

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DA MACRO FIBRA DE AÇO NA ÁREA TRACIONADA DA VIGA DE CONCRETO ARMADO

Ana Paula da Silva Pinheiro (1), Patricia Montagna Allem (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)anapaulapinnheiro@hotmail.com (2)patricia.allem@hotmail.com

RESUMO

O uso de macro fibras de aço tem demonstrado em diversas pesquisas um aumento significativo da tenacidade pós-fissuração de matrizes de concreto, material intrinsecamente frágil. Deve-se a isso ao forte interesse em desenvolver e analisar diferentes tipos de fibras, avaliando sua eficiência relativa. Para caracterizar o desempenho de um material compósito com fibras é necessário usar ensaios capazes de captar e diferenciar a contribuição das fibras no mecanismo de ruptura. Uma das estratégias de ensaio mais usadas é o ensaio de flexão, no qual consiste na aplicação de uma determinada carga que leve a viga até a ruptura. O presente artigo apresenta uma análise comparativa de vigas com e sem adição de macro fibra de aço na área tracionada. A fibra de aço tem grande capacidade de carga e módulo de elasticidade, porém possui custo elevado. Para subsidiar essa análise foram realizados ensaios de flexão, em amostras de concreto auto adensável contendo macro fibra de aço na área tracionada da viga, com teor de 30 kg/m³. Os resultados indicaram que a adição de macro fibra contribuiu 24,05% para o aumento dos esforços cortantes.

Palavras-chaves: Macro fibra. Auto adensável. Tração.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil tem apresentado grandes avanços tanto em termos dos seus materiais como na sua produção e controle tecnológico.

O material de maior consumo neste setor, o concreto auto adensável, tem como principal objetivo obter pequenas dimensões aliadas a ganho de resistência a tração e flexão.

O concreto auto adensável teve sua origem no Japão. Pesquisadores japoneses, como OKAMURA (1999), desenvolveram um novo tipo de concreto devido à necessidade de se garantir estruturas duráveis, apesar da falta de mão-de-obra especializada para a execução do adensamento e ainda atender às exigências das estruturas com elevadas taxas de armadura (OKAMURA e OUCHI, 1999).

O concreto auto adensável é composto pelos mesmos materiais de um concreto convencional, porém incrementado com aditivos que agregam alta capacidade de adensamento sem a necessidade de vibração.

O concreto com adição de fibras é um material composto basicamente por duas fases: a matriz e as fibras. As fibras podem atuar como um reforço da matriz em função das propriedades desta e das próprias fibras (FIGUEIREDO, 2000).

Segundo Johnston (1994) as fibras em uma matriz cimentícia podem, em geral, ter dois efeitos importantes: primeiro, elas tendem a reforçar o compósito sobre todos os modos de carregamento que induzem tensões de tração, isto é, retração restringida, tração direta ou na flexão e cisalhamento e, secundariamente, elas melhoram a ductibilidade e a tenacidade de uma matriz frágil.

O papel que a fibra irá desempenhar no concreto dependerá de uma série de características da mesma. No entanto, para a classificação básica do material, as propriedades que são mais relevantes são o módulo de elasticidade e a resistência mecânica, pois estas duas propriedades irão definir a capacidade de reforço que a fibra pode proporcionar ao concreto (Figueiredo, 2011).

O principal papel das fibras no concreto com adição de fibras de aço é agir como ponte de transferência de tensões através de fissuras (BENTUR E MINDESS, 1990). A pesquisa teve como objetivo principal analisar a influência da macro fibra de aço na área tracionada de uma viga de concreto armado.

Para atingir o objetivo principal foi definido como objetivo secundário comparar as resistências à flexão obtidos aos 28 dias, entre a viga com a adição de macro fibras na área tracionada e a viga referência.

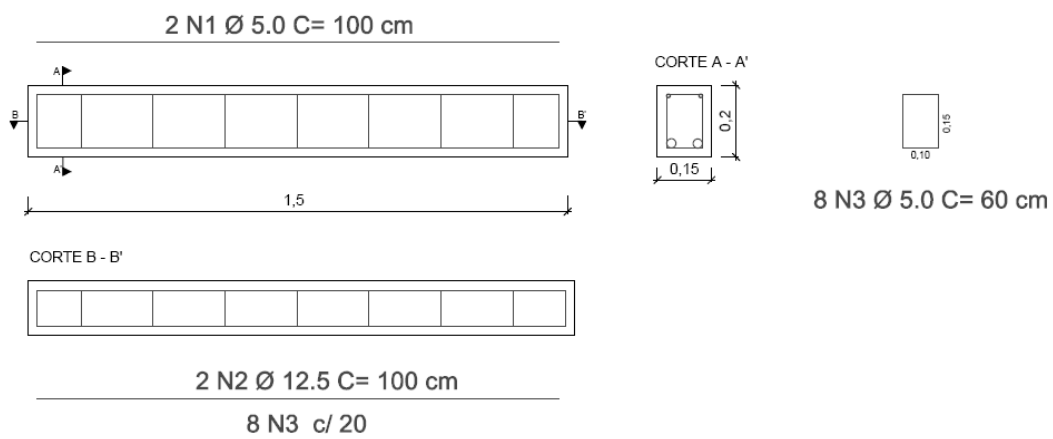
Espera-se que a fibra permita ao concreto um aumento na resistência de tensões de tração. No seu estado endurecido, um ganho de desempenho na contenção das fissuras e redistribuições de tensões. E no estado fresco, um aumento considerável na coesão do concreto, uma vez que as fibras, ao possuírem grande área superficial, tem maior contato entre si e com os outros elementos constituintes do concreto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o alcance dos objetivos deste trabalho foi desenvolvida uma etapa experimental que consistiu de quatro fases: dimensionamento da área de aço das vigas e altura da área tracionada, preparação das vigas referência e com adição de macro fibras de aço, ensaios em laboratório e análise dos resultados.

Foram feitas duas vigas referência de concreto armado e duas vigas com macro fibras de aço adicionadas na parte tracionada, utilizando concreto auto adensável C30 usinado, nomeadas respectivamente de VR1, VR2 e VF3, VF4. Essas vigas apresentaram dimensões 15x20cm na seção transversal e 150 cm de comprimento. Foram utilizadas barras \varnothing 12,5 mm (CA50) na armadura de tração e \varnothing 5,0 mm (CA60) na armadura de compressão, e espaçamento dos estribos a cada 20 cm. Realizou-se uma análise do fator x/d e constatou-se que com as dimensões adotadas e apenas com a carga do peso próprio atuando nas vigas, resultou em $x/d = 0,2955$, o que as intitulam no domínio 3 de deformações. Na Figura 01, encontra-se o detalhamento da armadura usada para a confecção das vigas.

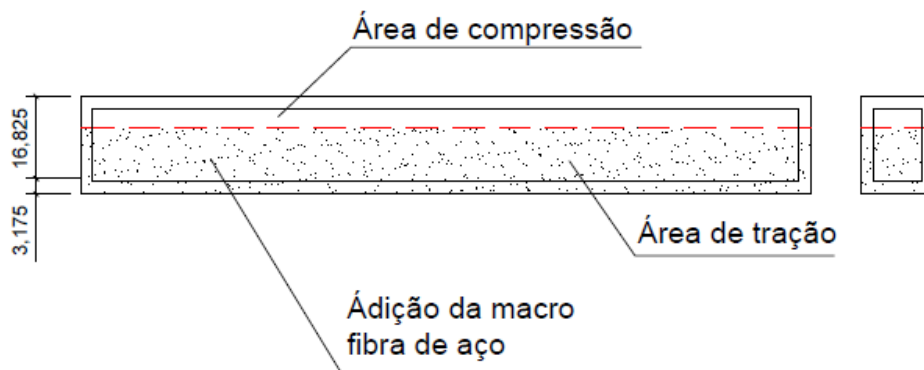
Figura 01: Detalhamento de armadura das vigas em estudo.



Fonte: Autor, 2017.

Na Figura 02, encontra-se o detalhamento de onde foi adicionado à mistura do concreto auto adensável e a macro fibra de aço. No qual tem-se $d' = 3,175$ cm e $d = 16,825$ cm, esses valores foram obtidos de acordo com a NBR 6118:2014.

Figura 02: Detalhamento da altura da área tracionada.



Fonte: Autor, 2017.

Todo procedimento experimental foi realizado no Laboratório de Estruturas do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT) do Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC).

Para a determinação das propriedades de trabalhabilidade do concreto foram definidos, no estado fresco, os ensaios de abatimento de tronco de cone (Slump Test), segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998). No qual consiste em colocar concreto dentro de uma forma tronco-cônica, em três camadas igualmente adensadas, cada uma com 25 golpes, retira-se o molde lentamente, levantando-o verticalmente e mede-se a diferença entre a altura do molde e a altura da massa de concreto depois de assentada.

E o ensaio de espalhamento do tronco de cone (Slump Flow Test), de acordo com a NBR 15823 (ABNT, 2010). Que emprega-se o mesmo molde tronco cônico utilizado para a determinação do abatimento (slump) no concreto convencional. O molde, posicionado no centro de uma placa plana e rígida, de madeira ou metal, é completamente preenchido com concreto auto adensável. Suspende-se o molde da mesma forma que para a determinação do abatimento, porém, após o concreto parar de se mover, mede-se o seu espalhamento, que corresponde à média aritmética de duas determinações dos diâmetros aproximados do concreto espalhado, tomadas em direções ortogonais.

Em seguida para determinar as propriedades mecânicas dos corpos de prova foi definido, no estado endurecido, o ensaio de determinação da resistência à compressão axial através do rompimento, segundo a NBR 5739 (ABNT, 1994).

As vigas foram ensaiadas à flexão à quatro pontos, a configuração do ensaio consistiu em apoiar a viga em dois cutelos e aplicar o carregamento através de outros dois cutelos posicionados na parte superior da viga, no terço médio do vão. Os cutelos possuíam mobilidade no sentido transversal permitindo, assim, a aplicação de carga uniforme sobre a viga e o seu perfeito apoio.

2.1 MATERIAIS

2.1.1 Produção das vigas com concreto auto adensável

Inicialmente foi efetuado o ensaio de abatimento de cone (Slump Test) que resultou em um slump de 80 mm, e em seguida o espalhamento do tronco (Slump Flow Test) no qual obteve-se 800 mm, conforme a Figura 03.

Figura 03: a) Ensaio de “Slump Test”; b) Ensaio de “Slump Flow Test”.



Fonte: Autor, 2017.

Foram concretadas quatro vigas simultaneamente, como mostrado na Figura 04. Assim como indicado na NBR 6118:2014 para classe de agressividade ambiental II, utilizou-se espaçadores plásticos para garantir o correto posicionamento e o cobrimento das armaduras.

Figura 04: a) Fôrmas de madeira com as armaduras; b) Vigas concretadas.



Fonte: Autor, 2017.

Na Figura 05, constam os quatro corpos de prova retirados do concreto utilizado para a confecção das vigas, referentes aos 7 e 28 dias de cura.

Figura 05: Moldagem dos corpos de prova.



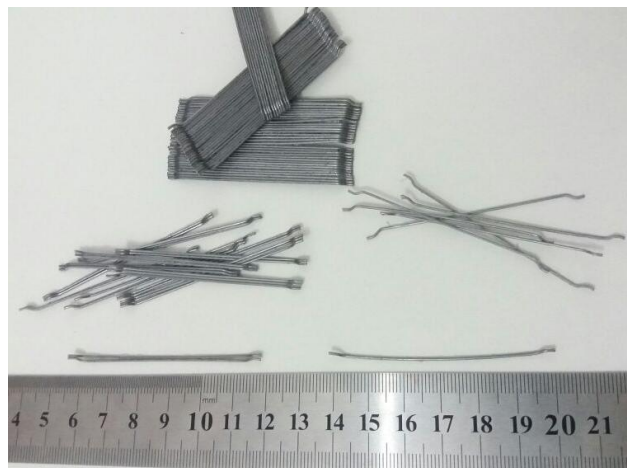
Fonte: Autor, 2017.

A macro fibra foi misturada com o concreto auto adensável, em uma betoneira intermitente de queda livre e eixo inclinado. Enquanto o concreto estava na betoneira, foi sendo jogado a macro fibra de aço manualmente dentro da betoneira. E inserida nas vigas em toda sua área de tração, que após calculada resultou em média 15,0 cm de altura. Após adicionada a mistura, as mesmas foram preenchidas até sua face superior com concreto auto adensável sem a adição das fibras.

2.1.2 MACRO FIBRA DE AÇO

De acordo com o fabricante, o teor de fibra utilizado no concreto deve ser de 30,0 kg/m³, sendo que o volume das vigas com adição de fibra, resultou em 0,09 m³. Como as macro fibras são disponibilizadas em pentes colados, foi necessário fazer a separação dos filamentos para melhor trabalhabilidade entre a macro fibra e o concreto auto adensável. Na Figura 06 pode-se verificar a fibra utilizada neste estudo.

Figura 06: Macro fibra de aço.



Fonte: Autor, 2017.

Na Tabela 01, estão descritas as características fornecidas pelo fabricante da macro fibra de aço.

Tabela 01: Tabela com as especificações da macro fibra de aço.

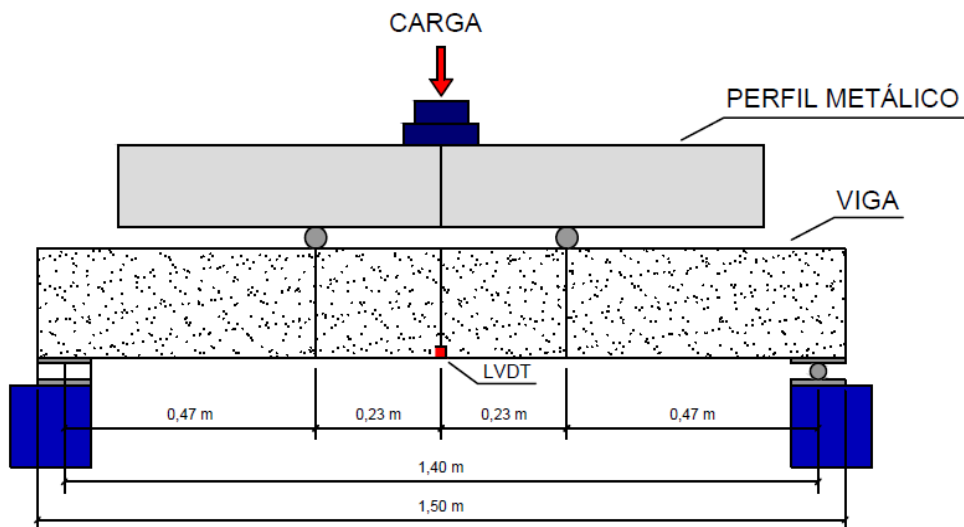
ESPECIFICAÇÕES								
Tipo	Fator de forma	Comp. (mm)	Diâmetro (mm)	Fibras/ Kg	Dosagem mínima (kg/m³)	Dosagem máxima (kg/m³)	Resistência à tração (N/mm²)	Módulo de young (N/mm²)
RC 80/60	80	60	0,75	4.600	10,0	30,0	1.225	210.000

Fonte: Autor, 2017.

2.2 MÉTODOS

Para o ensaio realizado, o equipamento utilizado consta de um pórtico metálico, composto de um cilindro hidráulico, com capacidade de 500 KN e uma célula de carga conectada na base. Para coletar os dados referentes aos deslocamentos foram utilizados para todos os ensaios dois transdutores de deslocamentos (LVDT), localizado em cada face lateral da viga. Os equipamentos foram conectados ao sistema de aquisição de dados Quantum X®, que utiliza o software Catman Easy®. O cilindro hidráulico aplicava a carga no centro de um perfil metálico de 0,3 KN, que transferia a carga para dois pontos localizados nos terços das vigas. Na Figura 07, encontra-se o detalhamento do ensaio de flexão à quatro pontos.

Figura 07: Detalhamento do ensaio de flexão à quatro pontos.



Fonte: Autor, 2017.

2.2.1 ENSAIO DE FLEXÃO À QUATRO PONTOS

As deformas das vigas ocorreram após ficarem ar livre durante 28 dias. Após a desforma foram levadas para o LEE (Laboratório Experimental de Estruturas) para a realização dos ensaios. O ensaio teve como objetivo obter a ruptura do concreto. Além disso, foram analisadas cargas obtidas no deslocamento máximo permitido por norma ($L/250$) e carga de ruptura, para que esses valores servissem de parâmetro

para análises futuras. No momento em que as vigas chegaram em seu estado de ruptura e assim por diante houve diminuição do valor de carga no equipamento, o equipamento foi desligado e o ensaio concluído, não havendo grande escoamento da armadura. A Figura 08 a seguir, mostra o ensaio mencionado.

Figura 08: a) Viga montada para o ensaio; b) Viga rompida.



Fonte: Autor, 2017.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO AXIAL DOS CORPOS DE PROVA

Os resultados obtidos indicam que aos 28 dias, o concreto atingiu a resistência esperada em todos os corpos de prova em relação a resistência inicial de 30 MPa, como indica na Tabela 02.

Tabela 02: Tabela com os resultados das resistências dos corpos de prova.

	AMOSTRA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL
7 DIAS (MPA)	CP1	29,0
	CP2	28,7
28 DIAS (MPA)	CP3	44,8
	CP4	43,2

Fonte: Autor, 2017.

3.1 RESULTADOS DO ENSAIO DE FLEXÃO À QUATRO PONTOS

Os dados foram analisados, levando em consideração o estado limite elástico, no qual nos fornece os dados até a flecha limite da viga.

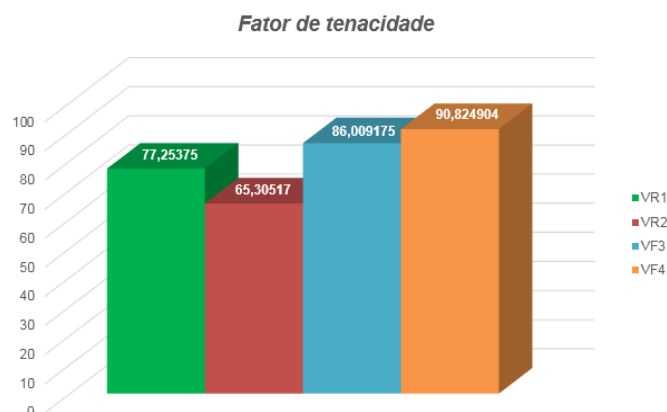
Tabela 03: Gráfico mostrando as cargas atingidas das vigas referência.

	Carga no deslocamento máximo (L/250)		Carga máxima obtida até o deslocamento máximo (L/250)	
	Deslocamento (mm)	Carga (kN)	Deslocamento (mm)	Carga (kN)
VR1	5,60	72,84	4,82	77,25
VR2	5,60	34,90	3,86	65,30
VF3	5,60	86,00	5,6	86,00
VF4	5,60	90,82	5,6	90,82

Fonte: Autor, 2017.

Observou-se no deslocamento máximo permitido pela NBR 6118:2014 (L/250) que as vigas referência (VR) suportaram em média 71,28 kN. Já as vigas com adição de macro fibra (VF) resistiram em média 88,42 kN. Devido à resistência da macro fibra de aço à tração e a capacidade deste material de absorver tais tensões, constatou-se que as vigas com adição de macro fibra suportaram 24,05% à mais que as vigas referência. Na Tabela 10, pode-se verificar a carga obtida no deslocamento máximo permitido por norma de L/250 (5,6 mm), e a carga máxima obtida até o deslocamento máximo, para os dois modelos de viga.

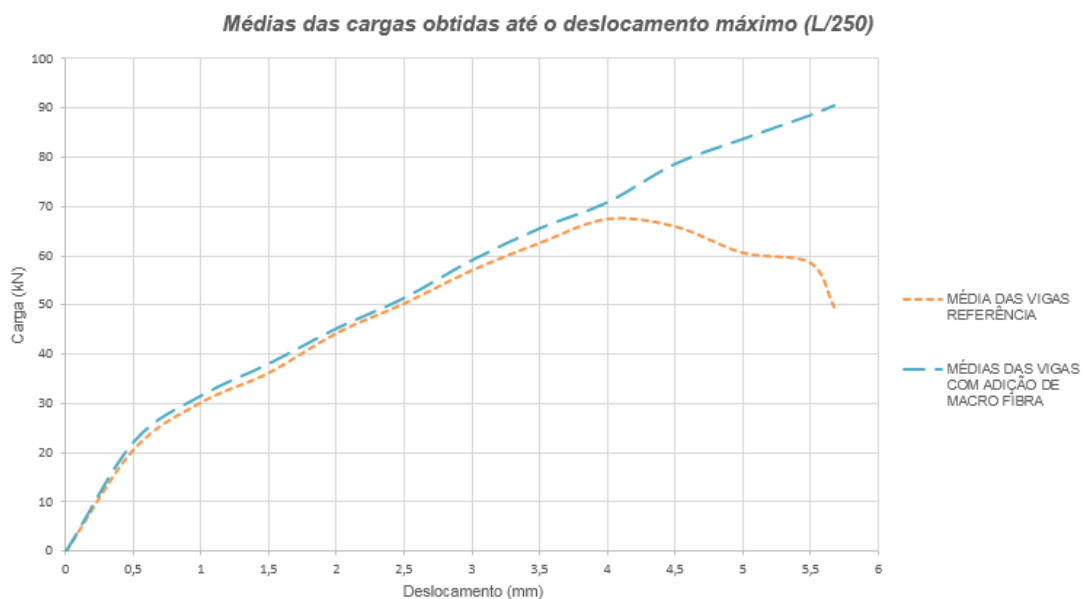
Figura 09: Gráfico mostrando as cargas máximas atingidas de todas as vigas.



Fonte: Autor, 2017.

Como pode-se verificar na Figura 09, as vigas com adição de macro fibra obtiveram um desempenho positivo, superando as cargas da flecha limite em comparação com as vigas referência, comprovando que a adição de macro fibra na área tracionada resultou em um desempenho satisfatória para suportar as tensões aplicadas.

Figura 10: Gráfico mostrando as médias das cargas máximas atingidas até o deslocamento máximo permitido por norma (L/250) de todas as vigas.



Fonte: Autor, 2017.

Na Figura 10, pode-se verificar as médias das cargas obtidas para cada modelo de viga. Nota-se que até o instante de 3,0 mm os dois modelos de viga, obtiveram um acréscimo de carga constante, após esse instante as vigas com adição de macro fibra de aço obtiveram melhor desempenho.

4. CONCLUSÕES

Ao final do estudo, pode-se concluir que:

- A adição de macro fibra na área tracionada teve uma eficiência na absorção dos esforços solicitantes até a sua ruptura, porém esta eficiência pode variar de acordo com a quantidade do teor aplicado;

- As vigas com adição de macro fibra obtiveram em média um acréscimo de 24,05% na resistência à flexão ao atingirem o deslocamento máximo permitido por norma.
- A quantidade de macro fibra adicionada nas vigas em sua área de tração apresentou-se suficiente para a absorção dos esforços solicitantes.

4.1 SUGESTÕES

- Comparação da eficiência da macro fibra de aço na área tracionada e em toda a viga, com maior número de amostras;
- Comparação da eficiência da macro fibra de aço e outros tipos de fibras, em vigas;
- Estudo da adição da macro fibra de aço em toda a viga, sem armadura de compressão e tração.
- Realizar o estudo do comportamento da macro fibra de aço em vigas de concreto armado até o escoamento do aço.
- Realizar um estudo da fissuração.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-2**: Concreto auto adensável - Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento - Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: “Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos-de-prova”. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: “Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos”. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: “Projeto de estruturas de concreto - Procedimento”. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: “Cargas para o cálculo de estruturas de edificações”. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998. 8 p.

BENTUR, A.; MINDESS, S. Fibre reinforced cementitious composites. United Kingdom. Barking, Elsevier. 1990.

FIGUEIREDO D., Antonio. Concreto com Fibras de Aço. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. 256 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

JOHNSTON, C. D. (1994) – Fibre-reinforced Cement and Concrete – Advances in Concrete Technology, 2ed. p.603-673

MEDEIROS, Arthur. **Estudo do comportamento à fadiga em compressão do concreto com fibras**. 2012. 201 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

OKAMURA, H. Self – compacting higt performance concrete. **Concrete International**,V.19, n.7, p.50-54, july 1997.