VERIFICAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS DO CONCRETO EXPOSTO AO AMBIENTE MARÍTIMO COM INSERÇÃO DE FIBRAS DE AÇO EM TEOR PRÓXIMO AO VOLUME CRÍTICO

Alessandra Vieira Migliorini[1], André Tavares da Cunha Guimarães[2], Bianca Pereira Moreira Ozório[3]

RESUMO
O estudo da durabilidade de blocos de concreto massa utilizados em molhes de proteção em ambientes marítimos possibilita a incorporação de fibras ao concreto para a obtenção de ganhos razoável na resistência à compressão e boa resistência à tração. Para um bom resultado no uso de fibras, estas devem provir de comprimento e volume adequados. O objetivo desta pesquisa é verificar se há ganho de resistência do concreto com diferentes taxas de fibras de aço. Para tal foram confeccionados corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos no teor de 30 kg/m³, 60 kg/m³ e 90 kg/m³ de concreto, além do traço de referência, submetendo os corpos de prova a ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral e tração na flexão. Conclui-se que o ganho de resistência é significativo até o V_{fc}, sendo que adições superiores não apresentam ganhos que justifiquem sua utilização.

Palavras-Chave: Fibras de aço. Concreto. Resistência. Volume crítico.

VERIFICATION OF RESISTANCE OF CONCRETE EXPOSED TO THE MARITIME ENVIRONMENT WITH INSERTION OF STEEL FIBRE CONTENT IN THE NEAR CRITICAL VOLUME

ABSTRACT
The study of the durability of concrete mass used in piers for protection in marine environments allows the incorporation of fibres to concrete to obtain reasonable gains in compressive strength and good tensile strength. For a good result in the use of fibres, they must come from adequate length and volume. The objective of this research is to verify if it has profit of resistance of the concrete with different steel staple fibre taxes. For such they had been confectioned body-cylinder specimens and prismatic in the content of 30 kg/m³, 60 kg/m³ and 90 kg/m³ of concrete, beyond the mark, by subjecting the specimens to axial compression tests, tensile compression and diametric tensile strength. We may conclude that the gain of resistance is significance to the VFC, since higher additions have no gains to justify their use.

Key Words: Steel fibre. Concrete. Resistance. Critical volume.

[1] Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica – FURG, Rio Grande, RS - alessandramigliorini@gmail.com

[2] Professor Doutor, Escola de Engenharia – FURG, Rio Grande, RS – atcg@vetorial.net

[3] Professora Mestre, Escola de Engenharia – FURG, Rio Grande, RS – bianca@net.crea-rs.org.br

1. INTRODUÇÃO

O uso da fibra na formação do concreto torna-o mais flexível, aumentando sua *ductibilidade*, ou seja, a quantidade de deformações possíveis que pode ocorrer no concreto antes do rompimento do material [11], permitindo que o concreto possa sofrer deformações inelásticas nas vizinhanças de uma possível ruptura, sem que ocorra a perda substancial de uma capacidade resistente [12].

Segundo Cánovas (1991) *apud* FIGUEIREDO [9] os principais benefícios da incorporação das fibras ao concreto são: o importante incremento da tenacidade, a ligeira melhora do comportamento à tração, o aumento da resistência à ruptura, o forte incremento da resistência ao impacto ou ao choque, a grande resistência às cargas cíclicas, a resistência elevada a variações de temperatura, o controle da fissuração e ainda o aumento na durabilidade do mesmo.

As fibras inibem a propagação de fissuras no compósito cimentício, atuando como obstáculo ao interceptarem as microfissuras. Neste caso, proporcionam um aumento na resistência do compósito e evitam o aparecimento prematuro das macrofissuras. Conferindo a estas um aumento significativo da energia associada à ruptura do material e incrementam a ductibilidade e a tenacidade do compósito. No concreto endurecido, limitam o comprimento e a abertura das fissuras, diminuindo também a permeabilidade do concreto e, melhorando assim sua durabilidade.

Analisando um concreto simples (sem fibras), uma fissura irá formar uma barreira à propagação das tensões, representada simplificadamente pelas linhas de tensões na Figura 1, que segue. O desvio dessas linhas irá implicar numa concentração nas extremidades das fissuras, podendo ocasionar a ruptura abrupta do material quando esta tensão superar a resistência da matriz, caracterizando assim, um comportamento tipicamente frágil. Devido à utilização das fibras, estas acabam servindo de ponte para a transferência de tensões pelas fissuras e, a concentração das tensões é minimizada.

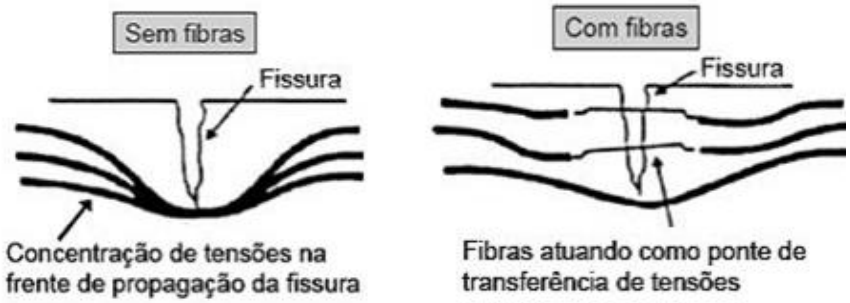

Figura 1 – Esquema de concentração de tensões [12].

Conforme visto, o maior benefício que se tem em reforçar uma matriz frágil com fibras é o de alterar o seu comportamento após a fissuração. O compósito, ao invés de romper-se após o início da fissura da matriz, pode apresentar uma deformação plástica considerável, tornando-se um material adequado para a construção. Para que isso aconteça, as fibras devem ser adicionadas em volume, comprimento e formatos adequados.

Esta pesquisa é parte de um estudo maior em nível de mestrado, que estuda a durabilidade do concreto com adição de fibras de aço para ambientes marítimos, avaliando também quanto ao ataque por íons cloretos. Tendo como base o concreto utilizado nos tetrápodes dos molhes do Canal do Rio Grande, visto que, em análise visual realizada em julho de 2007, foi encontrado um número significante de blocos quebrados. Buscou-se então a solução da incorporação de fibras ao concreto (o que possibilita a este uma razoável resistência à compressão e boa resistência à tração) ao invés de um concreto com alta resistência á compressão (o que levaria a obter razoável resistência a tração). Com este estudo, obteve-se um satisfatório resultado quanto às resistências analisadas [13].

A seguir, como foco principal deste trabalho serão apresentados aspectos gerais quanto ao volume crítico de fibras.

1.1. Volume crítico

Segundo Figueiredo [8], o volume crítico é aquele que correspondente ao teor de fibras que mantém a mesma capacidade portante para o compósito a partir da ruptura da matriz.

Conforme se pode verificar na Figura 2, em teores abaixo do volume crítico, o principal trabalho das fibras ocorre no estágio pós-fissurado, ou seja, a partir da

ruptura da matriz as fibras passam a absorver a energia transmitida ao material, impedindo que haja uma ruptura brusca da estrutura, proporcionando ainda uma capacidade de resistência residual não existente no concreto sem reforço [7].

Porém, em teores acima do volume crítico, além das propriedades pós-fissuração, o compósito continua a aceitar níveis de carregamentos crescentes mesmo após a ruptura da matriz [8].

A determinação do volume crítico está associada à modelagem proposta por Aveston *et al* (1971) e apresentada por Figueiredo [8], a qual focaliza um compósito de fibra e concreto ideal, ou seja, com fibras de aço contínuas e alinhadas à direção do esforço principal. No entanto, o método não condiz com a realidade de aplicação devido às inúmeras correções que são necessárias fazer para obter um volume crítico de fibra de aço em torno de 1% do volume total de concreto produzido. Tal disparidade se deve ao fato das fibras normalmente utilizadas serem descontínuas, ou seja, curtas e aleatoriamente distribuídas no concreto.

Na prática, teores acima do volume crítico não são muito difundidos, devido excepcionalmente aos custos e às dificuldades relativas à mistura, moldagem e aplicação do produto. Por isso, as pesquisas têm se concentrado no emprego de baixos teores para melhorar o comportamento pós-fissuração do compósito [7].

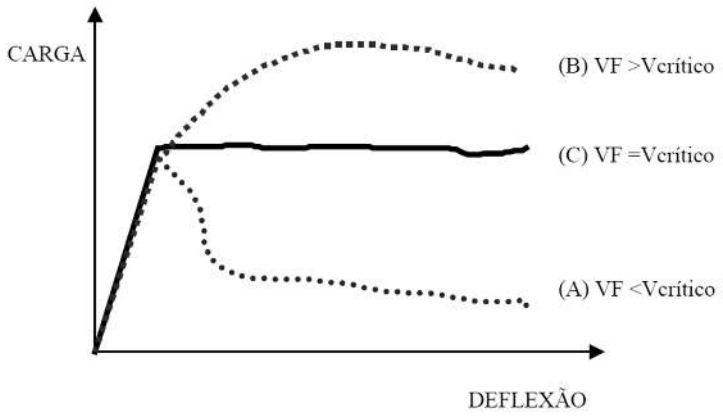

Figura 2 – Compósitos reforçados com fibras em teores abaixo (A), acima (B) e igual (C) ao volume crítico, FIGUEIREDO [8].

As curvas de carga por deflexão apresentadas acima foram retiradas de ensaios de prismas de concretos com fibras de aço, rompidos durante ensaio de tração na flexão. Para ambos os volumes, existe um trecho elástico linear inicial correspondente ao estágio pré-fissurado da matriz e outro, referente a um

escoamento, onde se pode diferenciar o comportamento do concreto reforçado com teores abaixo, acima e igual ao volume crítico.

2. PROPRIEDADES DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO

Existe uma infinidade de combinações geométricas de fibras de aço para a utilização de reforço estrutural do concreto. Porém, podem variar em: comprimento, forma da seção transversal, diâmetro, diâmetro equivalente e superfície.

O comprimento (L) da fibra é dado pela distância entre suas extremidades e pode variar de 12,7 à 63,5 mm [6], prevalecendo sob as demais características: diâmetro (D), diâmetro equivalente (D_e) e a ancoragem da mesma.

Mehta e Monteiro [10] citam que as fibras de aço redondas apresentam uma variação diametral de 0,25 a 0,75 mm e, as achatadas definem-se por uma variação na espessura de 0,15 a 0,4 mm e de 0,25 a 0,9 mm na largura.

Volumes de aplicação são apresentados pela American Concrete Institute [6]. O volume usual de fibras de aço varia de 0,25% (20 kg/m³) a 2% (157 kg/m³).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

3.1.1 Cimento

A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização e resistências do cimento portland Pozolânico CP IV-32 utilizado no desenvolvimento desta pesquisa.

Tabela 1 – Resultados da caracterização e resistências do cimento

CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO	
ENSAIOS	**RESULTADOS**
Módulo de Finura	1,20%
Pasta de Consistência Normal	32%
Tempo de início de pega	5h 31 min

Tempo de fim de pega	7h 47 min
Densidade	2,673 g/cm³
Resistência à compressão	
aos 3 dias	18,60 Mpa
aos 7 dias	27,05 Mpa
aos 28 dias	35,99 Mpa

Os valores de resistência encontrados nos ensaios atenderam aos padrões estabelecidos pela norma do cimento CP IV ABNT - NBR 5736 [1], uma vez que, a resistência mínima estabelecida deve ser de 10 MPa aos 3 dias; 20 MPa aos 7 dias; e 32 MPa aos 28 dias.

3.1.2. Areia

A areia quartzosa utilizada nesse trabalho é oriunda da cidade de Pelotas – RS e foi seca por 24 horas em estufa a 100°C para execução dos ensaios de caracterização.

Tabela 2 – Análise granulométrica da areia

PENEIRAS		Peso				
Número	Aberturas (mm)	média (g)	(%) Retido	(%) Acumulado	Ótima	Utilizável
3,8"	9,5	0,00	0,00		3 - 5	0 - 3
4	4,8	0,00	0,00	0,00	29 - 43	13 - 29
8	2,4	31,02	2,65	2,65	49 - 64	23 - 49
16	1,2	240,4	20,51	23,16	68 - 83	42 - 68
30	0,6	350,48	29,9	53,03	83 - 94	73 - 83
50	0,3	359,23	30,65	83,71	93 - 98	88 - 93
100	0,15	169,78	14,49	98,19	< 3%	< 5%
200	0,075	14,17	1,21	-	-	-
Resíduo Retido		7,03	0,60	-	-	-
Total		1172,09	100			

Desta forma, o agregado miúdo utilizado apresentou características de areia média, possuindo um módulo de finura de 2,61. A Tabela 3 apresenta os resultados da caracterização da areia utilizada.

Tabela 3 – Resultados da caracterização da areia

CARACTERIZAÇÃO DA AREIA	
ENSAIOS	**RESULTADOS**
Massa Específica Absoluta	2, 5921 g/cm³
Massa Específica Aparente	1,531 g/cm³
Impurezas	< 300 ppm

3.1.3. Brita

A Tabela 4 apresenta a análise granulométrica da brita granilítica utilizada nos ensaios.

Tabela 4 – Análise granulométrica da brita

PENEIRAS Número	Material Retido (g)	(%) Retido	(%) Acumulado
76	0	0	0
50	0	0	0
38	0	0	0
25	0	0	0
29	107,04	2,17	2,17
9,5	3579	72,41	74,58
4,8	1045,9	21,16	95,74
2,4	116,49	2,36	98,1
1,2	23,93	0,48	98,58
0,6	13,49	0,27	98,85
0,3	10,456	0,21	99,06
0,15	12,315	0,25	99,31
Resíduo	33,845	0,68	100
Total	4942,47	100	100

Desta forma, o agregado graúdo utilizado apresentou características de brita 1, possuindo um diâmetro máximo de 19 mm e, módulo de finura igual a 6,66 mm.

A Tabela 5 apresenta os resultados da caracterização da brita utilizada.

Tabela 5 – Resultados da caracterização da brita

CARACTERIZAÇÃO DA BRITA	
ENSAIOS	**RESULTADOS**
Massa Específica Absoluta	2, 66 g/cm³
Massa Específica Aparente	1,45 g/cm³

3.1.4. Fibra

A fibra metálica empregada nos ensaios é da marca FIBRA STEEL fabricada em aço trefilado, com 60 mm de comprimento, com ancoragem em forma de ganchos nas extremidades e seção circular de 0,75 mm de diâmetro. Resultando assim, num fator de forma de 80.

3.1.5. Aditivo

O aditivo plastificante utilizado é da marca RHEOTEC, especificado pelo fabricante como Tec Multi - 440 LF, utilizado na proporão 0,5 % sobre o peso do cimento em cada traço com fibras de aço.

3.1.6. Água

A água utilizada para o desenvolvimento dos experimentos contido nesse trabalho é potável, fornecida pela Companhia Riograndense de Saneamento Básico (CORSAN), utilizada no abastecimento da cidade de Rio Grande – RS.

3.2. Confecção dos concretos e moldagem dos corpos-de-prova

Com o objetivo de estudar o comportamento das propriedades mecânicas de resistência do concreto reforçado com fibra de aço, foram adicionadas diferentes quantidades de fibras de aço ao traço do concreto – definido através de pesquisas experimentais realizadas – denominadas como: REF para o concreto referência (sem fibras) e; F30, F60 e F90 para respectivamente 30, 60 e 90 kg de fibras de aço por metro cúbico de concreto, introduzidas ao traço base de 1: 2,12 : 2,88 : 0,54.

A confecção do concreto foi realizada com o auxílio de uma betoneira de queda livre, sendo que a fibra de aço foi o último componente a ser adicionado na mistura. As propriedades do concreto fresco foram obtidas através do ensaio de abatimento do tronco de cone, o "*Slump Test"* [5], e pelo ensaio da densidade absoluta [4], apresentados na Tabela 5.

Posteriormente foram moldados os corpos de prova cilíndricos e prismáticos para a realização dos ensaios destrutivos de concreto endurecido.

Tabela 6 – Características das betonadas

BETONADAS	ENSAIOS	TRAÇO (c : a : b : a/c : fibra)	ADIÇÕES		Rupturas [MPa]	"Slump" [mm]	∅ [kgf/l]
			Fibra	Aditivo			
1°	Resistência **REF**	55 : 116,05 : 158,4 : 29,7	-	-	28 e 120 dias	60	2,35
2°	Resistência **F30**	52 : 109,72 : 149,76 : 28,08 : 4,25	**30** kg/m³	260 ml	28 e 120 dias	75	2,35
3°	Resistência **F60**	50 : 105,5 : 144 : 27 : 8,17	**60** kg/m³	250 ml	28 e 120 dias	25	2,42
4°	Resistência **F90**	52 : 109,72 : 149,76 : 28,08 : 12,74	**90** kg/m³	260 ml	28 e 120 dias	0	2,45

A partir dos dados pode-se analisar que a fibra interfere na consistência do concreto, reduzindo sua trabalhabilidade, pois conforme apresentado na Tabela 6, quanto mais elevado o teor de fibra adicionado, menor é o abatimento do cone. Ao mesmo passo, conforme se analisa na Tabela 6, a variação do peso específico dos concretos foi crescente ao teor de fibra de aço adicionado na mistura.

Posteriormente, foram confeccionados 12 corpos de prova cilíndricos nas dimensões de 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura moldados em fôrmas metálicas e, 4 vigotas com seção de 15 x 15 cm e comprimento de 50 cm moldadas em fôrmas prismáticas de madeira – para cada betonada – totalizando 16 vigas e 48 corpos de prova. Em todos os moldes foi utilizado óleo lubrificante automotivo como desmoldante. O adensamento dos corpos de prova foram realizados com mesa vibratória.

Após o desmolde pode-se verificar nos provetes uma boa aparência do concreto endurecido, devido a um bom cobrimento do mesmo escondendo as fibras de aço.

3.3. Ensaios de resistência

As avaliações das propriedades de resistência do concreto reforçado com fibra de aço foram obtidas através do ensaio de compressão axial, do ensaio de tração por compressão diametral e o ensaio de tração na flexão. Como forma de analisar o desempenho de resistência optou-se pela execução dos ensaios em idades diferentes do concreto, aos 28 e aos 120 dias após a data da moldagem. Dessa forma, a partir dos resultados obtidos foi possível avaliar o desempenho de resistência do material em estudo e suas aplicações.

Cabe salientar que o ensaio de tração na flexão foi executado apenas aos 120 dias de idade.

Os ensaios foram executados no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal do Rio Grande.

Após o desmolde, os provetes foram cobertos por tecidos umedecidos por aproximadamente uma semana (período de cura). Até a data de ensaio, estes elementos permaneceram no ambiente natural do laboratório.

3.3.1. Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de compressão axial consiste em determinar a carga máxima de ruptura suportada pelo corpo de prova. No dia do ensaio, as faces de contato dos corpos de prova com os pratos da prensa foram capeadas com uma solução de pó de pedra e enxofre a fim de evitar uma resposta de carga de ruptura não condizente com a carga real.

A resistência à compressão deve ser calculada através da equação (1):

$$f_c = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D^2} \quad (1)$$

onde:

f_c *:* resistência à compressão [MPa];
F: força máxima alcançada *[N];*
D: diâmetro do corpo-de-prova [mm]

A avaliação estatística de desempenho do ensaio quanto à dispersão dos resultados foi realizada de acordo com o Anexo informativo B da *NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*, classificando-se na sua totalidade no nível de confiabilidade “Excelente”.

3.3.2. Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

O ensaio é determinado pela ação de duas forças de compressão distribuídas linearmente e diametralmente opostas. Essas ações são fornecidas por uma prensa mecânica, gerando ao longo do diâmetro solicitado, tensões de tração uniformes perpendiculares ao diâmetro do corpo de prova. As forças são aplicadas até que ocorra à ruptura do corpo de prova por tração indireta.

Anota-se que, a resistência à tração por compressão diametral é calculada segundo a norma pela equação (2):

$$f_{t,D} = \frac{2 \cdot \mathrm{F}}{\pi \cdot \mathrm{d} \cdot \mathrm{L}} \quad (2)$$

onde:

$f_{t,D}$: resistência à tração por compressão diametral, expressa em MPa;
F: carga máxima obtida no ensaio [kg];
d: diâmetro do corpo-de-prova [cm];
L: altura do corpo-de-prova [cm].

3.3.3. Ensaio de resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos

É um ensaio realizado em vigas, onde a carga aplicada é situada em dois pontos no terço médio do vão, sendo caracterizada assim de flexão a quatro pontos, apresentando na região entre os pontos de aplicação de carga uma flexão pura.

Para a realização deste ensaio, o corpo de prova é posicionado sobre o suporte metálico de aço onde o concreto é apoiado na base inferior através de dois cutelos e na parte superior é aplicada a carga na região central do prisma, exatamente na divisão dos terços. O carregamento é aplicado de forma constante e uniforme ao longo do comprimento do corpo de prova até a sua ruptura.

Para a obtenção da resistência à tração na flexão seguem-se duas expressões:
a) caso a ruptura ocorra no terço médio da distância entre os elementos de apoio (3):

$$f_{ctM} = \frac{p\ell}{bd^2} \quad (3)$$

onde:

$f_{ctM:}$ resistência da tração na flexão, em MPa;
p: carga máxima aplicada [kg];
ℓ : distância entre os cutelos de suporte [cm];
b: largura média do corpo-de-prova na seção da ruptura [cm];
d: altura média do corpo-de-prova na seção da ruptura [cm].

b) caso a ruptura ocorra fora do terço médio (4):

$$f_{ctM} = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (4)$$

onde:

a: distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo, mediante a tomada de, pelo menos, três medidas ($a \geq 0{,}283\,\ell$). Caso a ruptura ocorra além dos 5% de ℓ ($a < 0{,}283\,\ell$), o ensaio não tem validade. Conforme indicado abaixo:

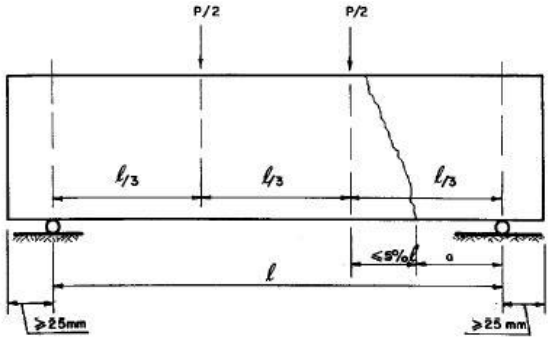

Figura 3 – Caso de ruptura fora do terço médio [3].

4. RESULTADOS

Neste tópico apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de resistência mencionados anteriormente. Estes dados permitem avaliar as propriedades de resistência do concreto reforçado com fibra de aço. São apresentados abaixo, de forma a analisar o desempenho da fibra em teor próximo ao volume crítico, o desempenho de resistência do CRFA comparados ao concreto de referência, ou seja, sem fibra.

Tem-se que o volume crítico (V_{fc}) da fibra de aço corresponde a 1% do volume de concreto produzido. Desta forma, levando em consideração que a fibra de aço possui um peso específico de 7.840 kg/m³, o volume crítico corresponde à adição de um teor de 78,4 kg de fibra de aço por metro cúbico de concreto.

Sendo assim, o valor estipulado à resistência do volume crítico foi obtido através da interpolação simples entre os valores das resistências com os teores de fibra adicionados de 60 kg/m³ e 90 kg/m³, respectivamente.

A Figura 4 ilustra os dados referentes ao ensaio de resistência à compressão axial, onde se constata que o valor da resistência aos 28 dias do volume crítico é 22,97% superior à resistência do concreto de referência (sem fibras).

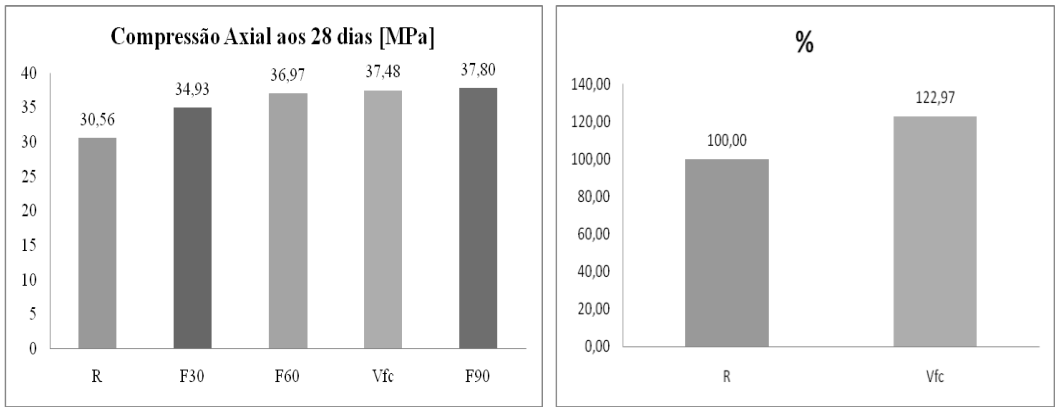

Figura 4 – Resistências referentes ao ensaio de compressão axial aos 28 dias.

A Figura 5 ilustra os dados referentes ao ensaio de resistência à compressão diametral.

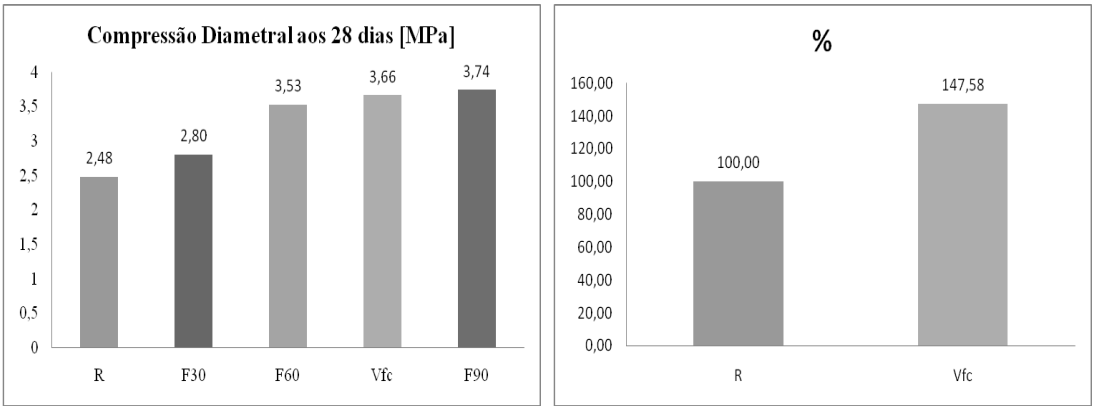

Figura 5 – Resistências referentes ao ensaio de compressão diametral aos 28 dias.

De acordo com a Figura 5 acima, se constata que o valor da resistência aos 28 dias do volume crítico é 47,58% superior à resistência do concreto de referência (sem fibras).

As resistências à compressão axial e à compressão diametral também foram verificadas aos 120 dias, além do ensaio de tração na flexão realizada nos corpos de prova prismáticos.

A Figura 6 apresenta as resistências referente ao ensaio de compressão axial realizada aos 120 dias.

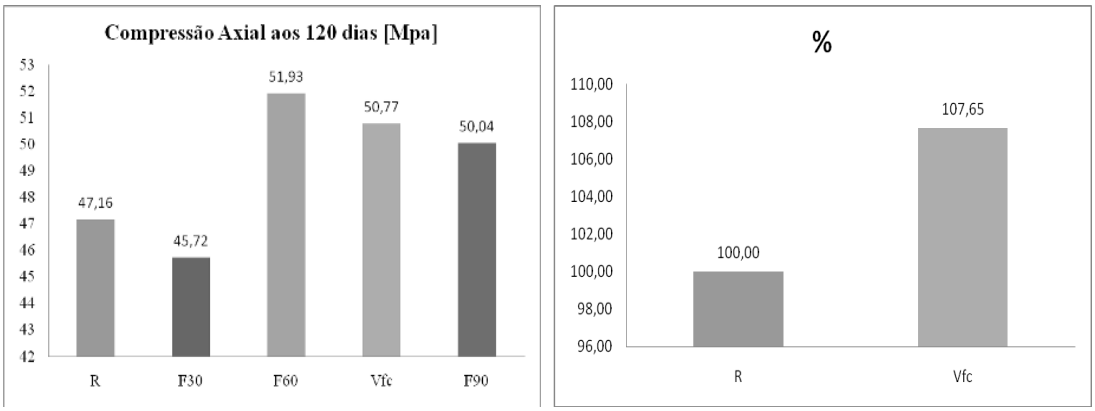

Figura 6 – Resistências referentes ao ensaio de compressão axial aos 120 dias.

Conforme apresentado na Figura 6 acima, se constata que o valor da resistência aos 120 dias do volume crítico é 7,65 % superior à resistência do concreto de referência (sem fibras).

A Figura 7 ilustra os dados referentes ao ensaio de resistência à compressão diametral, onde se constata que o valor da resistência aos 120 dias do volume crítico é 90,28% superior à resistência do concreto de referência (sem fibras).

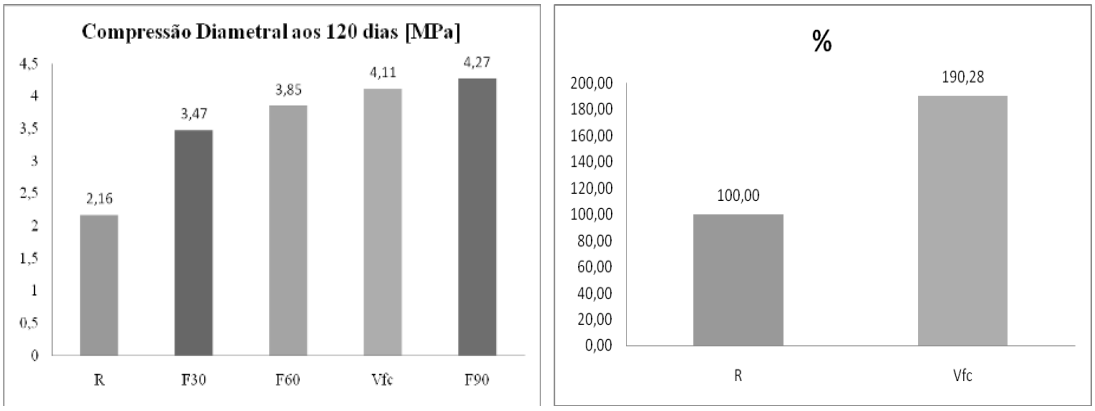

Figura 7 – Resistências referentes ao ensaio de compressão diametral aos 120 dias.

Conforme especificado anteriormente, o ensaio de tração na flexão foi realizado somente aos 120 dias, sendo apresentado as resistências obtidas na figura a seguir:

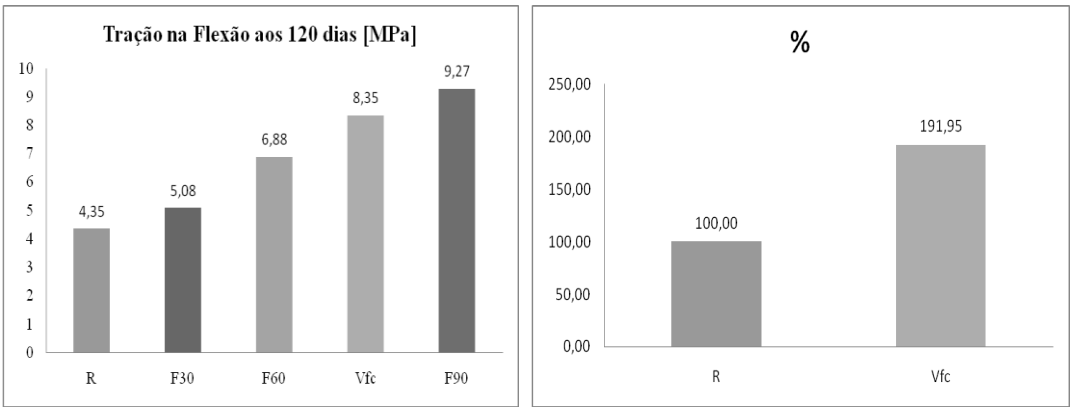

Figura 8 – Resistências referentes ao ensaio de tração na flexão aos 120 dias.

Verificando os valores obtidos pelo V_{cf} e o concreto de referência (R), pode-se verificar um acréscimo na resistência de 91,95% com a adição das fibras em volume próximo ao volume crítico.

A resistência à compressão axial é a propriedade mais comum encontrada nos concretos. A partir dela outras propriedades são baseadas. As Figuras 9 e 10 apresentam comparações no ganho das resistências, na adição de fibras segundo as idades dos ensaios realizados.

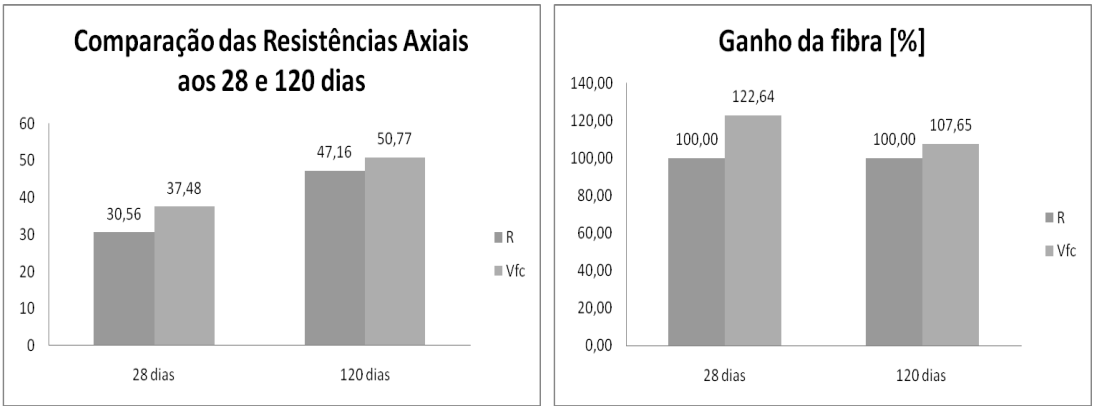

Figura 9 – Ganho de resistência segundo o teor de fibra próximo ao volume crítico.

Conforme os dados anteriormente citados, tem-se resumidamente que o volume crítico de fibras quando adicionado ao concreto incorporta um ganho de 22,64% na resistência aos 28 dias e 26, 42% aos 120 dias.

Na Figura 10 tem-se um ganho de 22,64% comparando o concreto de referência no decorrer das idades e, um ganho de 26,42% na resistência do concreto com adição de fibras aço no teor do volume crítico entre 28 e 120 dias.

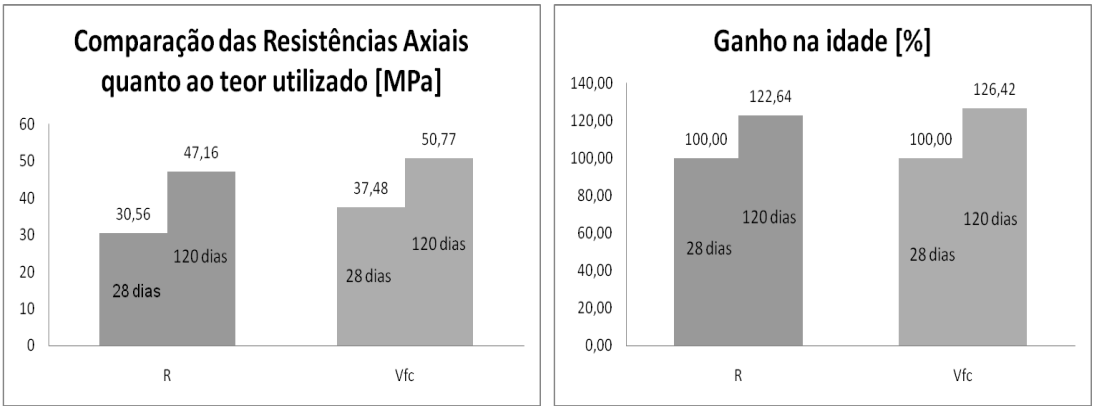

Figura 10 – Ganho de resistência nas idades de 28 e 120 dias.

4. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos nos ensaios de resistência do concreto endurecido, pode-se verificar que em todos os ensaios realizados, o concreto com adição de 60 kg/m³, ou seja, com teor próximo ao volume crítico, apresentou uma melhoria das propriedades de resistência quando comparado a um concreto convencional sem fibras de aço. As resistências não aumentaram significamente dos ensaios de 60 kg/m³ para 90 kg/m³, com exceção da resistência à flexão (Fig. 9). O aumento de 30 kg/m³ para 60 kg/m³ foi de 1,8 MPa e de 60 kg/m³ para 90 kg/m³ foi de 2,39 MPa, sendo que esta é uma resistência importante para os blocos dos molhes.

Conforme os gráficos apresentados, o ganho de resistência é significativo até o Vcrít, sendo que, até o limite desta pesquisa, as adições superiores não apresentam ganhos que justifiquem sua utilização.

O ganho de resistência na tração deve diminuir o aparecimento de fissuras quando o concreto estiver em regime de impactos (como nos blocos de carapaça de molhes), aumentando assim a durabilidade destes. Neste caso, os blocos não sofrem grandes esforços de compressão axial, e, portanto, mesmo com a diminuição desta propriedade, conforme resultados desta pesquisa, o uso de fibras é altamente viável nesta situação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5736: Cimento Portland pozolânico (Especificação). Rio de Janeiro, julho de 1991. 6 p.

2. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5739: Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. 9 p.

3. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12142 / MB 3483: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. (Procedimento). Rio de Janeiro, dezembro de 1991. 3 p.

4. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. (Procedimento). Rio de Janeiro, julho de 2003. 6 p.

5. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. (Procedimento). Rio de Janeiro, fevereiro de 1998. 8 p.

6. ACI 544.3R; AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Manual of concrete practice: Guide for specifying, proportioning, mixing, placing, and finishing steel fiber reinforced concrete. ACI Committee 544. Detroit, USA, 1993.

7. CALDAS, A., FIGUEIREDO, A. D., BITTENCOURT, T. N.; Propriedades de concreto reforçados com fibras de aço (CRFA). Anais do 5° Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto. São Paulo. Jun, 2003.

8. FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. Concreto com fibras de aço. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – PCC/USP. Boletim técnico. São Paulo, 2000.

9. FIGUEIREDO, Chenia Rocha. Estudo da retração em materiais para reparos estruturais com adição de sílica ativa e fibras. IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto. Belo Horizonte, 2002.

10. MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M.; Concreto: Estrutura, propriedades e materiais. Editora Pini Ltda. São Paulo, novembro de 1994. 573 p.

11. MILLER, Karla Peitl; Estudo da fluência em vigas de concreto reforçado com fibras de aço, com aplicação de conceitos da mecânica da fratura. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, 2008.

12. SCOARIS, M. R.; BARBOSA, M. P.; PINTO JR., N. O.; Avaliação da resistência e rigidez de concretos reforçados com fibras submetidas à cura térmica pelo método da maturidade. e-Mat - Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil. Vol. 2. N° 2. Págs: 127-141. Novembro, 2005.

13. TASCA, M., MIGLIORINI, A. V., OZÓRIO, B. P. M., GUIMARÃES, A. T. C., Estudo do comportamento da resistência do concreto com adição de fibras de aço. VI Mostra de Produção Universitária – MPU. Rio Grande, 2009.

AGRADECIMENTO

A CAPES pelo apoio financeiro.