compósito, solo + 5,00 % cimento + 0,25% de FibroMac-6mm, este por sua vez desenvolveu uma perda de peso média por ciclo de 20,85 g. Essa perda de peso, um pouco superior a mistura de solo + 5,00 % cimento, pode ser explicada com base numa possível retirada a mais de grãos de solo cimento quando do desprendimento de algumas fibras, pela escova de aço, quando as mesmas se localizavam na superfície lateral do corpo de prova.

Para a incorporação de 0,50 % da fibra de 6 mm, ao solo-cimento, a perda média de peso por ciclo foi de 20,12 g, um pouco abaixo da média calculada para o teor de 0,25 % do mesmo tipo de fibra.

Para a incorporação de 0,75 % da fibra de 6 mm, a perda média de peso por ciclo foi de 19,52 g.

Analisando a perda de massa por ciclo em função do teor de Fibra de 6 mm, observa-se aumento quase insignificante da durabilidade quando do acréscimo do tipo de fibra na matriz.

No gráfico da Figura 1, ilustra-se este comportamento. Diante das análises realizadas até o presente momento, verifica-se que para este tipo de fibra, a influência é muito maior na resistência do que na durabilidade do compósito formado. Isto se deve possivelmente porque as fibras exercem sua real influência mais internamente à matriz do que externamente a mesma.

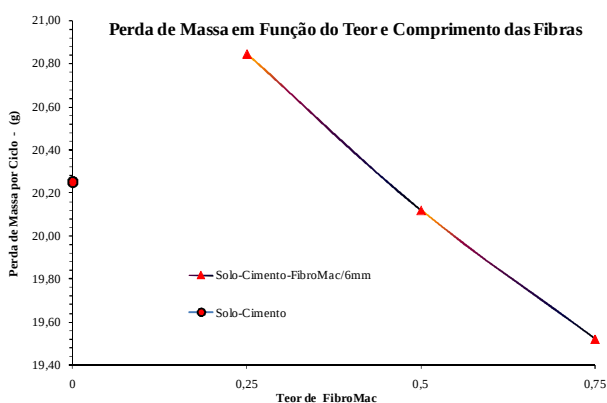


Figura 1. Relação: massa versus número de ciclos para CPs de solo-cimento

Em se tratando da influência da fibra de 24 mm na matriz de solo + 5,00 % de cimento,

apresentasse por meio do gráfico da Figura 2, um comportamento típico da perda de massa em função dos ciclos de molhagem, secagem e escovação.

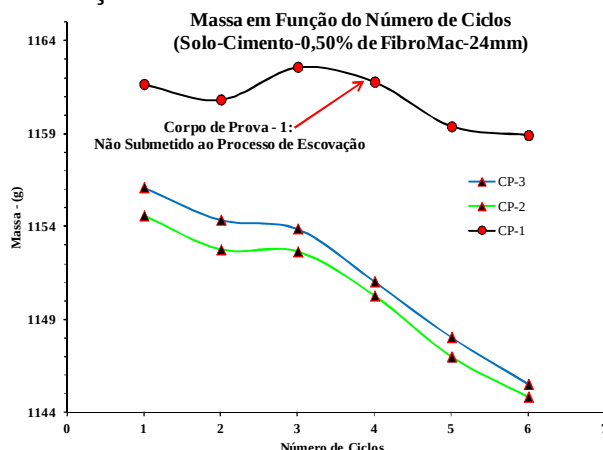


Figura 2. Relação: massa versus número de ciclos para CPs de solo + 5,00% cimento + 0,75% de FibroMac 24 mm

Observa-se que os corpos de prova CP-2 e CP-3 submetidos aos ciclos, apresentaram praticamente a mesma perda de massa, o que comprova uma padronização na força aplicada à escova durante o processo de escovação dos lados dos corpos de prova.

Também, verifica-se que independentemente do teor de fibra incorporado, sempre se observa uma perda de massa após a realização de cada ciclo.

Para os teores de 0,50 e 0,75 % de incorporação da fibra de 24 mm na matriz de solo + 5,00 % cimento, tem-se respectivamente uma perda de massa a cada ciclo de 20,08 e 20,13 g. Sendo assim, para a fibra de maior comprimento verifica-se sempre uma perda de massa inferior ao se comparar com a perda do solo-cimento.

O aumento do teor da fibra de maior comprimento na matriz levou a um comportamento inverso quando comparado ao aumento do teor da fibra menor (Figura 3).

Embora a fibra de maior comprimento tenha um efeito desfavorável na perda de peso a cada ciclo com o aumento do teor, este comportamento é considerado insignificante quando comparado ao valor permitido da perda de massa especificada pela literatura em função do tipo de solo utilizado.

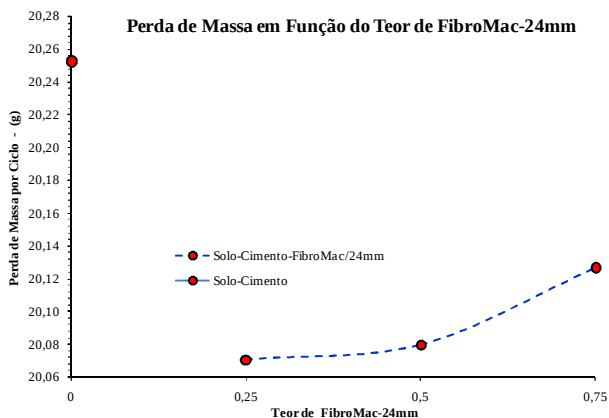


Figura 3. Perda de massa média por ciclo em função do teor de fibra de 24 mm

Na Figura 4 ilustra-se a comparação entre o comportamento da perda de massa média por ciclo em função do teor para ambas as fibras utilizadas.

Embora a fibra de maior comprimento tenha um efeito desfavorável na perda de peso a cada ciclo com o aumento do teor, este comportamento é considerado insignificante quando comparado ao valor permitido da perda de massa especificada pela literatura em função do tipo de solo utilizado.

Analisando o gráfico da Figura 4, verifica-se que para o teor de 0,50 %, ambas as fibras tem praticamente a mesma perda de peso por ciclo. Para os demais teores observa-se uma inversão de comportamento entre as duas fibras.

Considerando o intervalo de variação da perda de massa por ciclo em função do teor da fibra menor, verifica-se que a fibra de maior comprimento tem variação bem inferior, de tal modo que se pode desprezar a influência do teor na durabilidade.

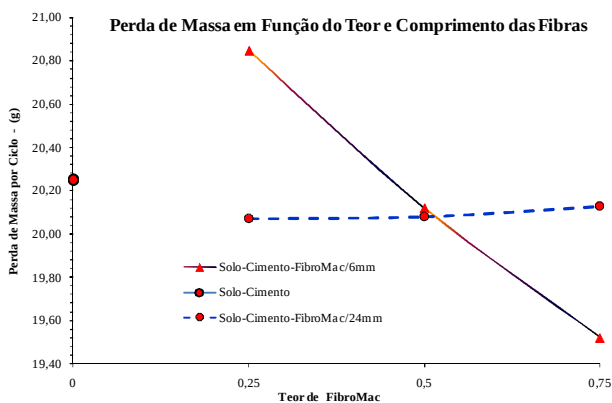


Figura 4. Perda de massa média por ciclo em função do teor e comprimentos das fibras

Analisando o peso de cada corpo de prova após o processo de imersão durante cinco (05) horas em água destilada, verifica-se que todos os CPs, com exceção dos CPs-1 que foram submetidos apenas ao processo de molhagem e secagem, tiveram seus pesos ósaturados reduzidos a cada ciclo.

Inicialmente, imaginava-se que a cada ciclo de molhagem e secagem, as ligações do cimento se deterioravam em função do choque térmico e aumentaria a porosidade da matriz tornando-a cada vez mais porosa a cada número de ciclo realizado.

Como consequência esse processo facilitaria a permeabilidade da mistura o que possivelmente permitiria mais facilmente o processo de saturação por imersão. Isso aumentaria o peso imerso a cada ciclo, mesmo com a influência da perda de massa a cada processo de escovação.

Entretanto, a reação obtida é completamente inversa, o aumento da temperatura contribui para maior resistência por parte das ligações cimentícias em princípio não influenciando na porosidade da matriz. Uma vez que o material em estudo possui uma baixa permeabilidade e fica submetido ao período de 42 horas em uma estufa à temperatura de aproximadamente 70°C.

Esse processo deve dificultar ainda mais a saturação total e, portanto, a redução de peso ósaturado a cada ciclo é função apenas da perda de massa desenvolvida pela escovação.

Para todas as misturas, houve um acréscimo do peso imerso no segundo ciclo. Em se tratando das fibras de comprimento menor, o aumento do peso imerso no segundo ciclo foi proporcional ao aumento do teor da fibra na matriz.

Para a fibra de comprimento maior observou-se para todos os teores uma redução da perda de peso imerso entre o segundo e terceiro ciclo.

Por fim, analisando o objetivo geral do presente ensaio, que consiste na determinação da perda de massa após seis (06) ciclos de molhagem (05 horas de imersão), secagem (42 horas em estufa a uma temperatura de $71 \pm 2^{\circ}\text{C}$) e escovação (utilizando uma escova de aço padrão aplicando uma força de 1,50 kgf sobre a mesma), tem-se os valores, detalhados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultado do ensaio de durabilidade para as misturas desenvolvidas.

Tipo de Fibra	Teor de Fibra (%)	Perda de Massa (%)
Solo-Cimento		1,619
FibroMac (6 mm)	0,25	1,251
	0,50	1,431
	0,75	0,788
FibroMac (24 mm)	0,25	0,900
	0,50	1,011
	0,75	1,279

Observa-se com base nos dados obtidos que todos os resultados estão bem abaixo do valor máximo estabelecido na literatura, embora os valores referenciados sejam para a realização de 12 ciclos.

5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o fator primordial para a obtenção da alta durabilidade foi o cimento.

A incorporação das fibras no solo puro, independentemente dos tamanhos e dos teores utilizados, também não contribuiu na resistência à erosão e muito menos na durabilidade.

As fibras não desenvolvem ligações entre os grãos do solo e ainda desenvolvem certa resistência à compactação tornando o solo mais permeável e mais susceptível a presença da água.

Sendo assim, verifica-se que os valores da perda de massa obtidos pelas misturas após o teste de durabilidade, apresentaram resultados bem abaixo do valor estabelecido pela literatura técnica (perda de massa deveria ser de no máximo 8 a 10 %) (BRANCO *et al*, 2008). Portanto, as misturas apresentaram resistências muito satisfatórias quando submetidas ao ensaio de durabilidade por molhagem e secagem.

E esta resistência foi proporcionada pelo teor de cimento incorporado à mistura e pelo índice de vazios, obtido em função da fixação da densidade máxima seca de projeto ($\rho_d = 1,98 \text{ g/cm}^3$).

Quanto à incorporação das fibras na matriz de solo-cimento, observa-se que tem pouca influência na durabilidade dos compósitos

formados.

A fibra de menor tamanho desenvolveu menor redução da perda de massa quando sua incorporação foi de 0,75 % na matriz do solo-cimento, enquanto, a fibra de maior comprimento desenvolveu menor redução quando utilizou-se o teor 0,25 %.

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

- ASTM *Standard Test Methods for Wetting and Drying Compacted Soil-Cement Mixtures* (D 559-96-03) Annual Book of ASTM Standards.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Ensaio de Durabilidade por Molhagem e Secagem, NBR-13554/Método de Ensaio*. Rio de Janeiro, 1996. 03 p.
- Baesso, D. P. e Gonçalves, F. L. R. *Estradas Rurais: Técnicas Adequadas de Manutenção*. Florianópolis: DER, 2003. 236 p.
- Branco, F; Pereira, P; Santos, L. P; *Pavimentos Rodoviários*, Coimbra. Edições Almedina S.A, 2008.
- Departamento Nacional DE Estrada DE Rodagem. *Solos Compactados com Equipamento Miniatura: Determinação da Perda de Massa por Imersão*, ME-256. Rio de Janeiro, 1994. 6 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.
- Samson, L. R. *A Study of the Precision Limits of Wet/Dry Brushing Durability Test for Cement-Stabilized Materials*, Technical Report RP/26, NITRR, CSIR, South Africa, 1986.
- 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) ã Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco ã UFPE, Recife, 2011.
- Taylor, G. D. *Materials in Construction*. Longman Scientific And Technical, 2a ed. London. 1994. 284 p.