

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA INCLUSÃO DE FIBRAS DE AÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO¹

Janone Moreira Braga

Graduando do 10º período do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.
E-mail: janonebraga@unipam.edu.br

Rangel de Abreu Moreira da Silva

Graduando do 10º período do Curso de Engenharia Civil do UNIPAM.
E-mail: rangelmoreira@unipam.edu.br

Douglas Ribeiro Oliveira

Professor do curso de Engenharia Civil do UNIPAM.
E-mail: douglasro@unipam.edu.br

Renata Oliveira Melo

Professora de Graduação do Curso de Engenharia Civil do UNIPAM.
E-mail: renataom@unipam.edu.br

RESUMO: O concreto é utilizado como material de construção civil há muitos anos, porém seu comportamento ainda precisa evoluir. Para analisar o efeito da adição de fibras de aço em vigas, realizou-se a confecção de 40 vigas de concreto armado, com variações dos teores de inclusão de fibras entre 0,00% e 2,00%. Elas foram ensaiadas e pôde-se concluir que, em se tratando de ganho de resistência, a inclusão de fibras de aço no concreto é compensativa, quando analisado o momento fletor.

PALAVRAS-CHAVE: Vigas. Fibras de aço. Concreto reforçado com fibras de aço. CRFA.

ABSTRACT: Concrete has been used as building material for several centuries, and its behavior still needs to evolve. In order to analyze the effect of the addition of steel fibers on small beams, 40 reinforced concrete beams were made, with variations of the inclusion of fibers between 0.00% and 2.00%. They were tested and it can be concluded that, in the case of resistance gain, the inclusion of steel fibers in the concrete is compensatory, when the bending moment is analyzed.

KEYWORDS: Beams. Fibers made of steel. Concrete reinforced with steel fibers. CRFA.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é utilizado pelo homem há muitos anos. No princípio era considerado apenas um mero aglomerante até que se tornou o produto mais fabricado no mundo. Ele se foi aperfeiçoado; seu desenvolvimento esteve proporcionalmente

¹ Trabalho apresentado na seção Artigos – Smarts Cities - V Congresso Mineiro de Engenharias e Arquitetura e Urbanismo, realizado de 6 a 9 de novembro de 2018.

ligado ao nível de conhecimento do homem em cada uma de suas épocas distintas, até culminar no seu uso estrutural dos dias atuais. Houve um incremento notável do conhecimento e da sua aplicação especialmente nos últimos cem anos, devido à descoberta do seu uso conjunto com o aço, formando o concreto armado e permitindo assim a execução de estruturas mais esbeltas. Dentre as vantagens inerentes a esse material, que o tornam o carro-chefe da construção civil, podem ser citados a versatilidade, a durabilidade e o desempenho, adaptando-se a praticamente todos os locais e circunstâncias e, ao mesmo tempo, proporcionando uma vida útil adequada às construções e um custo competitivo (ISAIA, 2011).

Com um posicionamento análogo ao supracitado, Silva (2017) afirma que, por ser um material de alta capacidade de adaptação e com uma grande quantidade de vantagens, o concreto tornou-se o compósito mais utilizado no Brasil. Em decorrência disso, há toda uma cadeia produtiva desenvolvida, em nível nacional, voltada ao setor, que indiretamente alimenta a economia, gerando empregos à população e capital para o país.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), mecanicamente o concreto apresenta a vantagem de ser um material bastante resistente à compressão, porém, de pouca resistência quando solicitado à tração. Esse fato pode ser explicado pelas características dos constituintes do concreto, visto que eles não apresentam propriedades que são capazes de impedir a propagação de fissuras, o que o classifica como um material frágil (GÓIS, 2010).

O conceito de reforço de material frágil, utilizando várias formas de fibras descontínuas, é conhecido desde tempos antigos. Em decorrência disso, uma possível alternativa que pode melhorar ou solucionar o referido anteriormente é a adição de fibras ao concreto, formando um concreto especial, o Concreto Reforçado com Fibras ou simplesmente CRF. Segundo Mehta e Monteiro (2014), dentre os diferentes tipos de fibras, as de aço são as mais utilizadas para aplicações estruturais. Para Migliorini *et al.*, (2012), as fibras podem atuar no concreto, aumentando a resistência mecânica e a ductilidade e controlando a fissuração gerada.

Esse trabalho teve como objetivo geral a análise da influência da adição de fibras de aço em pequenos exemplares de vigas de concreto armado, visto a inviabilidade da análise em vigas de dimensões próximas às utilizadas na construção civil. A análise teve enfoque especialmente no que se refere à resistência à tração e fissuração, pois, quando as fibras são adicionadas ao concreto, provocam modificações no seu comportamento mecânico. Sendo assim, se fez necessária uma análise para que fossem verificadas as características que a fibra confere à matriz cimentícia, variando os teores de fibras adicionadas e as armaduras presentes em cada viga, sendo que as elas foram dimensionadas para resistir a dois casos específicos: aos esforços cortantes e aos momentos fletores.

Os objetivos específicos da pesquisa foram:

- caracterizar experimentalmente os agregados (areia fina lavada e areia média lavada) e demais materiais de construção utilizados;
- dosar e aferir a resistência à compressão e à tração de um traço de concreto com inclusão de fibras de aço;

- aferir experimentalmente o comportamento à flexão de vigas confeccionadas com CRF, fabricadas e rompidas com fibras de aço em diferentes teores de incorporação.

A execução da pesquisa foi necessária em decorrência da discrepância entre resistência à tração e resistência à compressão do concreto, visto que atualmente o concreto ainda é bem mais suscetível à ruptura à tração do que na compressão; isto ocorre mesmo em estruturas que têm a inclusão de armaduras de aço em sua matriz. Portanto, o maior desafio relacionado à continuidade do desenvolvimento do concreto como material de construção é melhorar suas propriedades mecânicas, especialmente no que tange à capacidade de deformação, ductilidade, resiliência e resistência à tração.

2 DESENVOLVIMENTO

Há registros da utilização do concreto há mais de vinte séculos, sendo inicialmente utilizado como um mero aglomerante até culminar no seu uso estrutural. Durante esse período, o aperfeiçoamento e o desenvolvimento do concreto como material estrutural esteve diretamente ligado ao nível de conhecimento do homem em cada época de sua história. Houve um incremento notável do conhecimento e da sua aplicação especialmente nos últimos cem anos, devido à descoberta do seu uso conjunto com o aço, formando o concreto armado e permitindo assim a execução de estruturas mais esbeltas (ISAIA, 2011).

Atualmente, estima-se que o consumo mundial de concreto seja da ordem 19 bilhões de toneladas métricas ao ano, o que faz do concreto um dos materiais mais consumidos no mundo.

Dentre as vantagens inerentes a esse material, que o tornam o carro-chefe da construção civil, podem ser citados também sua versatilidade, durabilidade e desempenho, adaptando-se a praticamente todos os locais e circunstâncias e, ao mesmo tempo, proporcionando uma vida útil adequada às construções a um custo competitivo. Outra vantagem esta relacionada à sua constituição como material cerâmico, cuja matéria-prima existe em praticamente todos os lugares do planeta, além, ainda, da possibilidade de incorporação, na sua composição, de resíduos potencialmente poluidores do meio ambiente sem afetar seu desempenho final (ISAIA, 2011).

Concreto é um material compósito que se resume, basicamente, em um aglomerante no qual estão associados partículas ou fragmentos de agregados. (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Os componentes básicos do concreto são cimento, areia (agregado fino), brita (agregado graúdo) e água. Porém, de acordo com as características requeridas pelo concreto, podem ser adicionados, por exemplo, outros elementos, como aditivos químicos, adições minerais e fibras.

Sobre fibras, Figueiredo (2011) salienta que as fibras utilizadas em concretos são elementos descontínuos, em que o comprimento é bem maior do que a maior dimensão da seção transversal. Quando adicionadas ao concreto, essas fibras formam o Concreto Reforçado com Fibras (CRF), que pode ser considerado um compósito em que as fibras têm um papel essencial, reforçando características do mesmo. As fibras

que são destinadas ao reforço estrutural são denominadas de maneira genérica como macrofibras e podem ser de aço ou poliméricas.

Mehta e Monteiro (2014) apresentam um posicionamento semelhante ao autor supracitado: afirmam que, dentre os diferentes tipos de fibras, as de aço são as mais utilizadas para aplicações estruturais, sendo que as fibras de polipropileno (poliméricas) fibriladas e em forma de tecido também vêm sendo utilizadas.

No Brasil, a ABNT NBR 15530:2007 determina a tipologia e classificação das fibras de aço em tipos e classes, conforme, respectivamente, a configuração geométrica e o tipo de aço que as deu origem.

O material constituinte das fibras define o módulo de elasticidade e a resistência mecânica, as quais são duas propriedades muito influentes sobre a capacidade de reforço que a fibra pode proporcionar ao concreto. Somente as fibras que apresentam maior capacidade de deformação na ruptura e maior resistência à tração que a matriz de concreto são aceitas como fibras com capacidade de reforço das matrizes cimentícias (FIGUEIREDO, 2011).

A adição de fibras ao concreto é justificada pelo ganho de melhoria na resistência à fissuração, tenacidade, resistência à fadiga e ao impacto, dentre outras propriedades importantes relacionadas à engenharia.

Vale ressaltar que existem fibras fabricadas de outros materiais que apresentam resistência maior que as fibras produzidas de aço, porém atualmente elas possuem um custo inviável para aplicação em obras convencionais da Engenharia Civil, com seu uso ficando restrito a obras especiais em que se faz necessário obter o máximo desempenho. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, pode-se observar o concreto reforçado com fibras de aço (CRFA) no seu estado fresco, pronto para o lançamento e moldagem das mais diversas estruturas.

O concreto comum, quando submetido a esforços de tração, apresenta grandes dificuldades em interromper a propagação de fissuras. Isso ocorre quando a direção de crescimento das fissuras é transversal à direção principal da tensão, pois a área disponível para suporte de carga é reduzida, o que ocasiona aumento das tensões presentes nas extremidades das fissuras (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Devido ao fato de apresentar uma superfície total de ruptura menor, a energia gasta para ruptura por tração no concreto também é reduzida, o que caracteriza um comportamento mais frágil. Nesse contexto, quando há a inclusão de fibras no compósito, elas realizam um trabalho de ponte de transferência de tensão através das fissuras que aparecem no concreto. Isto gera um mecanismo de aumento de energia muito interessante, associado à ruptura do material e à restrição da propagação de fissuras (FIGUEIREDO, 2011).

As fibras possuem um papel muito importante na definição do custo do concreto. Figueiredo (2011) define que um consumo regular na ordem de 40 kg/m³ ou 0,5% da fração volumétrica praticamente dobrará o custo unitário por metro cúbico. Mehta e Monteiro (2014) realizam uma indicação genérica na ordem de 80 kg/m³ a 160 kg/m³ equivalentes, respectivamente, a 1% e 2% da fração volumétrica, porém, em se tratando de viabilidade, tais faixas de consumo são economicamente inviáveis.

A caracterização das fibras de aço é realizada com embasamento nas especificações da ABNT NBR 15530:2007, em que as fibras são classificadas quanto à

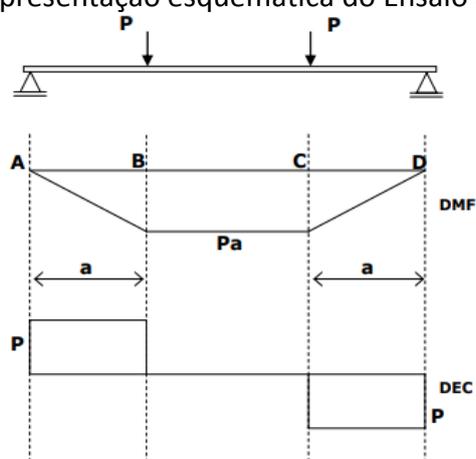
tipologia, baseadas na sua conformação geométrica, podendo ser do Tipo A, que é uma fibra com ancoragem nas extremidades, Tipo C, que é uma fibra corrugada, e Tipo R, que é uma fibra de aço reta. Quando saem da indústria, elas também são classificadas quanto ao tipo de material (aço) de que foram fabricadas, podendo ser de um arame trefilado a frio (Classe I), chapa laminada cortada a frio (Classe II) ou oriunda de arame trefilado e escarificado (Classe III). Além disso, a norma também dita as tolerâncias máximas quanto à geometria e à resistência das fibras.

Sobre vigas, a ABNT NBR 6118:2014 define que são “Elementos lineares em que a flexão é preponderante”, sendo que elementos lineares “são aqueles em que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal [...]”.

Para o dimensionamento de uma viga de concreto armado, são realizados cálculos, de acordo com a referência normativa supracitada, para determinação da armadura longitudinal e armaduras transversais que serão utilizadas para combater, respectivamente os momentos fletores e esforços cortantes. Um dos ensaios mais empregados nas verificações de resistência é o Ensaio de Stuttgart.

Os “Ensaio de Stuttgart” realizados na Alemanha, no início do século passado, são um marco histórico para o desenvolvimento do estudo teórico do Concreto Armado. O ensaio consiste no carregamento gradativo de uma viga retangular biapoiada, com duas cargas simétricas concentradas.

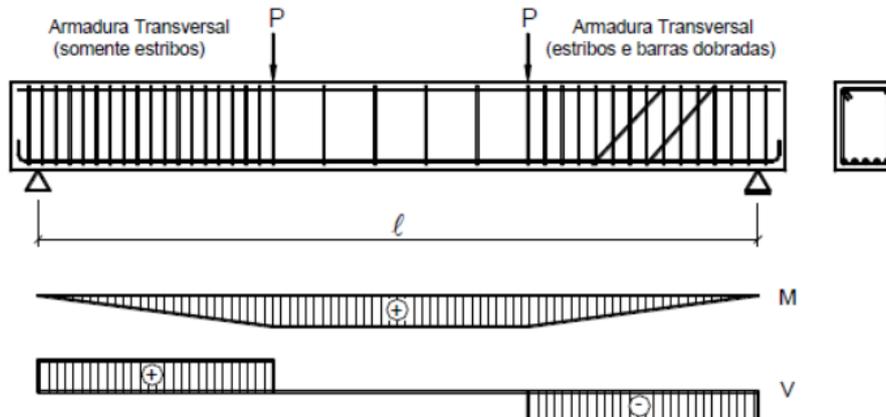
Figura 1 – Representação esquemática do Ensaio de Stuttgart



Fonte: Rocha *et al.*, 2004.

Na Figura 2, está representada uma viga biapoiada de concreto armado, recebendo duas cargas concentradas “P” de igual intensidade, na maioria dos casos sua armadura será composta pela armadura longitudinal, que tem a função de resistir a esforços de tração provenientes da flexão, e pela armadura transversal, dimensionada para superar os esforços cortantes. Essa última pode ser constituída por estribos verticais representados pelo lado esquerdo da viga ou por estribos e barras dobradas representados no lado direito da viga (BASTOS, 2015).

Figura 2 – Viga biapoiada com cargas simétricas concentradas, diagramas de momento fletor e esforço cortante



Fonte: Bastos, 2015.

As etapas de estudo foram divididas com o objetivo de aferir e avaliar, respectivamente, o melhor teor de fibras a ser usado e qual a influência desses teores na resistência mecânica do compósito nos dois casos: vigas armadas para resistir aos esforços cortantes e vigas armadas para resistir aos momentos fletores.

Foram moldadas vinte vigas para cada um dos tipos de armadura (esforços cortantes e momento fletor); elas foram confeccionadas variando-se os teores de incorporação das fibras metálicas, sendo os teores, respectivamente, 0,0% (Referência), 0,5%, 1% e 2%, ou seja, cinco exemplares de cada teor de incorporação, totalizando um total de 40 vigas.

As dimensões das vigas confeccionadas foram de 7,5 cm de largura, 12 cm de altura e 90 cm de comprimento. A justificativa para tais dimensões se deu por serem valores preestabelecidos pelo Laboratório de Tecnologia dos Materiais de Construção do UNIPAM, visto que esse é o tamanho padrão que as vigas devem possuir, para que possam ser rompidas na Prensa EMIC® DL 20000, e também pelo fato de que o referido laboratório disponibiliza formas para as vigas prontas para o uso, no tamanho preestabelecido.

No dimensionamento das armaduras, foram adotadas duas tipologias: vigas armadas longitudinalmente, sem a presença de estribos (com a finalidade de se analisar a influência das fibras de aço no esforço cortante) e vigas armadas transversalmente, sem a presença de armaduras longitudinais (com a finalidade de se analisar a influência das fibras de aço no momento fletor). Sendo assim, baseando-se em trabalhos anteriores, foram definidas, respectivamente, as seguintes armaduras para analisar os esforços cortantes e momentos fletores:

- 2 barras longitudinais com $\varnothing 10,00$ mm (sem estribos);
- estribos com $\varnothing 4,20$ mm espaçados a cada aproximadamente 7,00 cm (com a presença apenas de uma armadura porta estribos, feita de arame recozido trançado).

Os cálculos das armaduras das vigas foram realizados em concordância com a ABNT NBR 6118:2014, levando em consideração tanto a flexão quanto o cisalhamento, respeitando as recomendações da norma supracitada, com a finalidade de se

comparar os valores obtidos por meio de ensaios com os valores esperados por meio da realização dos cálculos. Os quadros a seguir representam os cálculos executados.

Quadro 1 – Dimensionamento esforço cortante

1 - Verificação das bielas à compressão (sem coeficiente de segurança)		
Fórmulas	Valor das variáveis	Resultado
$VRd2 = 0,27 \cdot \alpha v2 \cdot fcd \cdot bw \cdot d$	$fcd = fck = 39,8 \text{ MPa}$	$VRd2 = 40,6 \text{ KN}$
	$bw = 7,5 \text{ cm}$	
	$d = 6,0 \text{ cm}$	
	$\alpha v2 = 1 - (fck/250)$	
2 - Cálculo do Vsw (parcela de força cortante absorvida pela armadura transversal)		
Fórmulas	Valor das variáveis	Resultado
$Asw = 2,55 \cdot (Vsd/6) - (0,25 \cdot bw)$	$Asw = 4 \text{ cm}^2/\text{m}$ $bw = 7,5 \text{ cm}$	$Vsw = Vsd = 13,82 \text{ KN}$
3 - Cálculo do Vc (parcela de força cortante absorvida por mecanismos complementares ao da treliça)		
Fórmulas	Valor das variáveis	Resultado
$Vc = 0,6 \cdot fctd \cdot bw \cdot d$	$fctd = (0,3 \cdot 0,7 \cdot fck^{0,67})/10 = 0,245 \text{ KN/cm}^2$	$Vc = 6,61 \text{ KN}$
	$bw = 7,5 \text{ cm}$	
	$d = 6,0 \text{ cm}$	
4 - Cálculo da força cortante resistente de cálculo (relativa à ruína por tração diagonal)		
Fórmulas	Valor das variáveis	Resultado
$VRd3 = Vc + Vsw$	$Vc = 6,61 \text{ KN}$ $Vsw = 13,82 \text{ KN}$	$VRd3 = 20,43 \text{ KN}$

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Quadro 2 – Dimensionamento momento fletor

Fórmulas	Valor das variáveis	Resultado
$Rcc = Fyd \cdot As = 0,85 fcd \cdot 0,8 x \cdot bw$	$Fyd = 50 \text{ KN/cm}^2$	$x = 3,87 \text{ cm}$
	$Fcd = 3,98 \text{ KN/cm}^2$	
	$As = 1,57 \text{ cm}^2$	
	$bw = 7,5 \text{ cm}$	
$M = As \cdot fyd \cdot (d - 0,4x)$	$d = 6,0 \text{ cm}$	$Mr = 349,5 \text{ KN} \cdot \text{cm}$
	$Fyd = 50 \text{ KN/cm}^2$	
	$As = 1,57 \text{ cm}^2$	

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Foram moldados e ensaiados corpos de prova para a realização do ensaio de compressão axial, em três corpos de prova de cada teor de adição de fibras de aço. A média da resistência mecânica do concreto (fck) de cada teor de adição, aferidos

através dos ensaios de compressão, está disposta no Quadro 3 – Resultados ensaio de compressão

Quadro 3 – Resultados ensaio de compressão

	Teor de Fibras (%)			
	0,0	0,5	1,0	2,0
Resistencia (MPa)	43,3	55,0	40,2	40,3
	39,9	49,2	47,8	37,4
	36,2	51,0	45,2	39,5
Média	39,8	51,7	44,4	39,1

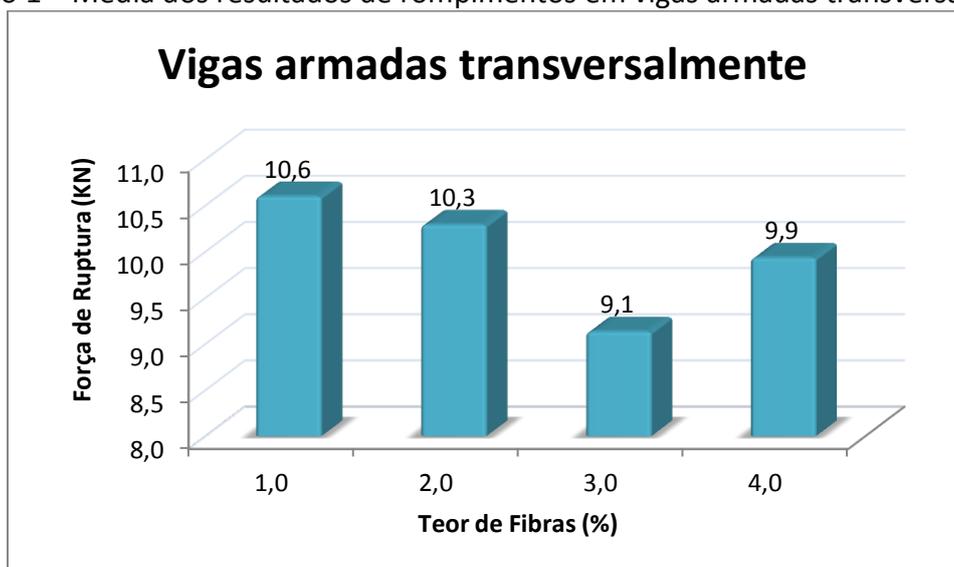
Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Analisando os dados do Quadro 3, com base nos valores de referência (0,0% de adição de fibras), observa-se que o teor de adição em que se obtiveram os melhores resultados foi o de 0,5%, já que houve um ganho de resistência de aproximadamente 30%. No teor de 1,0%, também houve um acréscimo de resistência, ligeiramente menor ao anterior, de aproximadamente 12%. Já no teor de 2,0% de adição, houve uma pequena diminuição na resistência, porém ela não chegou a ser significativa.

Durante os ensaios à flexão realizados nas vigas, foram analisadas as cargas suportadas e o possível mecanismo de ruptura ocorrido. Posteriormente, foi realizado um comparativo com os valores calculados inicialmente. Como as armaduras das vigas possuíam duas tipologias (armadas longitudinalmente e transversalmente), foram assim separadas em dois grupos de 20 exemplares, com cada grupo se subdividindo em 4 grupos de 5 unidades; esses subgrupos foram determinados pela porcentagem de adição de fibras que cada qual possuía.

Podem-se observar os resultados para os rompimentos das vigas no gráfico a seguir.

Gráfico 1 – Média dos resultados de rompimentos em vigas armadas transversalmente



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Analisando o Gráfico 1, observou-se que as adições de fibras de aço não surtiram nenhum ganho ou perda de resistência significativa. De acordo com os valores médios de resistência das vigas, eles chegaram a ter uma pequena decaída, porém isso pode ter sido resultado de alterações mínimas em alguns fatores, como adensamento do concreto, alterações na umidade dos agregados, cura do concreto, etc.

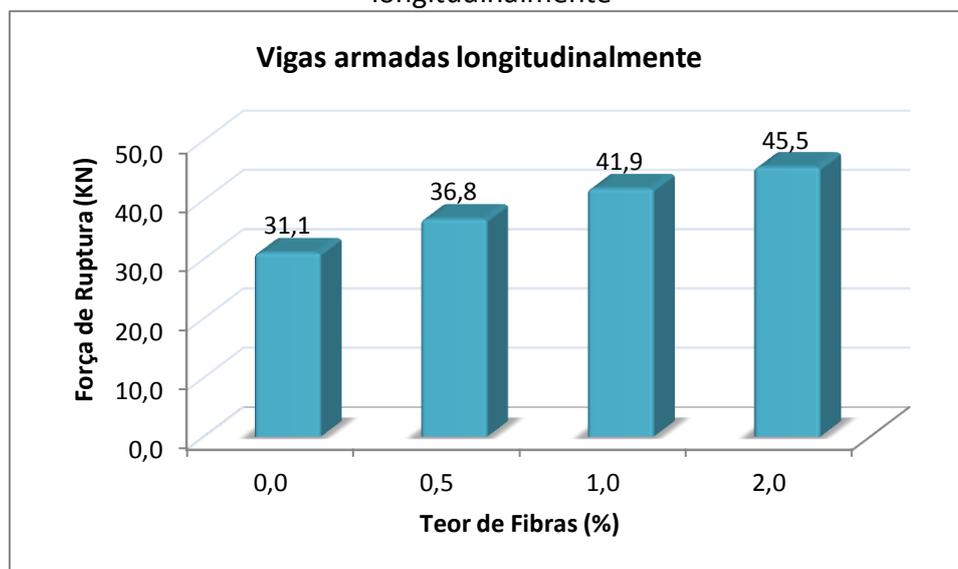
Os resultados podem ser explicados de acordo com o defende Cavallin Neto e Frederico (2016): esse modelo de armadura é mais densamente armado do que o modelo com armadura longitudinal, a adição de fibras pode ter causado falta de trabalhabilidade no compósito, dificultando o seu adensamento e, com isso, aumentando o índice de vazios em seu interior.

Já para as vigas armadas longitudinalmente, quanto à tipologia das fissurações ocorridas nas vigas, foi constatado que, nos exemplares com 0,0% e 0,5% de inclusão fibras, as vigas chegaram à ruptura em sentido diagonal pouco antes dos apoios, com as respectivas cargas médias: 31,1KN e 36,8KN. Considerando os mecanismos de rupturas, possivelmente os exemplares chegaram a sua carga última por meio da ruína por tração diagonal, caracterizada pela insuficiência de armadura transversal destinada a absorver as tensões devidas ao cisalhamento.

Já nos exemplares com 1,0% e 2,0% de inclusão de fibras, a ruptura ocorreu em sentido diagonal aos pontos de apoio, com as cargas médias de 41,9KN e 45,6KN, respectivamente. Ambas as cargas mencionadas anteriormente ultrapassaram o valor limite definindo pela $VRd2 = 40,6KN$ (força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto); considerando o exposto acima possivelmente os exemplares chegaram à ruptura pelo esmagamento das bielas comprimidas, visto que a armadura longitudinal resistiu aos esforços ao momento fletor, e esse mecanismo de ruptura ocorre quando a armadura transversal da viga é suficiente e a largura da viga é pequena para resistir aos esforços de compressão gerados pela força cortante.

No Gráfico 2, podem ser observados os resultados com o rompimento das vigas armadas longitudinalmente.

Gráfico 2 – Média dos resultados de rompimentos em vigas armadas longitudinalmente



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Como se pode observar no Gráfico 2, considerando como referência as vigas sem nenhuma adição de fibras, quanto maior a porcentagem de adição, maior foi a força necessária para a ruptura da viga. O melhor resultado foi alcançado na adição de 2,0% de fibras, sendo que o ganho de resistência relativo às vigas de referência foi de aproximadamente 46%. O ganho de resistência supracitado era esperado, pois a inclusão de fibras confere maior ductilidade aos exemplares, atuando como pontes de tensões nos locais fissurados, diminuindo assim a concentração de tensões nas extremidades das fissuras e possibilitando que, com isso, o concreto apresente certa capacidade resistente após a fissuração. Ou seja, as fibras quando incluídas no concreto mitigam a propagação e ampliação de fissuras, fazendo com que ele apresente um comportamento pseudodúctil, conferindo uma maior resistência a ele.

3 CONCLUSÕES

Embasado nos ensaios executados e nos resultados expostos, pode-se afirmar que os objetivos deste trabalho foram alcançados. Verificou-se, na prática, qual a influência da adição de fibras de aço no concreto em vigas armadas, analisando como se comportou o CRFA diante dos dois dos principais esforços aos quais as vigas geralmente estão expostas: esforço cortante e momento fletor.

Os corpos de prova rompidos para aferir a resistência do concreto confeccionado apresentaram resistência média de 39,8; 51,7; 44,4 e 39,1 MPa, para os concretos com 0,0; 0,5; 1,0 e 2,0 % de fibras, respectivamente. Pôde-se verificar que houve um ganho significativo com o teor de 0,5%, porém, nos teores posteriores, houve declínio de resistência, isso pode ter sido ocasionado pelo fato de que a trabalhabilidade tem influência na resistência final do compósito e de que, durante a confecção dos corpos de prova, constatamos que quanto maior foi o teor de fibras acrescentado, menor foi a trabalhabilidade. Considerando os resultados ainda, pode-se

concluir que o teor de 0,5% foi o que apresentou maior resistência à compressão axial, sendo que ele pode ser considerado o teor ideal, dentre os analisados, para utilização como reforço em estruturas solicitadas à compressão.

Nas vigas confeccionadas com armadura transversal, observou-se que apresentaram como tendência à ruptura no centroide das vigas, mais precisamente na região de flexão pura e momento fletor máximo. Os resultados obtidos foram contraditórios aos esperados, sendo que houve uma pequena perda de resistência quando comparamos os exemplares sem adição de fibras com os demais, porém a referida perda não chegou a ser significativa. Com isso, considerou-se que a inclusão de fibras de aço não surtiu nenhuma influência significativa nas vigas armadas transversalmente, projetadas para romper devido aos momentos fletores. Constatou-se, porém, que, proporcionalmente à inclusão de fibras de aço, a estrutura da viga abandonava o comportamento de ruptura frágil, pois elas impediram o descolamento de fragmentos de concreto da estrutura.

Os exemplares confeccionados com armadura longitudinal, projetados para romper devido aos esforços cortantes, apresentaram resultados satisfatórios, sendo que, em todos os teores de adição de fibras, foram obtidos ganhos consideráveis de resistência. Proporcionalmente, quanto maior a inclusão de fibras de aço, maior o ganho de resistência obtido. O melhor resultado foi alcançado na adição de 2,0% de fibras, sendo que o ganho de resistência relativo às vigas de referência foi de aproximadamente 46%. Nos demais casos, também obtivemos ganhos consideráveis.

Porém, considerando o conceito de trabalhabilidade, tal teor citado anteriormente é inviável, pois a trabalhabilidade do mesmo foi bastante inferior aos demais, visto que foi bastante difícil realizar o adensamento do concreto. Em se tratando de estruturas densamente armadas, tal teor fica praticamente impossível de ser executado, considerando-se concretos convencionais.

Portando, concluiu-se que, em se tratando de ganho de resistência, a inclusão de fibras de aço no concreto, visando ao reforço estrutural, é compensativa nos casos em que as vigas forem solicitadas ao esforço cortante e aos esforços de compressão.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26**: agregados: amostragem. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

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 7211**: agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: aditivos químicos para concreto de cimento Portland: requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15530**: fibras de aço para concreto: especificações. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1**: água para o amassamento do concreto. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

BASTOS, P. S. dos S. **Flexão normal simples**: vigas. 2015. Universidade Estadual Paulista – UNESP, São Paulo, 2015.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 4. ed. São Carlos: Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2014.

CAVALLINI NETO, Gilton; FREDERICO, Menezes Coelho. A importância do concreto adensamento do concreto e seu impacto na resistência final da peça. **Projectus**. v. 1, n.4, p. 17 - 30, Rio de Janeiro, 2016.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto com fibras de aço**. São Paulo: EPUSP, 2000. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/260), 2000.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto reforçado com fibras**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-18052012-112833/publico//TeseLivreDocenciaAntonioFigueiredo2011.pdf>. Acesso em: 16 maio 2018.

FREITAS JUNIOR, J. A. **Aços para concreto**. Paraná: Departamento de Engenharia Civil,

2007.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GÓIS, F. A. P. **Avaliação experimental do comportamento de concreto fluído reforçado com fibras de aço**: Influência do fator de forma e da fração volumétrica das fibras nas propriedades mecânicas do concreto. 2010. 156p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010. Disponível em: <http://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgrec/dissertacoes_arquivos/Dissertacoes/Disserta%C3%A7%C3%A3o_PPGEC_FERNANDA%20GOIS_2010.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2018.

ISAIA, C. G. **Concreto**: ciência e tecnologia. São Paulo, Ibracon, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.. Evolução em tecnologia do concreto. **Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed., cap. 12, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), São Paulo, 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Ibracon, 2014.

MIGLIORINI, A. V.; GUIMARÃES, A.T. C.; OZÓRIO, B.P.M. Fibras de aço em blocos de concreto: estudo para utilização em ambiente marítimo. **Revista Matéria**, v. 17, n. 2, pp. 997-1008, Rio Grande, 2012.

PORTAL, do concreto. **Cimento Portland**. Disponível em: <http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/caementu.html>. Acesso em: 02 set. 2018.

ROCHA, A. C. *et al.* **Ensaio de Stuttgart**: reprodução em laboratório. *In*: Universidade Católica de Goiás. Goiás, 2004. Disponível em: [http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/3922/material/Ensaio%20de%20Stuttgart_artigo_ibracon_2004\(6\).pd](http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/3922/material/Ensaio%20de%20Stuttgart_artigo_ibracon_2004(6).pd)>. Acesso em 03 out. 2018.

SILVA, Mateus Felipe da; KARDEC, Thaís Isabela Simão. **Dosagem experimental de concreto de pós-reativos através de diferentes métodos por empacotamento de partículas**. 2017. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Patos de Minas, Patos de Minas, 2017.