

## RESISTÊNCIA MECÂNICA DE PAVIMENTOS DE CONCRETO COM FIBRAS DE NYLON E MICROFIBRAS DE AÇO.

Viviane Fregulia da Silva (1), Patrícia Montagna Allem (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1)[viviane@unesc.net](mailto:viviane@unesc.net), (2)[patricia.allem@hotmail.com](mailto:patricia.allem@hotmail.com)

### RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo principal a análise da influência que fibras de *nylon* e microfibras de aço exercem quando incorporadas à massa de concreto utilizada para pavimentação. Assim, buscou-se avaliar o desempenho das mesmas, referente à tração na flexão e deformação do material. Para alcançar o objetivo inicialmente traçado foi desenvolvida uma amostra composta por três corpos de prova utilizados como referência e ainda, foram produzidas mais duas amostras para cada fibra, cada qual contendo três corpos de prova. Para as amostras 1 (um) adotou-se a dosagem recomendada pelo fabricante e para as amostras 2 (dois) um valor acima desta recomendação. Para produção das amostras adotou-se um traço já utilizado para pavimentação, que foi cedido por uma empresa de concreto usinado da região. Os corpos de prova foram moldados e ficaram submersos em água potável por sete dias, e então foram avaliados através da máquina universal modelo EMIC DL 10000, para ensaios mecânicos de tração, compressão, flexão, etc., que disponibilizou os valores obtidos para tração na flexão e deformação dos corpos de prova. A adição de fibras não incrementou resistência na tração, entretanto, no que diz respeito à deformação, tanto a fibra de *nylon* quanto a microfibra de aço, mostraram-se eficientes. A fibra de *nylon* apresentou maior deformação para dosagem acima da indicada, enquanto que a microfibra de aço apresentou o maior valor na deformação com a dosagem mínima, ambas indicadas pelo fabricante. Portanto, verificou-se a eficiência da microfibra de aço no combate da microfissuração, aplicação para qual já é indicada.

**Palavras-chave:** Fibras de nylon. Microfibras de aço. Concreto para pavimento.

### 1. INTRODUÇÃO

Responsáveis por grande parte do transporte de passageiros e altos índices do transporte de cargas, as rodovias brasileiras precisam estar dimensionadas para suportar o tráfego, que além de intenso e pesado, é repetitivo. Para tanto, sua pavimentação precisa ser de alta durabilidade e de baixo custo em manutenção.

Conforme a NBR 7207/82 da ABNT o pavimento é uma estrutura construída após a terraplanagem e deve ser capaz de resistir e distribuir os esforços verticais provenientes do carregamento, para o subleito. Também deve resistir aos esforços horizontais atuantes, para garantir a durabilidade da pista de rolamento.

Além disso, a estrutura de um pavimento envolve a melhoria das condições de rolamento no que diz respeito à comodidade e segurança.

Portanto, pavimento trata-se de uma estrutura construída sobre a superfície obtida pelos serviços de terraplanagem com a função principal de fornecer ao usuário segurança e conforto, que devem ser conseguidos sob o ponto de vista da engenharia, isto é, com a máxima qualidade e o mínimo custo (SANTANA, 1993 apud MARQUES, 2002, p. 01).

Segundo Gewehr (2013), na maior parte dos países os pavimentos são flexíveis, utilizando assim, o concreto asfáltico como principal forma de revestimento. No Brasil as rodovias quase em sua totalidade foram pavimentadas com material asfáltico. Isso porque este tipo de revestimento permite a forte união dos agregados, a flexibilidade controlável, impermeável, sua aplicação simples e de manuseio fácil quando aquecido. Além disso, permite combinações com outros tipos de materiais.

Como alternativa de revestimento em pavimento, existem os chamados pavimentos rígidos, seu material constituinte é o concreto de cimento Portland. A estrutura do pavimento de concreto de cimento Portland consiste em um revestimento normalmente apoiado sobre uma sub-base composta por material granular ou estabilizado com cimento. O mesmo é feito com placas de concreto que, dependendo do seu dimensionamento, pode apresentar armadura (GEWEHR, 2013).

Os pavimentos desenvolvidos com concreto vêm ganhando espaço e relevância nos mais diversos sistemas, entre eles podemos citar: sistemas de transporte terrestre, como nas rodovias, portos, aeroportos, corredores para ônibus e ciclovias. Isto devido às vantagens relacionadas à resistência mecânica e durabilidade. Para que um pavimento de concreto seja executado adequadamente é necessária preocupação com os cuidados técnicos envolvidos em todo processo, que vão do projeto até o controle tecnológico (VIAS CONCRETAS, 2016).

Uma das diferenças principais entre os pavimentos rígidos e flexíveis está relacionada ao custo. A pavimentação rígida (de concreto) requer um investimento inicial maior comparada à flexível. Entretanto, ela permite maior durabilidade, desde que tenha sido bem dimensionada e executada, e seu custo acaba sendo recuperado em longo prazo, tornando-o neste caso, mais vantajoso que o flexível.

O concreto é um material comumente utilizado em todo mundo e apresenta vantagens como a alta resistência mecânica, a rápida execução, fácil

moldagem e o custo relativamente baixo. Entretanto, é um compósito que aponta determinadas limitações, entre elas a baixa capacidade de deformação e a rápida propagação de fissuras quando submetido a esforços de tração (BARRAGÁN, 2002; FIGUEIREDO, 2011a apud SALVADOR, 2013, p. 01).

Desta forma, a tecnologia vem avançando com a finalidade de atenuar as limitações do material. Uma alternativa encontrada, atualmente, é o uso de fibras como reforço do concreto, que se baseia na junção de elementos fibrosos dispersos na matriz cimentícia.

Neste sentido, Figueiredo (2011) apresenta que os compósitos podem ser definidos como materiais compostos por duas fases: a matriz e as fibras. Sendo que estas podem atuar com o objetivo de reforçar a matriz, no que diz respeito às propriedades da mesma. Assim, as fibras são elementos descontínuos, cujo comprimento é bem maior que a maior dimensão da seção transversal.

A utilização das fibras vem se tornando uma alternativa interessante para as mais distintas aplicações. A utilização delas confere ao concreto características mecânicas mais elevadas, propiciando aumento da capacidade de deformação do compósito e, ainda, a limitação do aparecimento de fissuras por parte do material. (OLIVEIRA, 2014).

O concreto reforçado com fibras mostra-se mais dúctil quando comparado ao convencional, além disso, apresenta melhora em determinadas características mecânicas. Segundo Oliveira (2014) esse compósito vem sendo estudado com a finalidade de melhorar a resistência à tração do concreto convencional, amenizar o aparecimento de fissuras por retração plástica e, ainda, proporcionar o aumento da tenacidade do material.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a resistência da tração na flexão do concreto, com adição de fibras de *nylon* e microfibras de aço, e ainda, se propõe a analisar o comportamento do material referente à deformação. Busca-se, assim, contribuir para a pesquisa de materiais que possam vir a proporcionar novas aplicações, antes não consentidas a partir de métodos tradicionais, permitindo a junção da pesquisa e da tecnologia em busca de novas soluções.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

O concreto desenvolvido para a realização deste trabalho foi composto por insumos convencionais, levando em conta que o traço adotado é de uso comum. Ele foi constituído por cimento, agregado graúdo e miúdo, água e aditivo químico. Além disso, adicionou-se fibras de *nylon* ou as microfibras de aço (conforme o traço), materiais essenciais ao desenvolvimento do estudo.

#### 2.1.1 Cimento

Para a produção do concreto foi utilizado o cimento CP IV, classe 32, visto como principal componente do concreto. Segundo Onuki e Gasparetto (2013) o cimento Portland é um aglomerante hidráulico, obtido através da moagem do clínquer, resultante da calcinação até fusão incipiente de materiais calcários e argilosos, com o gesso.

#### 2.1.2 Agregados

Conforme a NBR 9935/2011 – Agregados – Terminologia, os agregados miúdos são aqueles que após classificados, no máximo 15% dos grãos ficam retidos na peneira de malha 4,75mm. A mesma norma também define que agregados graúdos são pedregulhos ou britas de rochas estáveis, onde no máximo 15% dos grãos passam na peneira de malha de 4,75 mm.

Os agregados utilizados para fim desta pesquisa foram fornecidos por uma empresa de concreto usinado da região. Estes foram submetidos aos ensaios necessários para caracterizá-los e possibilitar a realização do cálculo do traço estabelecido.

A tabela 1 apresenta quais foram estes ensaios.

Tabela 1 – Ensaios utilizados pela empresa para agregados graúdo e miúdo

<b>Ensaios – Agregado graúdo</b>	<b>Ensaios – Agregado miúdo</b>
NBR NM 248 – Determinação da composição granulométrica do agregado graúdo	NBR NM 248 – Determinação da composição granulométrica do agregado miúdo
NBR NM 45 – Massa unitária estado solto	NBR NM 45 – Massa unitária estado solto
NBR NM 44 – Teor de argila em torrões e materiais friáveis	NBR NM 44 – Teor de argila em torrões e materiais friáveis
NBR NM 46 – Material pulverulento	NBR NM 46 – Material pulverulento
NBR NM 49 – Impurezas orgânicas	NBR NM 49 – Impurezas orgânicas
Parâmetro NBR 7211 – Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material	Parâmetro NBR 7211 – Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material
NBR NM 53 – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água	NBR NM 52 e NM 30 – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água

Fonte: Dados fornecidos pela empresa de concreto usinado (2016)

### 2.1.3 Água

A água utilizada para a produção dos traços provém da rede de abastecimento do município de Criciúma. Esta abastece o Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT) do Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) na qual foi realizada esta pesquisa.

### 2.1.4 Aditivo

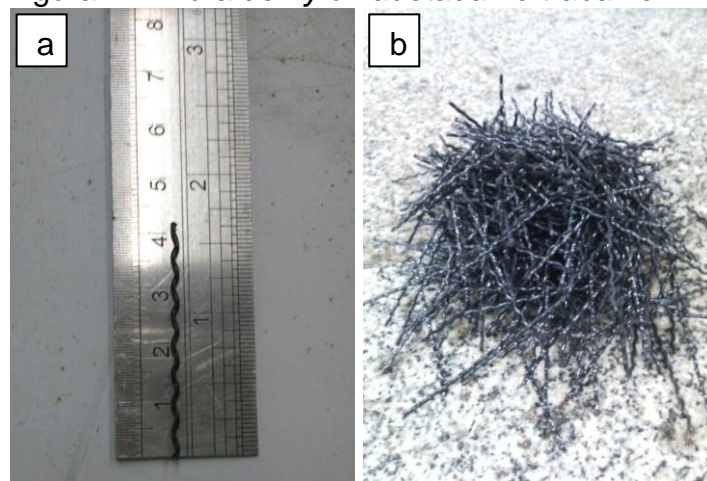
Segundo a NBR 11768/2011 os aditivos, se adicionados em pequenas quantidades ao cimento Portland, alteram algumas de suas características, adequando-se a certas condições. Assim, foi utilizado nesta pesquisa o aditivo MX 100, por considerar que ele pode atribuir plasticidade ao concreto.

### 2.1.5 Fibras

Nesta pesquisa foram utilizados dois tipos de fibras: *nylon* e microfibras de aço. A primeira constituída de polietileno, material que tem o nome comercial de

*nylon*, que são definidas como sintéticas e empregadas normalmente com a finalidade de minimizar o aparecimento das fissuras oriundas da retração plástica do concreto. Sendo estas fibras suficientemente resistentes, bem aderidas à matriz cimentícia, e em quantidade adequada, ajudarão a manter pequena a abertura das fissuras. Desta forma, poderão permitir ao concreto maior resistência à tensões de tração, com uma grande capacidade de deformação no estágio pós-fissuração (INTERSEC FIBRAS SINTÉTICAS, 2014). A Figura 1 mostra a fibra de *nylon* que foi utilizada para realização do trabalho.

Figura 1 – Fibra de *nylon* adotada no trabalho



Fonte: O autor (2016)

Segundo o fabricante, esta fibra confere tenacidade, maior resistência à tração na flexão e a compressão, melhorando, desta forma, as propriedades físicas do concreto. A seguir, a tabela 2 apresenta algumas das especificações do fabricante referente à fibra adotada no presente estudo.

Tabela 2 – Especificações da fibra de nylon adotada

Fator de forma	50
Comprimento	40 mm
Resistência à tração	350 MPa
Fibras/kg	27.000

Fonte: Fabricante (2016)

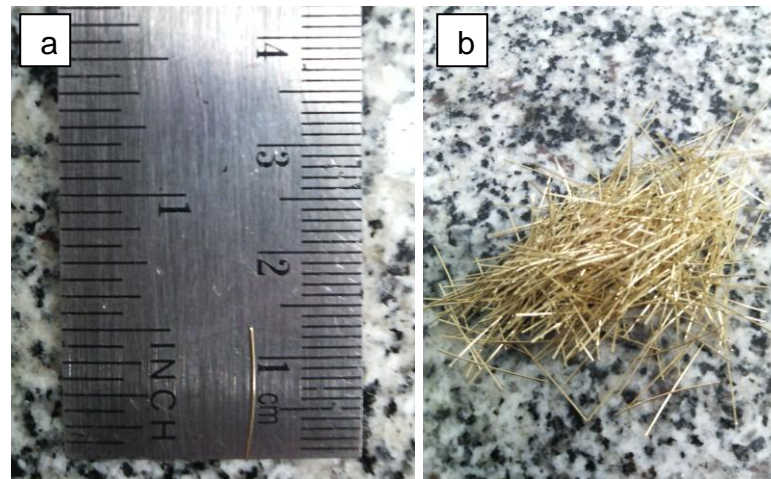
A segunda é a microfibras de aço, definida como elementos descontínuos, que podem ser produzidos em diferentes formatos, dimensões e tipos de aço.



Quando estas são adicionadas ao concreto, proporcionam determinada dificuldade de propagação das fissuras, isso porque possuem elevado módulo de elasticidade. Elas ainda permitem que haja uma redistribuição de esforços no material em que está sendo aplicada (CASTRO, 2010 apud, OLIVEIRA, 2014, p. 28).

Dessa forma, as microfibras de aço propiciam ao concreto alguns benefícios, como: maior resistência ao impacto e à fadiga, aumento da capacidade de deformação e alta durabilidade. As microfibras de aço que foram utilizadas (Figura 2) tem por finalidade principal controlar a fissuração por retração.

Figura 2 – Microfibras de aço adotadas no trabalho



Fonte: O autor (2016)

Na tabela 3 constam algumas das especificações do fabricante, quanto à fibra de aço adotada no estudo.

Tabela 3 – Especificações da microfibra de aço adotada

Fator de forma	62
Comprimento	13 mm
Diâmetro	0,21 mm
Fibras/kg	10,000

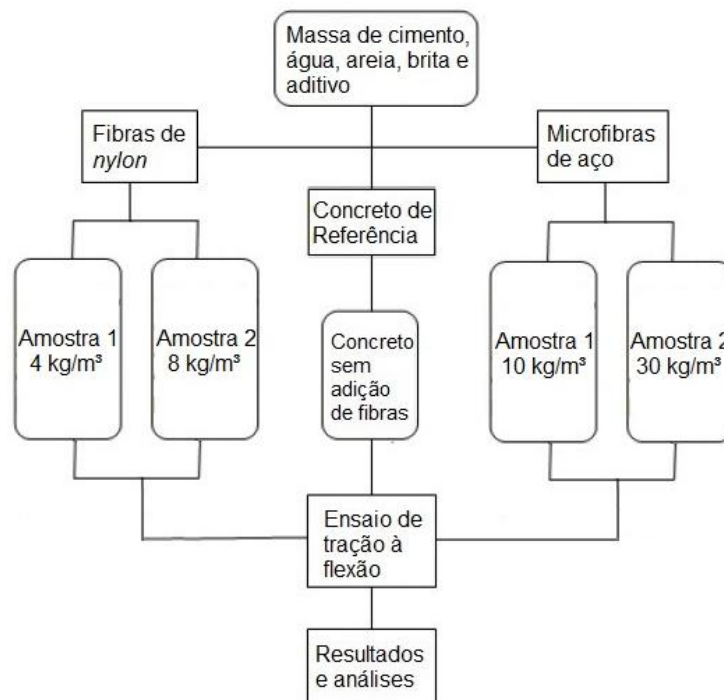
Fonte: Fabricante (2016)

## 2.2 MÉTODOS

Inicialmente foi realizada uma pesquisa referente às fibras que poderiam ser utilizadas no concreto, buscando avaliar o desempenho que as mesmas ofereceriam quando aplicadas em pavimentos rígidos. Com isso, verificou-se a possibilidade de estudar as microfibras de aço e as fibras de *nylon*, que apresentam características distintas e podem ser facilmente encontradas no mercado. Sendo que as etapas da metodologia serão descritas com maiores detalhes a seguir. Além disso, estudos já vêm sendo realizados para aplicação das mesmas em concreto convencional.

Portanto, o objetivo desta pesquisa deu-se em comparar os resultados obtidos para tração na flexão e capacidade de deformação, entre amostras com a utilização de microfibras de aço, outras com fibras de *nylon* e o concreto, sem nenhum tipo de adição. A figura 3 apresenta o fluxograma de planejamento do estudo.

Figura 3 – Fluxograma simplificado do estudo



Fonte: O autor (2016)



### 2.2.1 Traço

O traço adotado foi obtido através do contato com uma empresa de concreto usinado da região, que já havia o fornecido para obras de pavimento rígido. Buscou-se, assim, tomar como base um traço usual, para que a comparação pudesse ser realizada levando-se em consideração dados reais e com resultado mais próximo possível daquele utilizado em obras.

Dessa forma, a empresa forneceu o traço que os mesmos utilizaram para a realização do pavimento do túnel do Morro do Formigão, localizado em Tubarão/SC. O traço teve alteração referente ao agregado graúdo, reduzindo seu diâmetro, para que possibilitasse a realização da concretagem dos corpos de prova propostos. Outra alteração deu-se em relação à absorção dos materiais, que foram utilizados considerando umidade igual a zero. A Tabela 4 apresenta o traço fornecido pela empresa, já considerando as alterações necessárias.

Além destes dados, e do traço já adequado à realização do trabalho, a empresa disponibilizou ainda os materiais – agregado graúdo miúdo e aditivo –, para que o concreto tivesse as características mais próximas possíveis daquele utilizado na obra de pavimentação em questão. Esperava-se, desta forma, que o concreto de referência pudesse apresentar resistência à tração, idêntica àquela normalmente empregada.

Tabela 4 – Traço adotado.

<b>Cimento CP IV 32 (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Brita ¾'' (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Brita 0 (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Areia Industrial (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Areia Nat. fina (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Aditivo MX 100 (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Água (Lts/m<sup>3</sup>)</b>
400	645	386	543	139	3,20	188

Fonte: Dados fornecidos pela empresa de concreto usinado (2016).

### 2.2.2 Proporções das fibras

Como demonstrado no fluxograma da figura 3, foram utilizados neste trabalho duas proporções diferentes de fibras, tanto no caso do aço quanto do *nylon*,

que possibilitou a avaliação da quantidade de fibras ou microfibras que apresentaram um desempenho mais satisfatório.

A tabela 5 apresenta a quantidade de corpos de prova que foram produzidos para os diferentes tipos de amostras e as respectivas quantidades de fibras.

Tabela 5 – Quantidade de corpos de prova por amostra e quantidade de fibras

Grupo	Amostra 1	Amostra 2
Concreto com fibras de <i>nylon</i>	3 corpos de prova (4 kg/m <sup>3</sup> de fibra)	3 corpos de prova (8 kg/m <sup>3</sup> de fibra)
Concreto com microfibras de aço	3 corpos de prova (10 kg/m <sup>3</sup> de fibra)	3 corpos de prova (30 kg/m <sup>3</sup> de fibra)
Concreto de referência	3 corpos de prova sem adição de fibras	

Fonte: O autor (2016).

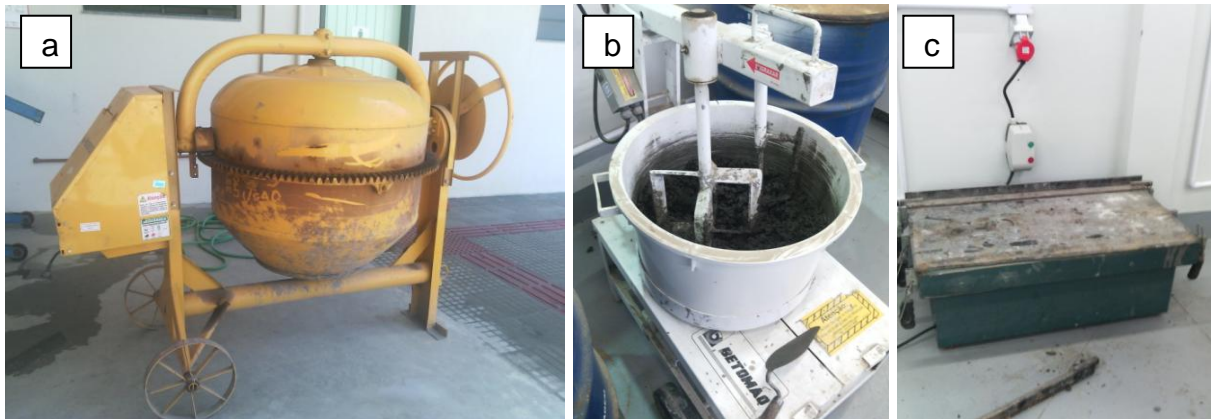
Como não existem normas que regem a quantidade ideal quanto à aplicação das fibras no concreto, esta baseou-se na indicação do fabricante. Dessa forma, para o caso da microfibra de aço, foi adotado a própria proporção de fibra por metro cúbico, e um segundo valor acima deste, com a finalidade de avaliar qual a quantidade que se adéqua melhor a matriz cimentícia.

O mesmo critério, referente à dosagem mínima, foi adotado para fibra de *nylon*. Outro valor também acima deste também foi aplicado a fim de avaliar o seu desempenho.

### 2.2.3 Equipamentos utilizados

Os equipamentos necessários para a produção do concreto utilizado no trabalho foram: betoneira da Horbach para 400 litros, o misturador de argamassa da Betomaq modelo MT 40 e a mesa vibratória conforme ilustrado na Figura 4(a,b,c), respectivamente.

Figura 4 – Equipamentos para produção do concreto

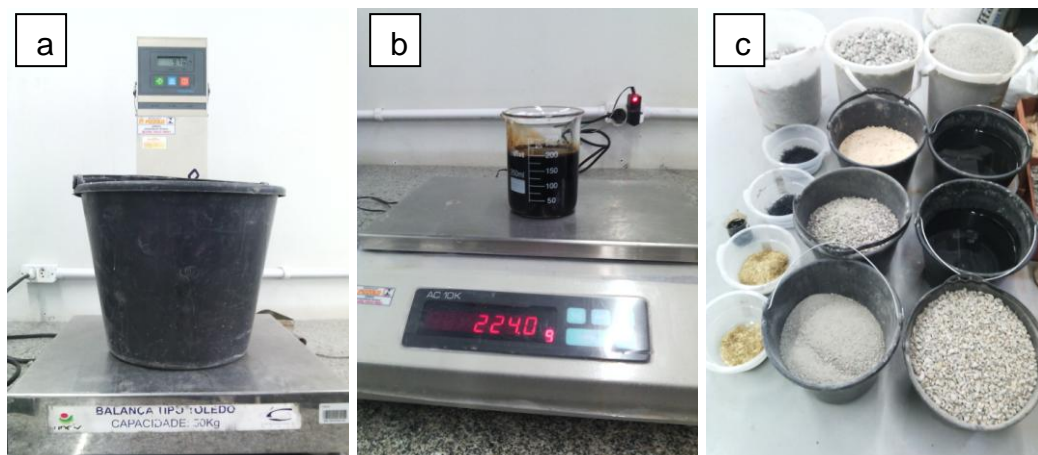


Fonte: O autor (2016)

## 2.2.4 Produção das amostras

Os agregados utilizados no procedimento foram inicialmente levados ao forno, para a retirada de toda a umidade presente nos mesmos, e desta forma o traço obtido considerou a absorção, devido à umidade zero dos materiais. Posteriormente todos os materiais foram pesados e organizados para o início do processo, como apresenta a Figura 5.

Figura 5 – Pesagem e organização dos materiais



Fonte: O autor (2016)

Inicialmente a betoneira foi umedecida, com a finalidade de impedir que o material grudasse. A seguir, os materiais foram lançados no equipamento, na

seguinte ordem: britas, areias, cimento, água (que foi sendo acrescentada de maneira intercalada durante o procedimento) e, por último, o aditivo.

A partir do momento em que o aditivo foi acrescentado, cronometrou-se 3 (três) minutos de mistura dos materiais e, por fim, foi realizado o primeiro *Slump Teste*, conforme a NBR NM 67 de 1998 (Figura 6), que especifica o método para determinar a consistência do concreto fresco através da medida de seu assentamento.

Figura 6 – Realização de Slump Teste



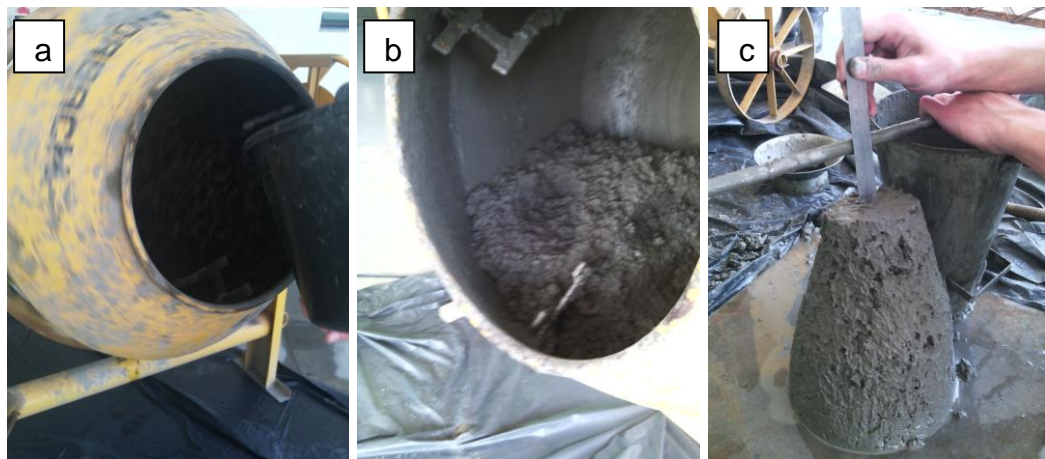
Fonte: O autor (2016).

Ao ser adicionado 90% da água à mistura, o ensaio apresentou um abatimento no valor de 9 (nove) cm. Os materiais continuaram a ser misturados na betoneira por mais 15 (quinze) minutos e outro teste de abatimento foi realizado para verificar a quantidade de água que havia sido perdida, que resultou em um valor de 5 (cinco) cm.

Os materiais citados continuaram em movimento de mistura dentro da betoneira por mais 3 (três) minutos, onde foi adicionado o restante da água, com o objetivo de alcançar o valor de  $6 \pm 2$  (seis  $\pm$  dois) no Slump Teste. Desta forma, foi obtido o valor de 7 (sete) cm no abatimento final, possibilitando o início da concretagem das amostras, conforme sequência de fotos da Figura 7.



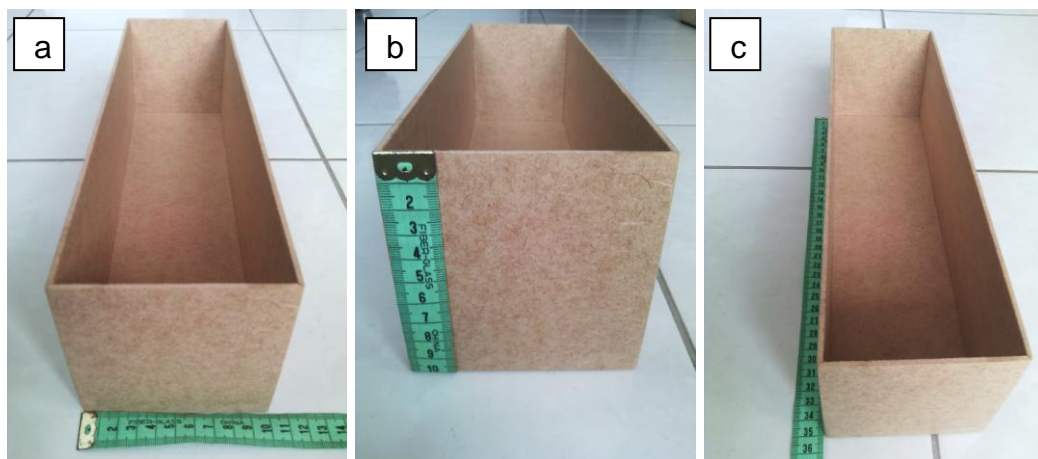
Figura 7 – Massa de concreto concluída e Slump Teste final



Fonte: O autor (2016)

As formas utilizadas para a confecção dos corpos de prova possuíam formato prismático, com largura e altura de 10 (dez) cm e comprimento de 35 (trinta e cinco) cm, como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Dimensões das formas



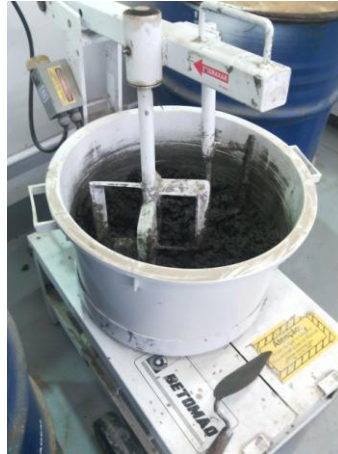
Fonte: O autor (2016).

Iniciou-se pela concretagem de 3 (três) corpos de prova, sem adição de nenhum tipo de fibra que serviram como referência nas mesmas condições das demais amostras, como será descrito a seguir.

Na sequência, foi realizada uma medida do concreto necessário para preencher os 3 (três) corpos de prova. A quantidade de material necessário foi

colocado no misturador por 3 (três) minutos, onde as fibras foram adicionadas à matriz (Figura 9).

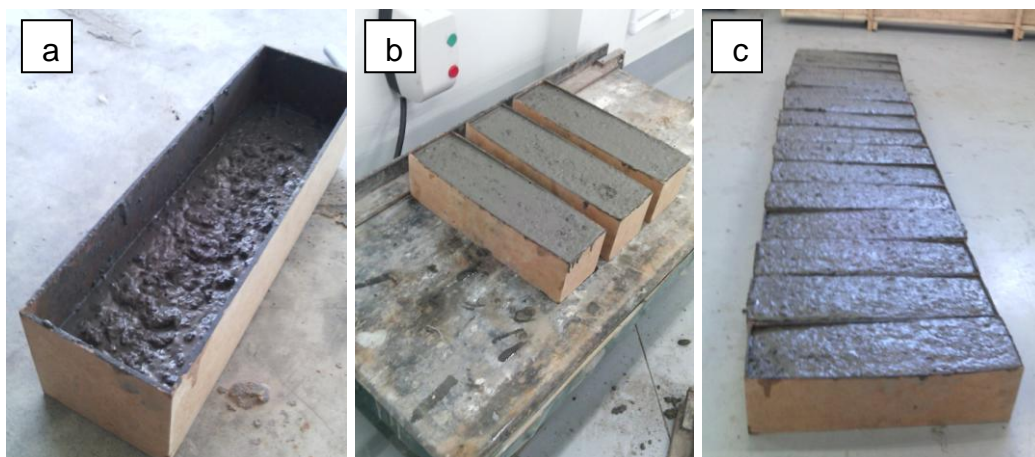
Figura 9 – Etapa de adição das fibras à matriz



Fonte: O autor (2016).

A seguir o concreto foi lançado nas formas em duas camadas. Após o preenchimento da primeira camada as formas foram submetidas à vibração por 10 (dez) segundos e, posteriormente, foi concluído o preenchimento com a segunda camada de concreto, e vibrado por mais 10 (dez) segundos, garantindo o adensamento do material. A sequência da distribuição e do adensamento está demonstrada na Figura 10. Este processo se repetiu para todas as amostras.

Figura 10 – Distribuição e adensamento do material

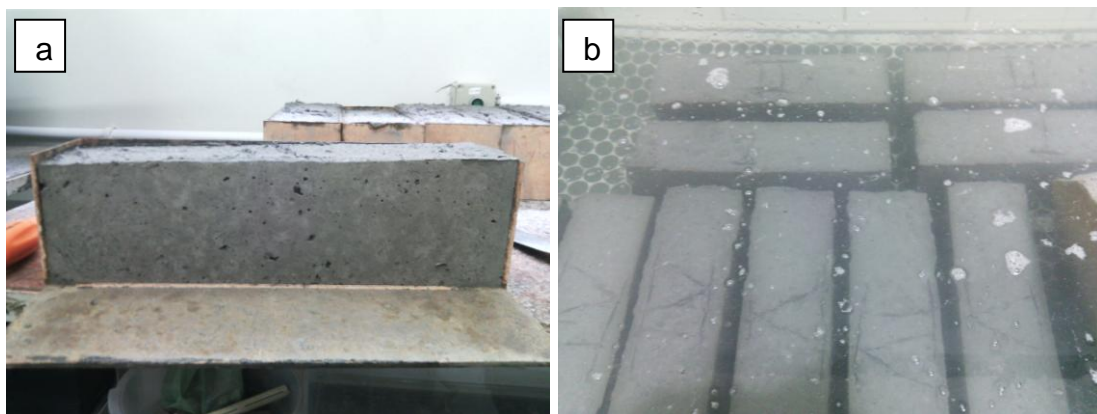


Fonte: O autor (2016).



Após 24 horas da concretagem, com o material já endurecido, os corpos de prova foram desformados (Figura 11a) e levados ao tanque de água potável, onde ficaram imersos por 7 (sete) dias, conforme ilustrado na Figura 11b. Após a cura do concreto os corpos de prova foram finalmente submetidos à máquina universal, modelo EMIC DL 10000, para ensaios mecânicos de tração, compressão, flexão, etc.

Figura 11 – Desforma e imersão dos corpos de prova



Fonte: O autor (2016)

### 2.2.5 Ensaio Mecânico

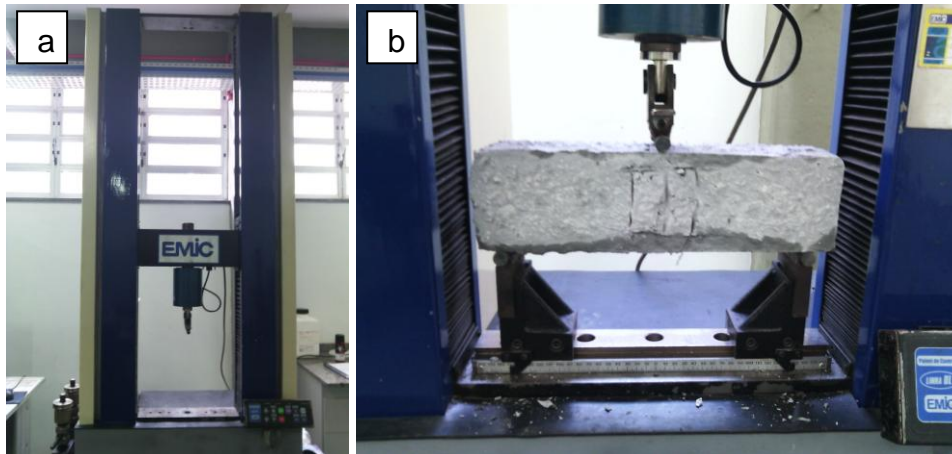
A forma mais tradicional para a avaliação do comportamento mecânico do concreto com fibras é por meio da determinação da tenacidade ou da resistência residual pós-fissuração no ensaio de flexão em prismas. (BERNARD, 2009 apud SALVADOR, 2013, p. 02).

Foi realizado um ensaio mecânico para obtenção dos valores de resistência na tração e, ainda, para os valores de deformação a partir de todas as amostras, a fim de comparar os resultados.

#### 2.2.5.1 Resistência à tração na flexão

Os resultados para todos os corpos de prova foram obtidos através da utilização da máquina universal, modelo EMIC DL 10000, para ensaios mecânicos de tração, compressão, flexão, etc., representada pela Figura 12. A partir dela se obteve os valores para resistência à tração e deformação das amostras.

Figura 12 – Equipamento utilizado



Fonte: O autor (2016)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo do trabalho buscou identificar se as fibras de *nylon* e as microfibras de aço exercem alguma influência quando aplicadas ao concreto utilizado para pavimentação, no que diz respeito à resistência à tração na flexão e quanto à capacidade de deformação do material. Sendo assim, o trabalho apontou os resultados e discussões que foram obtidos a partir do ensaio mecânico anteriormente citado.

#### 3.1 CONCRETO DE REFERÊNCIA

A tabela 6 apresenta os valores obtidos no ensaio de tração na flexão da amostra, constituída por três corpos de prova, que serviram como concreto de referência, sem adição de fibra.

Tabela 6 – Resultados obtidos para o concreto de referência

<b>Amostra</b>	<b>Tração (MPa)</b>	<b>Deformação (mm)</b>
Corpo de prova 1	5,12	1,04
Corpo de prova 2	4,64	0,82
Corpo de prova 3	4,70	0,91

Fonte: O autor (2016)

### 3.2 CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE NYLON

Nas tabelas 7 (sete) e 8 (oito) constam, respectivamente, os resultados obtidos para as amostras 1 (um) e 2 (dois) com adição das fibras de *nylon*. Os valores obtidos na tração à flexão para ambas as amostras, foram menores que aqueles do concreto de referência. Mesmo a amostra 2 (dois) possuindo um valor maior de dosagem da fibra, sua média ficou muito próxima da amostra 1 (um). Entretanto, referente à deformação, a amostra 1 (um) apresentou um valor menor do que o obtido para referência, enquanto que na amostra 2 (dois) o aumento de fibras de *nylon* na matriz ocasionou também um aumento significativo no valor médio de deformação do material.

Tabela 7 – Resultados obtidos para o concreto com adição de fibras de *nylon* (Amostra 1)

<b>Amostra 1</b>	<b>Tração (MPa)</b>	<b>Deformação (mm)</b>
Corpo de prova 1	4,89	0,80
Corpo de prova 2	4,68	1,09
Corpo de prova 3	3,90	0,72

Fonte: O autor (2016)

Tabela 8 – Resultados obtidos para o concreto com adição de fibras de *nylon* (Amostra 2)

<b>Amostra 2</b>	<b>Tração (MPa)</b>	<b>Deformação (mm)</b>
Corpo de prova 1	4,54	1,55
Corpo de prova 2	4,45	1,46
Corpo de prova 3	4,38	1,03

Fonte: O autor (2016)

### 3.3 CONCRETO COM ADIÇÃO DE MICROFIBRAS DE AÇO

Os resultados para as amostras 1 (um) e 2 (dois) com microfibras de aço são apresentados, respectivamente, nas tabelas 9 (nove) e 10 (dez). No caso da amostra 1 (um), a adição das microfibras não proporcionou aumento no valor da

tração quando comparado à referência. Embora na deformação, o valor médio obtido foi maior que o concreto de referência. A amostra 2 (dois), que teve uma adição maior de microfibras de aço, não apresentou resultados significativos quanto à tração. Na deformação, o aumento da dosagem das microfibras propiciou valores melhores do que aqueles usados como referência. Entretanto houve uma redução no valor médio da deformação quando o mesmo é comparado com a amostra 1 (um), que teve uma menor dosagem de microfibras de aço.

Tabela 9 – Resultados obtidos para o concreto com adição de microfibras de aço (amostra 1)

<b>Amostra 1</b>	<b>Tração (MPa)</b>	<b>Deformação (mm)</b>
Corpo de prova 1	3,93	1,56
Corpo de prova 2	4,72	1,07
Corpo de prova 3	4,79	1,30

Fonte: O autor (2016)

Tabela 10 – Resultados obtidos para o concreto com adição de microfibras de aço (amostra 2)

<b>Amostra 2</b>	<b>Tração (MPa)</b>	<b>Deformação (mm)</b>
Corpo de prova 1	4,59	1,01
Corpo de prova 2	4,33	1,54
Corpo de prova 3	3,26	1,03

Fonte: O autor (2016)

A tabela 11 apresenta os valores médios obtidos através do ensaio mecânico para tração e deformação de cada fibra e suas amostras distintas.

Verifica-se, desta forma, que nenhuma das fibras, independente da dosagem aplicada, apresentou valores de tração na flexão maiores que os obtidos para a amostra de referência. Já referente à deformação, apenas a amostra 1 (um) das fibras de *nylon* apresentou valor menor do que o obtido para referência, o restante das amostras mantiveram seus valores acima do de referência.

Tabela 11 – Médias obtidas para tração e deformação de todas as amostras

<b>Amostras</b>	<b>Tração (MPa)</b>	<b>Deformação (mm)</b>
Referência	4,82	0,92
Nylon Amostra 1	4,49	0,87
Nylon Amostra 2	4,46	1,35
Aço Amostra 1	4,48	1,31
Aço Amostra 2	4,06	1,19

Fonte: O autor (2016)

Os resultados positivos obtidos quanto à deformação do concreto estão relacionados ao fato de que as fibras funcionam dentro da matriz, como uma ponte responsável por transferir tensão. Segundo Mehta e Monteiro (2008), pode-se associar a reduzida capacidade de resistência à tração do concreto à sua grande dificuldade de interromper a propagação de fissuras, quando é submetido a esse tipo de solicitação. Este fato ocorre devido à direção de propagação das fissuras ser transversal à direção principal de tensão. Logo, o trabalho de ponte de transferência de tensão que as fibras podem realizar através das fissuras no concreto é um mecanismo muito interessante de aumento da energia, associada à ruptura do material e a restrição à propagação de fissuras.

Segundo Figueiredo (2000), a partir do momento em que a fissura atinge um comprimento crítico no concreto ocorre a ruptura abrupta do material, caracterizando um comportamento tipicamente frágil, onde não se pode contar com nenhuma capacidade resistente do concreto fissurado.

Quando se adicionam ao concreto fibras de resistência e módulo de elasticidade adequados, este material deixa de ter o caráter marcadamente frágil, devido ao fato da fibra servir como ponte de transferência de tensões. Com isso tem-se uma grande redução da velocidade de propagação das fissuras no material, que passa a ter um comportamento pseudodúctil ou não frágil, apresentando certa capacidade resistente após fissuração. Com a utilização de fibras será assegurada uma menor fissuração do concreto (FIGUEIREDO, 2000).

No que se refere à tração na flexão, segundo Figueiredo (2000), quanto mais direcionadas as fibras estiverem em relação ao sentido da tensão principal de tração, melhor será o desempenho do compósito. Como consequência prática

recomenda-se, ainda, a utilização de fibras cujo comprimento seja igual ou superior ao dobro da dimensão máxima do agregado utilizado no concreto. Deve haver uma compatibilidade dimensional entre agregados e fibras, de modo que as mesmas interceptem com uma frequência maior a fissura que se desenvolve no compósito. Com a compatibilidade dimensional atuando, cria-se a possibilidade da atuação da fibra como reforço do concreto e não apenas como reforço da argamassa do mesmo.

Além disso, outro fator importante está relacionado ao módulo elástico das fibras e da matriz. Segundo Figueiredo, Tanesi e Nince (2002), quando aplicadas fibras de baixo módulo de elasticidade, a capacidade de reforço da matriz fica restrita às primeiras horas após o lançamento do concreto, porque nessa etapa o concreto ainda apresenta baixa resistência e pequeno módulo de elasticidade. À medida que ocorre o ganho de resistência e módulo, por parte da matriz, o reforço tende a diminuir. Dessa forma, é mais eficaz o reforço de argamassas do que do concreto com o uso de fibras com baixo módulo de elasticidade, já que as mesmas são incapazes de proporcionar maior rigidez e impedir que a fissura continue. A fibra de baixo módulo de elasticidade permite um maior nível de abertura de fissuras do que uma fibra de alto módulo, para um mesmo nível de solicitação do conjunto fibra-matriz.

#### 4 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo pesquisar sobre a aplicação de fibras, com características distintas, em concreto para pavimentos a fim de agregar resistência.

Os resultados mostraram que a interface entre fibra e matriz cimentícia não agregou resistência à tração para o concreto. Isso ocorreu tanto quando utilizou-se microfibras de aço, quanto para as fibras de *nylon*.

Sendo assim, o concreto sem adição de fibras, utilizado no estudo como referência, apresentou maior resistência à tração. Porém as fibras formam uma malha de resistência que propiciou o aumento da deformação do material nas amostras com incorporação de fibras.

Observa-se, ainda, que o concreto com adição de fibra de *nylon* em maior dosagem apresentou o maior valor para deformação. Entretanto, a microfibra de aço



com dosagem mínima resultou em valor muito próximo a este, o que pode estar relacionado ao alto módulo elástico do aço.

Como visto, pelos resultados apresentados, a adição de microfibras não confere incremento na resistência à tração, que vem ao encontro da real utilidade das mesmas, referente ao reforço à microfissuração superficial. Este fato deve-se a escolha das fibras utilizadas, visto que a dimensão das mesmas não é maior que a dimensão máxima do agregado graúdo, desta forma ela não proporciona interrupção de grandes fissuras.

Deve-se levar em consideração que o concreto é visto como um compósito que apresenta algumas limitações, como a baixa capacidade de deformação e a rápida propagação de fissuras. Assim, esta pesquisa inferiu que ambas as fibras adicionadas a um traço usual de concreto, utilizado para pavimentação, mostraram-se eficientes para combater estes problemas, especificamente.

Com isso o desenvolvimento deste trabalho permitiu a percepção de que a utilização de fibras para concreto aplicado em pavimento pode ser uma opção que contribuirá para o uso mais frequente desta técnica. Pois, apesar das particularidades, ela pode ser uma ótima alternativa ao apresentar características que permitem mais conforto ao usuário e maior durabilidade ao longo da vida útil do pavimento. Entretanto, mais estudos precisam ser realizados a respeito desta temática para que se encontre a fibra adequada.

Como sugestão para trabalhos posteriores recomenda-se, por exemplo, testes com outras fibras, com comprimento pelo menos duas vezes maiores do que a dimensão máxima dos agregados utilizados, permitindo, dessa forma, que haja compatibilidade dimensional, atuando em favor do reforço da matriz. Ainda, recomenda-se utilizar fibras com altos valores de módulo de elasticidade, o que também vai contribuir no ganho de resistência do concreto e não apenas da argamassa.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR-7207** – Terminologia e classificação de Pavimentação. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR-11768** – Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR NM-67** – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 9935/2011** – Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

Departamento Nacional de Infraestrutura Transporte. DNIT 719/2006: **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/Manual\\_de\\_Pavimentacao\\_Versao\\_Final.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf)> Acesso em: 21 abr 2016.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto com fibras de aço**. 2000. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: <<http://www.allquimica.com.br/arquivos/websites/artigos/a-000222006526153128.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. 247 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia da Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <[file:///C:/Users/User/Downloads/TeseLivreDocenciaAntonioFigueiredo2011 \(3\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/TeseLivreDocenciaAntonioFigueiredo2011%20(3).pdf)>. Acesso em: 28 maio 2016.

FIGUEIREDO, Antonio Domingues de; TANESI, Jussara; NINCE, Andréia Azeredo. **Concreto com fibras de polipropileno (CFP)**. 2002. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/66/artigo287241-1.aspx>>. Acesso em: 07 nov. 2016.

GEWEHR, Juliano. **Concreto x Asfalto**. 2013. Disponível em: <<http://asfaltodequalidade.blogspot.com.br/2013/01/concreto-x-asfalto.html>>. Acesso em: 05 jun. 2016.

INTERSEC FIBRAS SINTÉTICAS (Curitiba). **Fibras sintéticas estruturais**. 2014. Disponível em: <[http://www.fibrasintersec.com.br/index.php?fibras=fibras\\_sinteticas](http://www.fibrasintersec.com.br/index.php?fibras=fibras_sinteticas)>. Acesso em: 28 maio 2016.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Notas de aula**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2002. 204 p. Disponível em:

<<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2012/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf>>.  
Acesso em: 28 maio 2016.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais – 3ª edição**. 2008. Ed.: IBRACON. ISBN: 978-85-98576121. Português, p. 674.

OLIVEIRA, Nathalia Paula. **Concreto de cimento Portland reforçado com fibras de aço e polipropileno**. 2014. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Formiga - Unifor, Formiga, 2014. Disponível em:

<[http://bibliotecadigital.uniformg.edu.br:21015/jspui/bitstream/123456789/265/1/TCC\\_Nathalia Paula Oliveira.pdf](http://bibliotecadigital.uniformg.edu.br:21015/jspui/bitstream/123456789/265/1/TCC_Nathalia%20Paula%20Oliveira.pdf)>. Acesso em: 27 maio 2016.

ONUKE, Michelle Akemi Fatiga; GASPARETTO, Patrycia Alberton. **Comparativo das propriedades do concreto no estado Fresco e endurecido com adição de fibras de aço e de Polipropileno**. 2013. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Concreto, Departamento Acadêmico de Construção Civil Tecnologia em Concreto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Curitiba, Curitiba, 2013.

Disponível em:

<[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2073/1/CT\\_TCC\\_2013\\_1\\_03.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2073/1/CT_TCC_2013_1_03.pdf)>. Acesso em: 05 out. 2016.

SALVADOR, Renan Pícolo. **Análise comparativa de comportamento mecânico de concreto reforçado com macrofibra polimérica e com fibra de aço**. 2013. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <[file:///C:/Users/Public/Documents/TCC/TEMA 2/Dissertacao\\_RenanPSalvador.pdf](file:///C:/Users/Public/Documents/TCC/TEMA%202/Dissertacao_RenanPSalvador.pdf)>. Acesso em: 27 maio 2016.

Vias concretas; **Pavimento verde, cada vez mais presente**. Disponível em:<<http://viasconcretas.com.br/tecnologia/pavimento-de-concreto/>> Acesso em: 22 abr. 2016.