Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

INFLUÊNCIA DAS FIBRAS DE AÇO NA ADERÊNCIA DE BARRAS DE AÇO RETILÍNEAS E CONCRETO AUTOADENSÁVEL

INFLUENCE OF STEEL FIBERS IN THE BOND OF STRAIGHT STEEL BARS AND SELF-COMPACTING CONCRETE

Leane Faria da Silva [1]
Carlos Umberto Alves Campos Junior [2]
Artur Lenz Sartorti[3]
Lucas da Silva Barboza [4]

Resumo: A aderência é uma característica fundamental das estruturas de concreto armado, pois permite a compatibilização de esforções entre barras de aço e concreto. Quanto melhor a aderência entre esses materiais, menores serão as aberturas das fissuras e mais protegida estará a armadura. Assim, esta pesquisa busca avaliar a influência das fibras de aço na aderência entre aço-concreto por meio do ensaio de arrancamento. Foram ensaiados 57 corpos de prova, sendo 15 para compressão axial, 15 para módulo de elasticidade dinâmico e tração por compressão diametral e 27 para arrancamento de barras (*Pull out Test*). As variáveis analisadas foram o diâmetro da barra (10 mm, 12,5 mm e 16 mm) e o volume de fibras incorporado ao concreto (0,5% e 1%). No que diz respeito a mudança dos diâmetros das barras, verificou-se pouca influência no aumento da aderência, sendo que as barras com menor diâmetro apresentaram maiores tensões de aderência, devido a maior densidade das nervuras por comprimento linear. Quanto ao volume de fibras de aço, verificou-se que as fibras exercem pequena influência na tensão de aderência, sendo que para adição de 0,5% houve um pequeno aumento e para 1% houve redução na tensão de aderência entre a barra e o concreto. Todavia, quando a ruptura da aderência acontece pelo fendilhamento, a influência das fibras tem maior significância no aumento da tensão de aderência.
Palavras-chaves: Aderência, Fibras de aço, Pull out Test, Barras de aço, Concreto autoadensável.

Abstract:. *Adherence is a key element of reinforced concrete structures as it enables compatibility between steel bars and concrete. The better the adhesion between these materials, the smaller the crack openings and the more protected the reinforcement will be. Thus, this research seeks to evaluate the influence of steel fibers on the adhesion between steel-concrete through the organization test. Fifty-seven specimens were tested, 15 for axial compression, 15 for dynamic modulus of elasticity and diametral compression pressure and 27 for pullout test. The variables analyzed were the bar diameter (10 mm, 12.5 mm and 16 mm) and the volume of fibers incorporated in the concrete (0.5% and 1%). Regarding the change in the diameter of the bars, there was little influence on the increase of adhesion, and the bars with smaller diameter presented the highest adhesion stresses, due to the higher density of ribs by linear length. As for the volume of steel fibers, it was verified how the fibers exert a small influence of the bonding stress, and for the addition of 0.5% there was a small increase and for 1% there was a reduction of the bonding tension between the bar and the concrete. However, when an adhesion rupture occurs by cracking, an influence of the fibers has greater significance in increasing the adhesion stress.*
Keywords: *Bond, Steel Fibers, Pull out Test, Steel Bars, Self-Adhesive Concrete.*

UNASP – Centro Universitário Adventista de São Paulo, Campus Engenheiro Coelho – Brasil, email : leane_faria@hotmail.com [1]*; carlosumbertojr@gmail.com* [2]*; artur.sartorti@unasp.edu.br*[3]*; lucas.barboza@ucb.org.br* [4].

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

1 INTRODUÇÃO

No decorrer da história, o homem tem estudado várias concepções estruturais, sempre segundo a cultura, os padrões arquitetônicos atuais, os aspectos financeiros, as restrições técnicas presentes. Distintos são os materiais e inúmeras são as associações entre eles, sendo a combinação entre o aço e o concreto com a finalidade de produzir peças estruturais resistentes aos diversos tipos de esforços, demonstrou ser o resultado mais viável, tanto pelo aspecto técnico e econômico bem como pela disponibilidade dos materiais (SILVA, 2006).

Segundo Almeida Filho (2006), o que define o concreto armado é a existência da ligação entre o aço e o concreto, definida como aderência. Há duas formas principais de ruptura da aderência: o fendilhamento do concreto e o arrancamento da barra. A ruptura por fendilhamento acontece quando o concreto que contorna a barra de aço sofre a abertura de pequenas fendas devido às tensões radiais de tração. Já a ruptura por arrancamento da barra de aço, sucede quando a resistência por aderência é menor que a tensão de cisalhamento (GARCIA-TAENGUA; MARTI-VARGAS; SERNA, 2016).

Almeida Filho (2006) citou que em ensaios de arrancamento, além das duas formas de ruptura da aderência citadas, é possível que o aço escoe antes que o limite de aderência seja atingido, decorrente da aderência entre os materiais exceder o limite de escoamento do aço.

O concreto reforçado com fibras de aço é um material vastamente utilizado na construção civil. Quando adicionadas à matriz cimentícia, as fibras de aço reforçam o concreto aumentando a sua resistência à fissuração (BENTUR; MINDESS, 1990). É possível afirmar que sua função é agir como uma ponte que conduz as tensões pelas fissuras, aumentando a ductilidade do concreto. As fibras expandem a capacidade de absorção de tensões dos elementos estruturais de concreto, aperfeiçoando nitidamente a resistência à flexão, ao impacto e à tração (MOHAMMADI; SINGH; KAUSHIK, 2008).

Como o Concreto Autoadensável (CAA) é um material altamente fluido, sua coesão permite que seja possível a concretagem sem que haja segregação dos agregados, com capacidade de preencher todos os vazios nas fôrmas e envolver todas as barras de aço (SHINDOH; MATSUOKA, 2003). A adição de fibras de aço no concreto autoadensável sucede num material de alta performance, designado por Concreto Autoadensável Reforçado com Fibras de Aço (CAARFA) (BARROS et al., 2006). Este concreto dispensa qualquer tipo de vibração pois possui as características de autoadensabilidade do CAA e as propriedades mecânicas dos concretos reforçados com fibra de aço (SHAH; FERRARA, 2008).

A adição de fibras em concretos estabelece um sistema de reforço que assegura elevada ductilidade à matriz cimentícia, sendo essa ductilidade uma das principais características de um concreto reforçado com fibras de aço (BARROS et al., 2006).

Outro fator relevante da adição das fibras no concreto é a sua influência na aderência aço-concreto. Segundo Cairns e Plizzari (2004), as fibras proporcionam melhoria na aderência entre o concreto e o aço mesmo se adicionadas em pequena quantidade. Quando comparado ao concreto armado, a adição de fibras aumenta a aderência das barras ancoradas em concreto reforçado com fibras de aço, pois preserva a ligação entre a armadura e o concreto, por conta do controle da abertura de fissuras (VLIET, 2001).

Geralmente, a tensão de aderência é definida pelo ensaio de arrancamento direto (Pull-out test), que é um ensaio prático de fácil execução, normalizado pela RILEM/CEB/FIP RC6 (CEB, 1973) e recomendado pela ASTM C234 (1991). O ensaio consiste no arrancamento de uma barra envolvida em concreto com um comprimento de ancoragem estipulado, no qual mede o deslocamento da barra de aço em relação ao concreto (BARBOZA, 2018).

Assim sendo, há diversas pesquisas que abordam a influência da adição de fibras de aço na aderência do aço-concreto. Em comum, elas concluem que a adição de fibras de aço aumenta

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

a aderência entre o concreto e a armadura. Entretanto, observam que as fibras contribuem de modo mais significante em concretos com resistência mais elevada (65 MPa) e barras de maior diâmetro (20 mm) (DANCYGIER; KATZ; WEXLER, 2010).

Neste contexto, o trabalho objetiva analisar a adição de fibras de aço no concreto, a fim de verificar sua influência na resistência da aderência entre barras de aço e o concreto.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão descritos os materiais utilizados na pesquisa, bem como a dosagem dos concretos e a investigação experimental para obtenção dos resultados do estudo da aderência aço-concreto.

2.1 Materiais utilizados na mistura

Os ensaios experimentais da pesquisa foram realizados empregando-se concreto de resistência mínima de 50 MPa, extremamente convencional em estruturas de concreto armado. Para a fabricação deste concreto, foram utilizados materiais facilmente encontrados na região de Engenheiro Coelho – SP, local do desenvolvimento da pesquisa.

O agregado graúdo utilizado é de origem basáltica fracionada e britada com dimensão máxima característica de 9,5 mm e módulo de finura de 2,66, de acordo com a ABNT NBR NM 248:2003. Por meio dos ensaios de caracterização, foi determinado a massa específica seca do agregado igual a 2,06 g/cm³ e absorção de água igual a 2,04% de acordo com a ABNT NBR NM 53:2009, massa unitária igual a 1,56 g/cm³ e o índice de vazios de 48,56% de acordo com a ABNT NBR NM 45:2006. O agregado miúdo utilizado é uma areia fina de origem quartzosa com módulo de finura de 1,55 e dimensão máxima característica de 0,6 mm, segundo a ABNT NBR NM 248:2003. Por meio dos ensaios de caracterização realizados no NUTEA, foi determinada a massa específica seca do agregado igual a 2,645 g/cm³ de acordo com a ABNT NBR NM 52:2009, massa unitária igual a 1,465 g/cm³ e o índice de vazios de 44,12% de acordo com a ABNT NBR NM 45:2006.

Foram utilizadas duas adições minerais, o fíler de calcário e a sílica ativa. O fíler é proveniente do calcário, mais conhecido como pó de calcário. As características da adição apontam um material de cor branca e diâmetro médio de 45 μm. Em relação a sua característica química, são apresentados os seguintes dados: 55,17% de CaO, 0,13% de MgO, 0,07% de Fe_2O_3, 0,30% de Al_2O_3 e 0,77% de SiO_2. A segunda adição, a sílica ativa, possui uma massa específica de 2,22 g/cm³, teor de SiO_2>90% e superfície específica (BET) de aproximadamente 19000 m²/kg.

O aditivo superplastificante empregado na pesquisa foi o ADVATM CAST 525, desenvolvido para alta trabalhabilidade, evitando segregação do concreto, em especial o CAA. Apresenta coloração laranja, densidade média de 1,056 g/cm³, segundo a fabricante (GRACE, 2017).

Foram utilizadas fibras de aço Wirand ® (Tabela 1) produzidas pela empresa Maccaferri – Jundiaí, a utilização desta fibra foi devido a disponibilidade na região e um alto fator de forma.

Segundo Metha e Monteiro (2014) tanto o aumento de comprimento, quanto o aumento de volume de fibras elevam moderadamente a resistência do concreto, assim aumentando também significativamente a sua tenacidade. Ou seja, quanto maior o fator de forma das fibras, que é determinado pela relação entre o comprimento das fibras e seu diâmetro (L/d), maior é a sua capacidade de absorção de energia e a ductilidade do concreto.

A quantidade de fibra utilizada foi 39,25 kg/m³ e 78,5 kg/m³ de concreto, que corresponde a 0,5% e 1,0% de fibra (com massa específica de 7850 kg/m³), valores

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

convencionalmente utilizados.

Tabela 1 – Propriedades da fibra de aço

Propriedades das Fibras Wirand ® (FF3)	
Comprimento (L)	50 mm
Diâmetro (d)	0,75 mm
Fator forma (L/d)	67
Resistência à tração do aço	>1100 MPa
Número de fibras por quilo	5,767
Campos de aplicação indicados	Pavimentos e pré-fabricados

Fonte: Catálogo Maccaferri, 2008.

2.2 Dosagem do concreto autoadensável

A dosagem do concreto autoadensável foi baseada nos limites apresentados pela ABNT NBR 12655:2015, tais limites indicam o consumo mínimo de cimento em 280 kg/m³, relação água/cimento (A/C) menor que 0,6 e resistência à compressão aos 28 dias de, no mínimo, 30 MPa para atender a Classe de Agressividade Ambiental II.

Para o concreto utilizado neste trabalho, foi adotado relação água/cimento de 0,4 e porcentagem do volume de pasta igual a 40%. Apresentados na Tabela 2, estão os consumos de todos os materiais utilizados na mistura do concreto, separando-os pelo teor de fibra empregado.

Tabela 2 – Composição do concreto de referência (CAAR) e do concreto com adição de fibras de aço (CAARFA)

MATERIAIS	CAAR	CAARFA05 (0,5%)	CAARFA1 (1%)
Cimento (kg/m³)	434,00	434,00	434,00
Agregado miúdo (kg/m³)	681,27	681,27	681,27
Agregado graúdo (kg/m³)	1021,90	1021,90	1021,90
Sílica Ativa (kg/m³)	43,40	43,40	43,40
Fíler Calcário (kg/m³)	173,60	173,60	173,60
Superplastificante (kg/m³)	19,53	19,53	19,53
Água (kg/m³)	173,60	173,60	173,60
Fibra de aço (kg/m³)	-	39,25	78,50

Fonte: Autores, 2019.

2.3 Mistura do concreto

A mistura foi realizada em uma betoneira no modelo por gravidade com capacidade de 400 litros. A concretagem dos corpos de prova consistiu em três etapas: na primeira foi misturado o concreto autoadensável de referência (CAAR) sem adição de fibras, na segunda foi misturado o concreto autoadensável (CAARFA05) com 0,5% de adição de fibras e por último o concreto autoadensável (CAARFA1) com 1% de adição de fibras de aço. Todos os materiais foram misturados de acordo com os procedimentos apresentados por Gomes (2002) e Almeida Filho (2006), na seguinte sequência:

• Agregado graúdo com 80% da água de amassamento (água para saturação do agregado e água para pasta) e mistura-se por 30 segundos;

• Cimento, sílica ativa, pó de calcário com plastificante e o restante (20%) da água e mistura-se por 120 segundos;

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

• Agregado miúdo e mistura-se por 120 segundos.
Por fim, as fibras foram adicionadas na betoneira em pequenas quantidades.

2.4 Propriedades do concreto fresco

Após as misturas, os três concretos frescos foram caracterizados pelos ensaio de espalhamento pelo método do cone de Abrams (*slump flow test*), de acordo com a norma NBR NM 15823-2:2017, anel J pela NBR NM 15823-3:2017, caixa L (*L-box test*) pela NBR NM 15823-4:2017 e funil V pela NBR NM 15823-5:2017. O lançamento do concreto nos corpos de prova foi realizado manualmente, sem a necessidade de qualquer tipo de adensamento. Após essa etapa, os corpos de prova foram desmoldados e submetidos a cura submersa.

2.5 Propriedades do concreto endurecido

Para determinação da resistência à compressão axial, à tração por compressão diametral módulo de elasticidade dinâmico e tensão de aderência, foram moldados corpos de prova cilíndricos. Na Tabela 3 são representados os ensaios para obtenção destes resultados, idade do rompimento do corpo de prova e o número de amostras.

Tabela 3 – Ensaios de caracterização do aço, concreto e números de amostras

Ensaios	Idades (dias)	Número de Amostras
Compressão axial	28	15
Tração por compressão diametral / módulo de elasticidade dinâmico	28	15
Pull out test	28	27

Fonte: Autores, 2019.

O ensaio de compressão axial em corpos de prova cilíndricos, com dimensão de 100 x 200 mm, foi realizado de acordo com a ABNT NBR 5739:2018, com velocidade de carregamento constante e igual a 0,5 MPa/s. O ensaio de tração por compressão diametral em corpos de prova cilíndricos, com dimensão de 100 x 200 mm, foi realizado em conformidade com a ABNT NBR 7222:2011, com velocidade de carregamento constante de 0,05 MPa/s. O ensaio de módulo de elasticidade dinâmico foi realizado e processada pelo *Software Sonelastic* (tecnologia PC *Based*), de acordo com a ASTM-C215:2008, que estima os módulos elásticos e o amortecimento a partir das frequências naturais de vibração (frequências de ressonância).

2.6 Programa experimental da aderência do aço e concreto

O estudo da aderência consistiu na realização de ensaios de arrancamento de barra padronizados pelo RILEM-CEB-FIP (1973). A quantidade de amostras foi definida de tal maneira: 3 amostras para cada tipo de barra e rompimento aos 28 dias. Na Tabela 4 estão indicados os diâmetros das barras, dimensões, comprimento de ancoragem e o volume de fibras de aço adotado para cada corpo de prova.

Tabela 4 – Valores adotados para o ensaio de arrancamento

Ref. Corpo de Prova	Diâmetro (φ) (mm)	Dimensões (mm)	Comprimento de Ancoragem	Volume de Fibras (%)
CP10.0.1				

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

CP10.0.2 CP10.0.3	10	150 mm x 100 mm	5Φ – 5 cm	0
CP10.0,5.1 CP10.0,5.2 CP10.0,5.3	10	150 mm x 100 mm	5Φ – 5 cm	0,5
CP10.1.1 CP10.1.2 CP10.1.3	10	150 mm x 100 mm	5Φ – 5 cm	1
CP12,5.0.1 CP12,5.0.2 CP12,5.0.3	12,5	150 mm x 125 mm	5Φ – 6,25 cm	0
CP12,5.0,5.1 CP12,5.0,5.2 CP12,5.0,5.3	12,5	150 mm x 125 mm	5Φ – 6,25 cm	0,5
CP12,5.1.1 CP12,5.1.2 CP12,5.1.3	12,5	150 mm x 125 mm	5Φ – 6,25 cm	1
CP16.0.1 CP16.0.2 CP16.0.3	16	150 mm x 160 mm	5Φ – 8 cm	0
CP16.0,5.1 CP16.0,5.2 CP16.0,5.3	16	150 mm x 160 mm	5Φ – 8 cm	0,5
CP16.1.1 CP16.1.2 CP16.1.3	16	150 mm x 160 mm	5Φ – 8 cm	1

Fonte: Autores, 2019.

Sendo que a combinação de corpo de prova (CP) com o primeiro número corresponde ao diâmetro da barra, o segundo número a porcentagem de fibra de aço e o terceiro número a referência do corpo de prova.

2.6.1 Moldagem e cura dos corpos de prova

Na Figura 1 está ilustrado a geometria das formas para o ensaio de arrancamento de barra com diâmetro de 10; 12,5 e 16 mm.

As formas para os corpos de prova possuem diâmetro de 150 mm e altura equivalente a dez vezes o diâmetro da barra, medido para que o comprimento de ancoragem, correspondente a cinco vezes o diâmetro da barra, fosse respeitado.

Como a posição e a inclinação das barras durante a concretagem influenciam na resistência da aderência, a concretagem ocorreu na posição vertical certificando que as barras de aço se preservassem perpendiculares às formas. Ao todo, foram moldados 27 corpos de provas para o ensaio de arrancamento. O concreto foi lançado uma única vez sem que fosse necessário o adensamento. Após 24 horas os corpos de prova foram desmoldados e submetidos a cura submersa até o dia do ensaio de aderência.

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

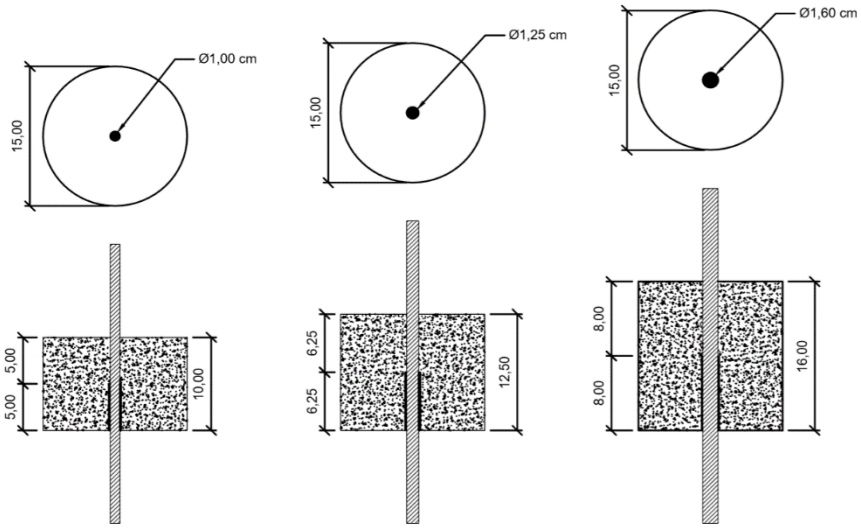

Figura 1. Geometria dos corpos de prova para ensaio de arrancamento.

Fonte: Autores, 2019.

A Figura 2 ilustra o posicionamento das formas e das barras após a concretagem.

Figura 2. Disposição dos corpos de prova após a concretagem.

Fonte: Autores, 2019.

2.6.2 Ensaio de arrancamento (*Pull-out Test*)

No ensaio de arrancamento, o corpo de prova é posicionado sobre a placa metálica que possui uma abertura no centro, permitindo a passagem da barra que ficará presa por um conjunto de garras encaixadas na máquina de ensaio. Esta placa encontra-se apoiada em uma célula de carga que obtém os valores do carregamento aplicado ao corpo de prova. Na Figura 3 está apresentado o modelo de ensaio.

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

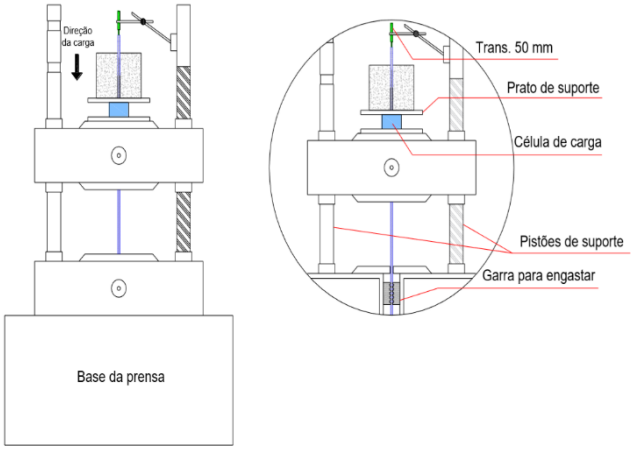

Figura 3. Disposição dos corpos de prova durante o ensaio *Pull-Out Test*.

Fonte: Autores, 2019.

Os ensaios serão separados com base no volume de fibras adicionadas no concreto e de acordo com o diâmetro da barra de aço, sendo todas as amostras com rompimento aos 28 dias.

2.6.3 Determinação da resistência de aderência

Para determinar os parâmetros de resistência da aderência obtidos no ensaio de arrancamento será utilizada a Equação 1, mesmo adotado pelo RILEM-CEB-FIP (1973). Sendo P é a força aplicada, l_d corresponde ao comprimento aderente e o $\emptyset$ o diâmetro da barra de aço.

$$\tau = \frac{P}{\pi . l_d . \phi} \qquad [1]$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados todos os resultados obtidos no estudo experimental, no qual foram feitos os ensaios para o estado fresco e endurecido. Os ensaios realizados no concreto fresco seguiram conforme descritos na seção 2.4, para caracterização de suas propriedades neste estado.

Para obtenção das propriedades do concreto endurecido, como o módulo de elasticidade dinâmico e as resistências à tração por compressão diametral e compressão, foi seguido o que se descreve na seção 2.5.

A seguir, as próximas seções apresentarão os resultados obtidos no concreto no estado fresco e estado endurecido.

3.1 Propriedades do concreto no estado fresco

A mistura foi realizada de acordo com a seção 2.3, ocorrendo na sequência para promover a homogeneização dos materiais. Ao ser finalizada a mistura, foram realizados os ensaios de espalhamento (*slump flow test*), caixa L, funil V e anel J. Os resultados obtidos estão indicados na Tabela 5.

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

Tabela 5 – Resultados das caracterizações

Ensaio de espalhamento	Limites ABNT NBR 15823	CAAR	CAARFA05 (0,5%)	CAARFA1 (1%)
T500 (s)	>2	6”	4”59	4”56
slump flow test, df (mm)	660 ≤ df ≤ 750	752,5	720,0	770,0
CAIXA L				
T20 (s)	-	2”54	*	*
T40 (s)	-	5”15	*	*
H2/H1	≥ 80	0,96	*	*
FUNIL V				
T (s)	9 ≤ t ≤ 25	8”10	9”13	*
ANEL J				
diâmetro de espalhamento (mm)		-	750,0	*
df-dj	25 ≤ dj ≤ 50	-	30,0	*
* Equipamentos obstruídos e/ou não realizados				

Fonte: Autores, 2019.

Os concretos ensaiados mostraram-se altamente fluídos. O concreto de referência CAAR e o concreto com 0,5% de fibras (CAARFA05) não apresentaram indícios de segregação. O concreto com adição de 1% de fibras (CAARFA1) apresentou um nicho que fibras acumuladas no meio do círculo de espalhamento, por conta da dimensão e quantidade das fibras, que não foram capazes de acompanhar o espalhamento do concreto.

Figura 4. Espalhamento do concreto.

Fonte: Autores, 2019.

No entanto, apesar da fluidez, os concretos com adição de fibras não apresentaram uma boa habilidade passante. Por conta da dimensão das fibras (comprimento de 50 mm), estas não foram capazes de passar pelo espaçamento das barras da caixa L e anel J, causando acúmulo de fibras e agregado graúdo entre os espaços. Na Figura 5 são apresentadas as imagens da acumulação das fibras e do agregado graúdo entre as barras de aço para caixa L e a acumulação no anel J, do concreto com adição de 0,5% de fibras de aço.

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

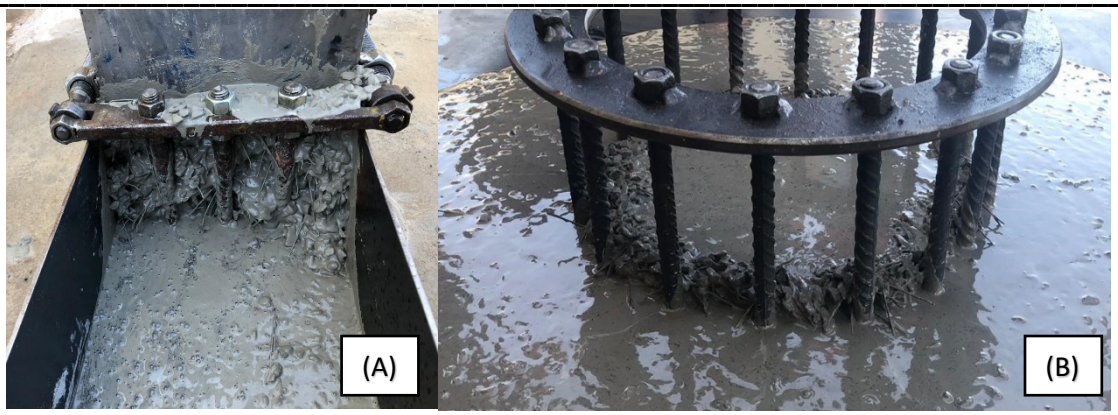

Figura 5. Fibras acumuladas nos espaçamentos das barras: **(A)** Caixa L; **(B)** Anel J.

Fonte: Autores, 2019.

Para o menor volume de fibras (0,5%) ficou evidente que a dimensão destas não é viável para concretos com armaduras espaçadas em menos de 5 cm. Portanto, tais ensaios não foram repetidos para o maior volume de fibras (1%).

3.2 Propriedades do concreto endurecido

Para a caracterização dos concretos, foram realizados os ensaios de módulo de elasticidade dinâmico, resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral.

3.2.1 Módulo de elasticidade dinâmico

Os valores obtidos como resultados, apresentados na Tabela 6, mostram módulo de elasticidade entre 48,09 e 51,4 GPa aos 28 dias, também são apresentados a média, desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 6 – Características do módulo de elasticidade dinâmico do concreto.

Vol. de fibras	CP	EC (GPa)	Média EC (GPa)	DP	Coef. de variação
0 (%)	CP1 CP2 CP3 CP4 CP5	48,42 49,21 49,16 49,54 49,46	49,16	0,18	0,37%
0,5 (%)	CP1 CP2 CP3 CP4 CP5	49,93 48,15 49,79 51,40 51,20	50,09	1,31	2,61%
1,0 (%)	CP1 CP2 CP3 CP4 CP5	48,84 48,49 48,09 49,32 49,17	48,78	0,50	1,03%

Fonte: Autores, 2019.

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

Observa-se que o aumento no valor de módulo de elasticidade dinâmico do concreto com adição de fibras foi de 1,89% para adição de 0,5% e 0% para adição de 1%. Isso pode ser explicado pelo fato da adição de 1% de fibras ter afetado a trabalhabilidade do concreto em seu estado fresco, uma vez que as fibras não se dispersavam dentro do concreto, assim diminuindo o valor de módulo de elasticidade do CAARFA1.

Apesar disso, tanto o concreto de referência quanto aqueles com reforço de fibras de aço apresentam valores bastante semelhantes, o que mostra que a adição de fibras não foi capaz de provocar uma variação significativa no módulo de elasticidade dinâmico.

3.2.2 Compressão Axial

Na Tabela 7, são apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão do concreto aos 28 dias.

Tabela 7 – Características estátisticas da resistência à compressão do concreto aos 28 dias

Ensaio de Resistência à Compressão			
Corpo de Prova	**CAAR**	**CAARFA05**	**CAARFA1**
CP1	76,44	83,43	82,54
CP2	77,09	90,01	79,06
CP3	74,11	84,62	80,08
CP4	71,96	82,06	78,63
CP5	74,01	88,59	75,81
Média (MPa)	74,72	85,74	79,22
Desvio Padrão (MPa)	2,11	3,41	2,44
Coef. De Variação	2,83%	3,98%	3,08%

Fonte: Autores, 2019.

A partir dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão aos 28 dias (Tabela 7), é possível observar um aumento de 14,75% na resistência à compressão do concreto com adição de 0,5% de fibras, em relação ao concreto de referência. Com adição de 1%, o aumento na resistência do concreto em relação ao concreto de referência foi de 6,02%, cerca de 2,45 vezes menor do que a resistência obtida no concreto com 0,5% de fibras.

Essa redução pode ser justificada pelo fator de efetividade da fibra em relação ao concreto, em que o consumo de 1% de fibra, em função das propriedades geométricas da mesma, apresentou-se como um excesso, assim, não contribuindo com as propriedades da mistura no estado fresco e endurecido. Possivelmente, utilizando o mesmo teor de fibra, porém de menor comprimento viabilizaria a aplicação, evitando a segregação das fibras e a formação de nichos, conforme apresentado pelo concreto com o teor de 1% de fibra (FOLINO et a., 2020).

A justificativa para os concretos com a incorporação de fibra apresentarem maior resistência à compressão em relação ao de referência, dá-se pelo aumento da resistência à fissuração do concreto. O que vai de encontro com o que foi apresentado por Caetano, Rodrigues e Pimienta (2019), que o concreto reforçado com fibras apresenta certa capacidade resistente após a sua fissuração descaracterizando o comportamento frágil típico do material quando solicitado. Assim, com a utilização de fibras, será assegurada menor fissuração do concreto.

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

3.2.3 Tração por compressão diametral

Apresentados na Tabela 8, estão os resultados de resistência à tração por compressão diametral, ensaiados aos 28 dias. A resistência à tração por compressão diametral média para as amostras sem fibras é de 5,09 MPa, com desvio padrão de 0,50 MPa e coeficiente de variação de 9,77%. Esse valor corresponde a 6,81% da resistência média à compressão. Para as amostras com adição de 0,5% fibras de aço, a resistência média à tração por compressão diametral é de 7,8 MPa, com desvio padrão de 1,67 MPa e coeficiente de variação de 21,39%. Esse valor corresponde a 9,09% da resistência média à compressão.

Para as amostras com adição de 1% fibras de aço, a resistência média à tração por compressão diametral é de 9,4 MPa, com desvio padrão de 0,47 MPa e coeficiente de variação de 4,99%. Esse valor corresponde a 11,86% da resistência média à compressão.

Tabela 8 – Características estatísticas da resistência à tração por compressão diametral do concreto

Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral			
Corpo de prova	**CAAR**	**CAARFA05**	**CAARFA1**
CP1	4,49	8,48	8,73
CP2	5,84	5,64	9,42
CP3	5,37	6,78	10,05
CP4	5,11	10,01	9,45
CP5	4,65	8,07	9,33
Média (MPa)	5,09	7,80	9,40
Desvio Padrão (MPa)	0,50	1,67	0,47
Coef. De Variação	9,77%	21,39%	4,99%

Fonte: Autores, 2019.

Observa-se, portanto, que a adição de fibras a matriz cimentícia provocou um aumento significativo na resistência à tração por compressão diametral, da ordem de 53,1% para 0,5% de fibras e 74,04 para 1% de fibras. Este aumento pode ser explicado por conta da ação das fibras em conduzir as tensões pelas fissuras, melhorando a ductilidade do concreto com fibras.

O resultado foi semelhante por Shimosaka (2017) que obteve aumento de 87,85% para adição de 1,5% de fibras à matriz.

Constata-se que existe influência significativa do consumo de fibras de aço na resistência à tração por compressão diametral do concreto. Para o mesmo tipo de fibra, quanto maior o consumo de fibras maior é a resistência à tração, sendo que o acréscimo de ft varia linearmente com o aumento de fc, para todos os consumos de fibras. Resultados estes semelhantes aos apresentados por Mendes, Mesquita Roehl e Sánches Filho (2016).

O grande ganho de resistência à tração por compressão diametral se deu pelo 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 a fissuração.

3.2.3 Ensaios de arrancamento

Os modelos de arrancamento foram divididos com base no diâmetro da barra de aço e o volume de fibras incorporado ao concreto. Ressalta-se que para os ensaios de arrancamento (*Pull-out test*) foram realizados para idade de 28 dias.

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

É importante ressaltar que devido ao tempo necessário para o arrancamento completo da barra de aço e o limite do transdutor que mede o deslocamento, é impossível o término do ensaio. Desse modo, o valor máximo dessa força registrada foi definido como a força de ruptura da aderência, e logo após esse valor ser atingido, ocorria uma queda significativa nos valores de força registrados pela máquina. Para se obter um nível de qualidade, Melchers (1987) e Almeida Filho (2006) estabeleceram critérios para avaliação de desvio padrão de concretos com resistência à compressão maiores que 27 MPa e o coeficiente de variação, respectivamente. Na Tabela 9 são apresentados os limites estabelecidos.

Tabela 9 – Limites estabelecidos para critério de qualidade.

Parâmetro de qualidade	Limites para o desvio padrão (Melchers, 1987)	Limites para coeficiente de variação
A (Excelente)	2,70	10%
B (Médio)	4,00	15%
C (Pobre)	5,40	20%

Fonte: Adaptado de Almeida Filho (2006). Pág. 172.

Nas figuras 6, 7 e 8 são apresentados os diagramas força versus deslizamento das barras.

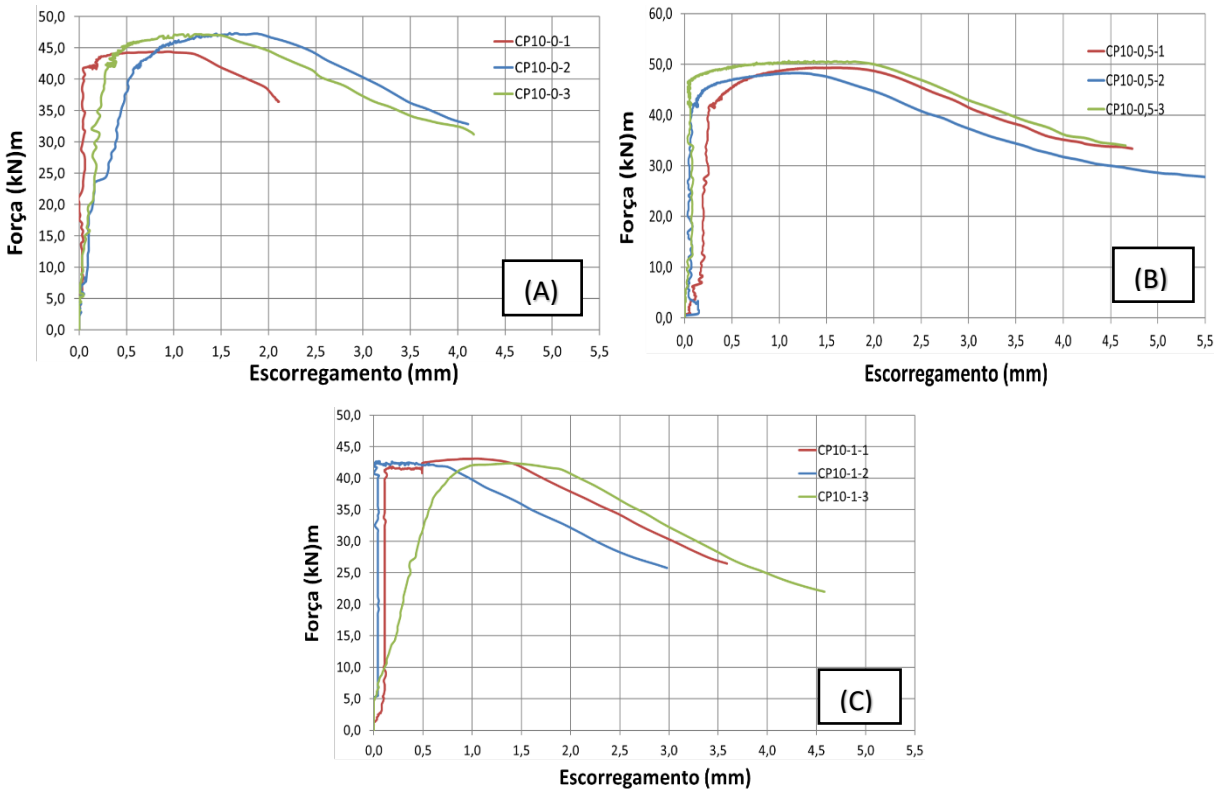

Figura 6. Modelos de arrancamento para bitola de 10 mm aos 28 dias: **a)** sem fibras; **b)** 0,5% de fibras e **c)** 1% de fibras.

Fonte: Autores, 2019.

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

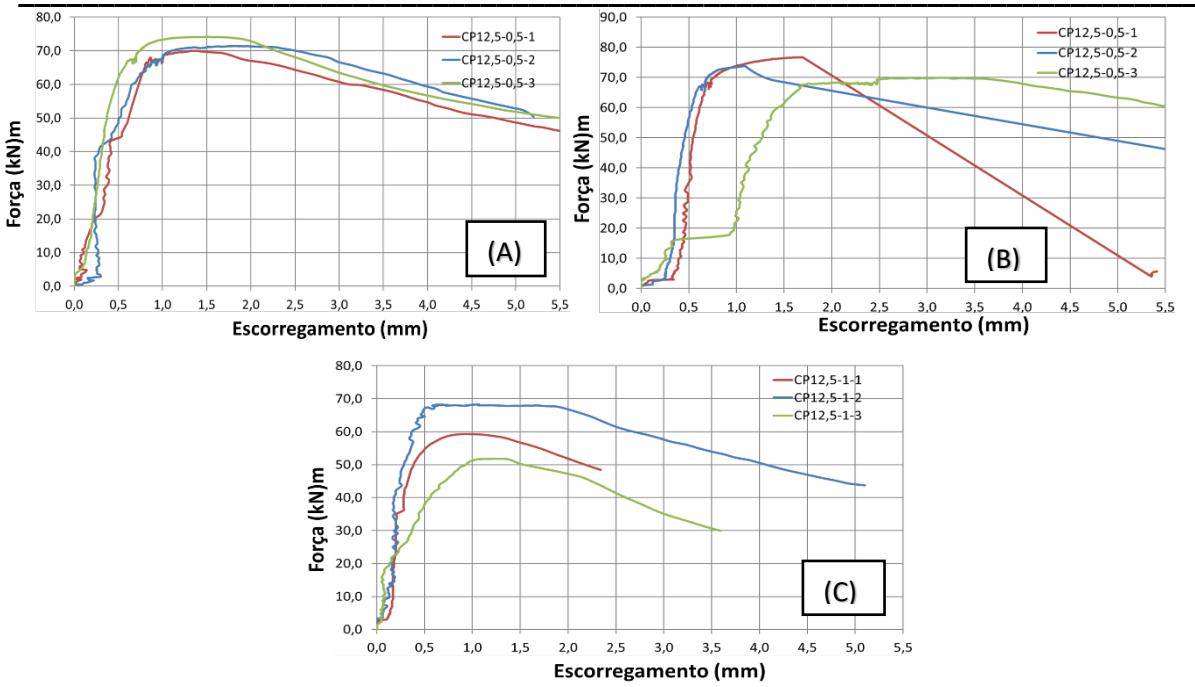

Figura 7. Modelos de arrancamento para bitola de 12,5 mm aos 28 dias: **a)** sem fibras; **b)** 0,5% de fibras e **c)** 1% de fibras.
Fonte: Autores, 2019.

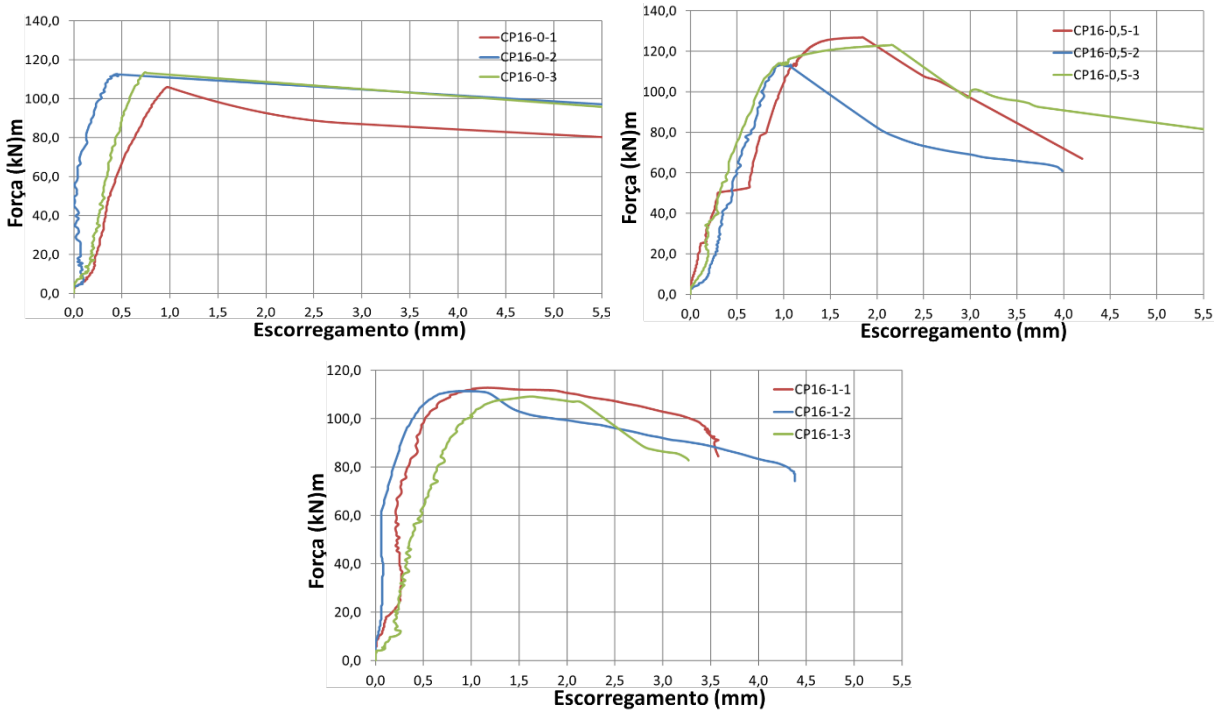

Figura 8. Modelos de arrancamento para bitola de 16 mm aos 28 dias: **a)** sem fibras; **b)** 0,5% de fibras e **c)** 1% de fibras.
Fonte: Autores, 2019.

Observa-se nas inclinações na curva força versus deslizamento: o primeiro trecho ascendente, onde quase não há deslizamento, e um trecho descendente, no qual é percepitível a

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

queda de força com o aumento do delizamento entre a barra de aço e o bloco de concreto. Apresentados nas Tabelas 10, 11 e 12 estão os resultados de tensão de aderência.

Tabela 10 – Resultados obtidos nos ensaios de arrancamento para diâmetro de barra de 10 mm.

Amostras	τm (MPa)	Média (MPa)	DP	Coef. de variação (%)	Modo de ruptura
CP10-0-1	28,28	29,49	1,05	3,57	Escorregamento
CP10-0-2	30,16				Escorregamento
CP10-0-3	30,04				Escorregamento
CP10-0,5-1	31,40	31,47	0,76	2,42	Escorregamento
CP10-0,5-2	30,74				Escorregamento
CP10-0,5-3	32,26				Escorregamento
CP10-1-1	27,44	27,20	0,24	0,86	Escorregamento
CP10-1-2	27,19				Escorregamento
CP10-1-3	26,97				Escorregamento

Fonte: Autores, 2019.

É possível observar que a variação da força de tensão de aderência foi pequena entre os concretos analisados. A adição de 0,5% de fibras aumentou o valor médio da tensão de aderência em 6,71% em relação ao concreto sem fibras. Como o concreto com incorporação de 1% de fibras teve sua trabalhabilidade afetada devido a dimensão das fibras, prejudicando suas propriedades mecânicas, é possível observar a redução de 7,77% da tensão de aderência em relação ao concreto de referência. Em relação ao nível de qualidade, tanto o desvio padrão quanto o coeficiente de variação estão dentro dos limites para um concreto de qualidade excelente estabelecidos por Melchers (1987) e Almeida Filho (2006). A Figura 9 apresenta o corpo de prova que teve como modo de ruptura o escorregamento.

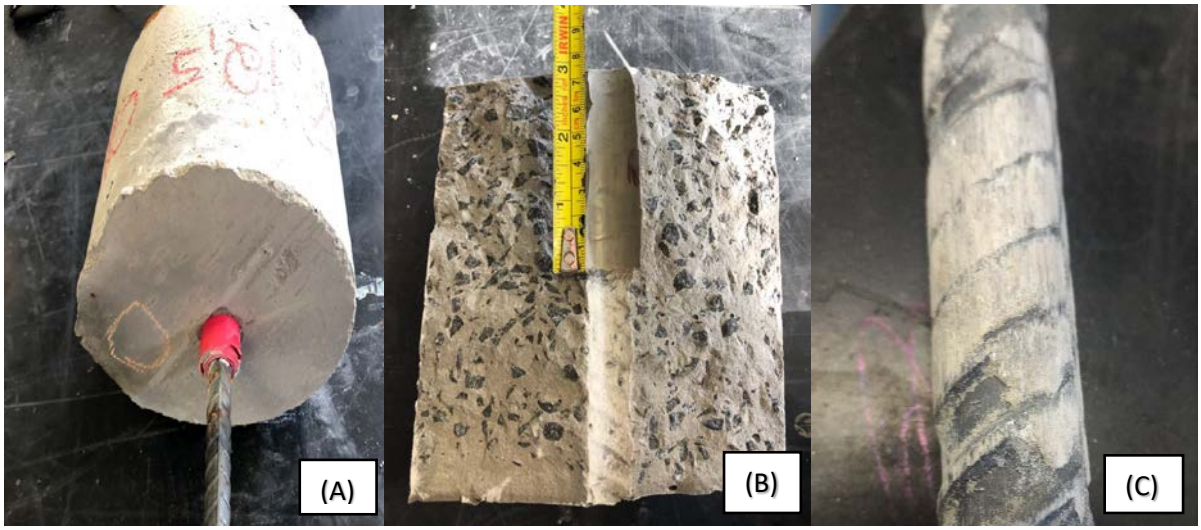

Figura 9. Modelo de arrancamento barra de 12,5 mm: **a)** Arrancamento da barra; **b)** Dimensões do trecho aderente e sem aderência; **c)** Presença de pasta de no trecho aderente da barra.

Fonte: Autores, 2019.

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

Na preparação das barras de aço, foram utilizados pedaços de EVA com o propósito de fixar o tubo de PVC no trecho sem aderência entre a barra e o concreto. Foi possível observar o arrancamento de barra, já que todos os modelos apresentaram escorregamento da barra como modo de ruptura. Constatou-se em todas as barras arrancadas que o trecho aderente apresentava pasta de concreto em suas nervuras, indicando que os finos contribuíram para uma melhor aderência entre a barra de aço e o concreto. Tal ruptura ocorre quando a resistência à compressão do concreto não é suficiente, permitindo seu cisalhamento entre as nervuras da barra, assim a barra escorrega no interior do concreto, pois há um confinamento adequado promovido pelo cobrimento do concreto adjacente.

Tabela 11 – Resultados obtidos nos ensaios de arrancamento para diâmetro de barra de 12,5 mm.

Amostras	τm (MPa)	Média (MPa)	DP	Coef. de variação (%)	Modo de ruptura
CP12,5-0-1	28,52	29,27	0,86	2,94	Escorregamento
CP12,5-0-2	29,09				Escorregamento
CP12,5-0-3	30,21				Escorregamento
CP12,5-0,5-1	31,25	29,93	0,76	1,39	Fendilhamento
CP12,5-0,5-2	30,07				Fendilhamento
CP12,5-0,5-3	28,48				Escorregamento
CP12,5-1-1	24,17	24,36	3,37	13,83	Escorregamento
CP12,5-1-2	27,82				Escorregamento
CP12,5-1-3	21,09				Escorregamento

Fonte: Autores, 2019.

Observa-se que a variação de média de força de tensão na aderência foi ainda menor que no ensaio de escorregamento de barras de aço de 10 mm. A adição de 0,5% de fibras aumentou o valor médio da tensão de aderência em 2,25% em relação ao concreto de referência. O concreto com incorporação de 1% de fibras teve sua trabalhabilidade afetada devido a dimensão das fibras de aço, o que pode ter causado a redução de 16,77% na média de tensão de aderência. Em relação ao nível de qualidade, tanto o desvio padrão quanto o coeficiente de variação estão dentro dos limites para um concreto de qualidade média.

Tabela 12 – Resultados obtidos nos ensaios de arrancamento para diâmetro de barra de 16 mm.

Amostras	τμ (MPa)	Média (MPa)	DP	Coef. de variação (%)	Modo de ruptura
CP16-0-1	26,37	27,56	1,04	3,76	Fendilhamento
CP16-0-2	28,05				Fendilhamento
CP16-0-3	28,26				Fendilhamento
CP16-0,5-1	31,56	30,13	1,72	5,69	Fendilhamento
CP16-0,5-2	28,23				Fendilhamento
CP16-0,5-3	30,61				Escorregamento
CP16-1-1	28,06	27,64	0,45	1,64	Escorregamento
CP16-1-2	27,71				Escorregamento
CP16-1-3	27,16				Escorregamento

Fonte: Autores, 2019.

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

Com a adição de 0,5% de fibras é possível observar o aumento de 9,33% na média de tensão na aderência em barras de aço de 16 mm em relação ao concreto sem fibras. Apesar do concreto com incorporação de 1% de fibras ter sofrido uma baixa de trabalhabilidade, o que prejudicou o espalhamento das fibras, ainda assim houve um acréscimo de 0,3% na tensão média de aderência. Em relação ao nível de qualidade, tanto o desvio padrão quanto o coeficiente de variação estão dentro dos limites para um concreto de qualidade excelente.

É possível observar também que houve ruptura por fendilhamento nos modelos: CP12,5-0,5-1; CP12,5-0,5-2; CP16-0-1; CP16-0-2; CP16-0-3; CP16-0,5-1 e CP16-0,5-2. Tal ruptura ocorre quando a resistência do concreto à compressão é suficiente, ou seja, o concreto adjacente à barra de aço rompe-se graças à intensa fissuração. Tais fissuras, conhecidas como fissuras de aderência, surgem devido à pressão aplicada ao concreto pelas nervuras da barra, fazendo com que o concreto ao redor da barra seja tracionado.

A Figura 10 apresenta o corpo de prova que teve como modo de ruptura o fendilhamento.

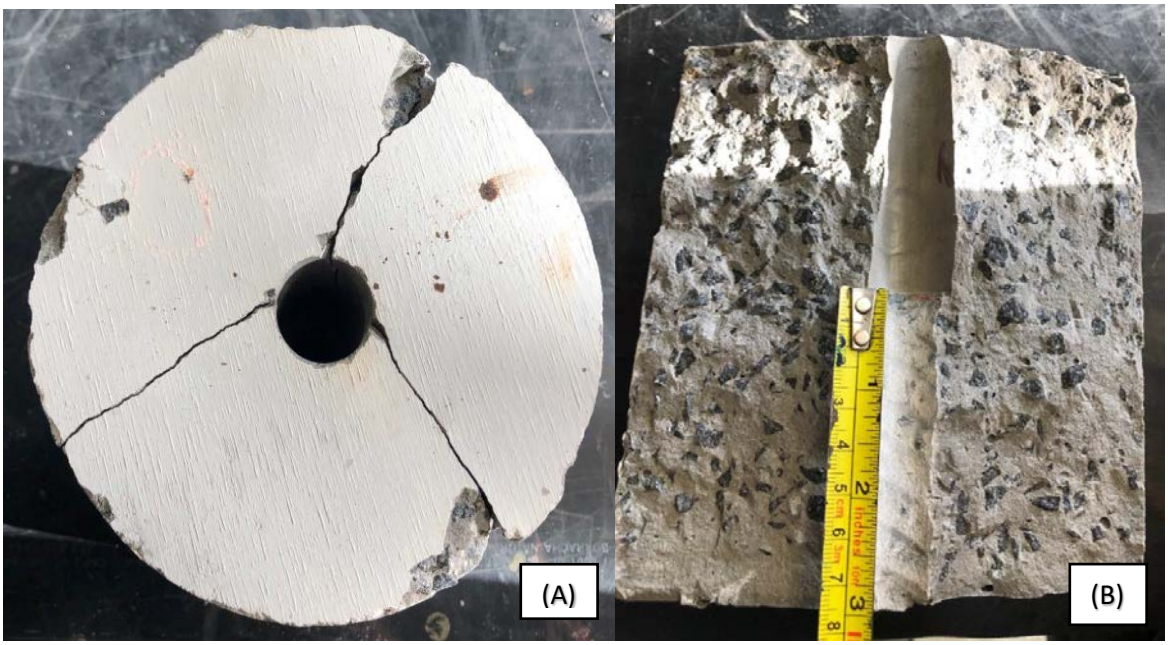

Figura 10. Modelo de arrancamento da barra de 16 mm: **a)** Fendilhamento do concreto **b)** Dimensões do trecho aderente e sem aderência.

Fonte: Autores, 2019.

Na Figura 11 são apresentados os valores médios das tensões de aderência obtidos no ensaio de arrancamento, juntamente com os valores das tensões de aderência segundo a NBR 6118:2014.

É possível observar que os valores adquiridos nos modelos de arrancamento são maiores que os valores de cálculo estimados por critérios normativos. A diferença entre estas tensões são: 90,75% para o concreto sem fibras; 86,97% para 0,5% de fibras incorporadas e 80,71% para concreto com 1% de fibras de aço. O valor de tensão de aderência é fundamental para a determinação do comprimento de ancoragem mínimo necessário para que o aço escoe antes de

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

gerar o escorregamento da barra, desta maneira, contribuindo para a transferência de esforços do concreto para a armadura.

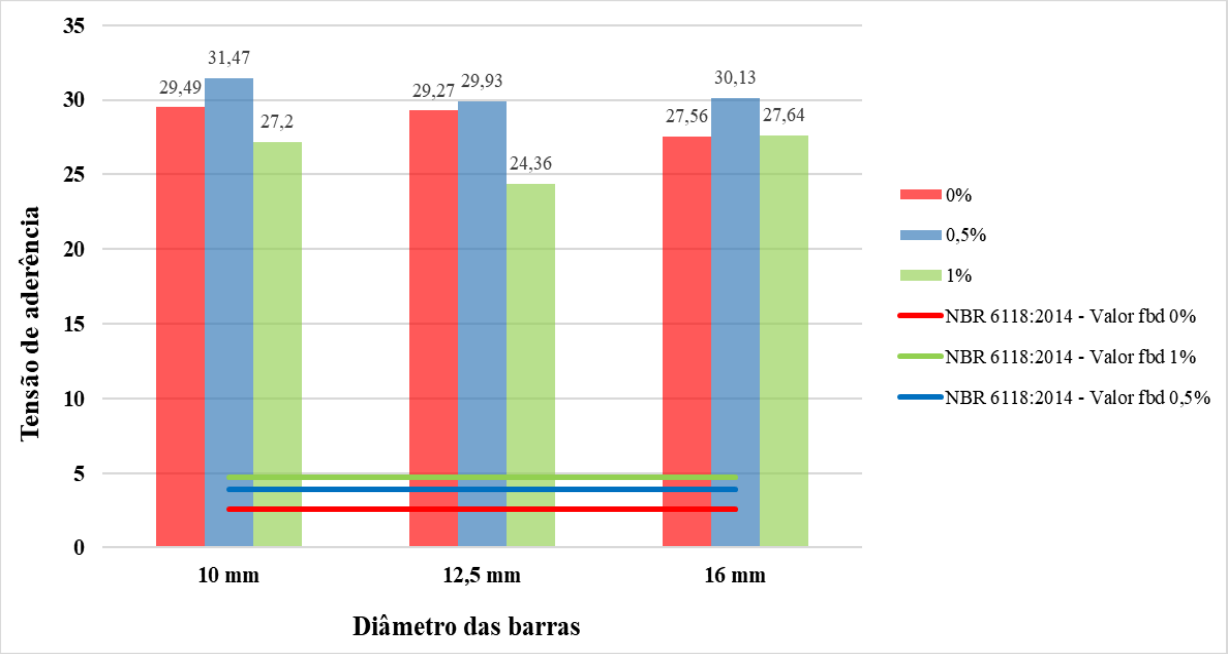

Figura 11. Gráfico geral das tensões médias de aderência com relação aos limites normativos

Fonte: Autores, 2019.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa teve como objetivo avaliar a influência de fibras na aderência aço-concreto, também como o concreto autoadensável em seu estado fresco e endurecido, quando incorporado fibras de aço. Sendo assim, é possível apresentar as seguintes conclusões:

A incorporação de fibras de aço no concreto autoadensável, em estado fresco, diminui a sua fluidez e sua habilidade passante, em ao teor de fibras. Este fato pode ser observado através dos ensaios de espalhamento (*slump flow test*), anel J, caixa L e funil V que confirmam a inviabilidade da adição de fibras de aço com as características geométricas apresentadas para o teor de 1% em armaduras com espaçamento menor que 5 cm, apesar das recomendações do fabricante.

Quando analisado o concreto autoadensável em seu estado endurecido, suas propriedades mecânicas sofreram alterações, dependendo do teor de fibras adotado. A resistência à compressão foi a característica menos afetada durante a pesquisa, esse fato pode estar relacionado a questão de a fibra agir somente após a fissuração do concreto, e mesmo que o ganho de resistência seja pouco, pode ser associado ao fato da fibra amenizar a propagação das fissuras.

Em relação ao módulo de elasticidade dinâmico, os valores obtidos são satisfatórios por ser um concreto autoadensável, uma vez que a dimensão de seu agregado influencia drasticamente no módulo de elasticidade. Quando analisado a mistura com teor de fibras de

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

0,5% incorporado, o aumento de módulo de elasticidade chegou a 1,89%. Analisando do ponto de vista estrutural, esses valores de módulo de elasticidade (48,78 a 50,09 GPa) resultam em menores deformações e flechas, pois a elevada resistência à compressão, somada ao empacotamento e baixa porosidade, justificam os valores do módulo de elasticidade.

Em estruturas de concreto armado, a necessidade de aço é justamente pelo fato da resistência à tração do concreto ser baixa. A incorporação de fibras de aço, resultou em um aumento de 53,1% para 0,5% de fibras e 74,04% para 1% de fibras. Esse aumento pode ser associado com o fato de a propagação das fissuras ter um impacto maior na resistência à tração, do que na resistência à compressão do concreto. Outro fator que pode ser analisado é a possibilidade de redução de armadura de aço, uma vez que as fibras elevam o valor da resistência à tração do concreto.

Em relação aos ensaios de arrancamento, os valores obtidos para tensão de aderência do concreto mostram que há um aumento substancial no valor médio da tensão de aderência de 6,71% para adição de 0,5% de fibras nos modelos de arrancamento com barras de 10 mm em relação ao concreto sem fibras. Constata-se também um aumento no valor médio da tensão de aderência em 2,25% para adição de 0,5% de fibras nos modelos de arrancamento com barras de 12,5 mm em relação ao concreto sem fibras. Já os valores obtidos para tensão de aderência do concreto nos modelos de arrancamento com barras de 16 mm mostraram que houve um aumento de 9,33% na tensão média de aderência.

Em relação aos modelos de arrancamento para concretos com adição de 1% de fibras, houveram perdas na tensão de aderência. Para barras de 10 mm houve uma perda de 7,77%, para barras de 12,5 mm houve uma perda de 16,77% e para barras de 16 mm houve um acréscimo irrelevante de 0,3%.

Foi possível observar que o aumento de volume de fibras pode acarretar na redução da resistência do concreto, e consequentemente, afetar a aderência entre a barra e o concreto.

Em relação à resistência de aderência, as barras com menor diâmetro apresentaram maior resistência de aderência que as barras de maior diâmetro. Isso ocorre devido a densidade de nervuras por comprimento linear de barra ser maior em barras com diâmetros menores, ou seja, maior número de nervuras mobilizando forças localizadas.

Deste modo, é possível determinar que a adição de fibras de aço no concreto autoadensável é viável, sem que o mesmo perca sua característica de autoadensabilidade, obtendo ganhos em suas propriedades mecânicas, porém limitando o teor de fibras empregado.

Todos os resultados dos ensaios experimentais mostram que as fibras exercem uma pequena influência na tensão de aderência entre a barra e o concreto. Por outro lado, quando a ruptura da aderência se dá pelo fendilhamento do cobrimento do concreto, a influência das fibras é significativa por absorver as tensões de tração aplicadas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, F. M. **Contribuição ao estudo da aderência entre barras de aço e concretos auto-adensáveis**. Tese de doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2006.

AMERICAN STANDARDIZATION FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) C 234 91a – **Standard test method for comparing concretes on the basis of the bond developed with reinforcing steel.** 1996.

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM C-215 - **Dynamic Modulus of elasticity**. West Conshohocken, PA: ASTM, 2008.

ARAÚJO, D. L.; DANIN, A. R.; MELO, M. B. ; RODRIGUES, P. F. **Influência da adição de fibras de aço na tensão de aderência de barras de aço retilíneas.** *Rev. IBRACON Estrut. Mater*., vol. 6, n.2, pag. 307-338. ISSN 1983-4195, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR 49:** Agregado miúdo – determinação de impurezas. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. **NBR 45:** Agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 52:** Agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 53:** Agregado graúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 15823:** Concreto autoadensável. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 67:** Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

_____. **NBR 47:** Concreto: determinação do teor de ar em concreto fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

_____. **NBR 5739:** Concreto -Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. **NBR 7222:** Concreto e argamassa – determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 9833:** Concreto fresco: determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro: ABNT 2009.

_____. **NBR 12655:** Concreto de Cimento Portland: preparo, controle e recebimento: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT 2015.

BARBOZA, L.S. **Produção de concretos autoadensáveis com baixo consumo de cimento e sua influência na aderência aço-concreto.** Tese de doutorado, UFSCAR, São Carlos, SP, 2018.

BARROS, J.A.O., RIBEIRO, A.F., CUNHA, V.M.C.F., ANTUNES, J.A.B.; **Fibras de aço no reforço ao**

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

corte de vigas de betão armado, Seminário sobre Dimensionamento de estruturas de betão reforçado com fibras, Eds. J. Barros, P. Rossi e B. Massicotte, Guimarães, p. 7.1-7.32, 28 Novembro (2003).

BARROS, J. PEREIRA, E. N. B. SANTOS, S. P. F. LOURENÇO, A. P.; **Possibilidades e desafios do betão auto-compactável reforçado com fibras- do laboratório à aplicação real**. Universidade de Minho, Portugal, 2006.

BARROS, J. CUNHA, V. M. C. F. ANTUNES, J. A. B.; **Post-cracking behavior of steel fibre reinforced concrete.** *Materials and Structure*, 2005, v.38, p.47-56.

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre reinforced cementitious composites.** *Elsevier Applied Science*, London, 1990.

CAETANO, H.; RODRIGUES, J. P. C.; PIMIENTA, P. **Flexural strength at high temperatures of a high strength steel and polypropylene fibre concrete.** *Constr. Build. Mater*. V. 227, n. 10, 2019.

CAIRNS, J.; PLIZZARI, G.A.. **Bond behavior of conventional reinforcement in fibre reinforced concrete, Varenna.** *Proceedings of 6th RILEM Symposium of Fibre-Reinforced Concrete (FRC).* Italy, 2004.

CEB-FIP (1990) **Comité Euro-International du Béton, CEB-FIP Model Code 1990**, Design Code p.462.

Catálogo, **Maccaferri**, https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/maccaferri/wirand.pdf. Acessado em maio de 2019.

DANCYGIER, A. N.; KATZ, A.; WEXLER, U.. **Bond between deformed reinforcement and normal and high-strength concrete with and without fibers.** *Materials and Structures*, v.43, n. 6, p. 839-856, 2010.

DANIN, A.R. **Estudo da aderência entre concreto e armadura: Análise da influência das fibras de aço.** Tese (Mestrado). Escola de Engenharia de Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

FOLINO, P., RIPANI, M., XARGAY, H., ROCCA, N. **Comprehensive analysis of fiber reinforced concrete beams with conventional reinforcement.** *Engineering Structures*. V. 202, n. 1, 2020.

GARCIA-TAENGA, E., MARTÍ-VARGAS, J.R.M, SERNA, P. **Bond of reinforcing bars to steel fiber reinforced concrete.** *Construction and building materials*, v. 105 (2016) p. 275-284.

Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá - ISSN 1517-8048
DOI: 10.4025/revtecnol.v29i1.50081

GOMES, P.C.C., **Optimization and characterization of high-strength selfcompacting concrete**, Tese de D.Sc, UPC, Catalunya, Barcelona, 2002.

GRACE (2017). **Aditivos para concreto**, https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/grace/adva_cast525.pdf. Acesso em junho de 2019.

MENDES, R. R.; MESQUITA ROEHL, D.; SÁNCHEZ FILHO, E. S. **Estudo experimental de corpos de prova de concreto com fibras de aço sujeitos à tração por compressão diametral e à tração direta**. Rio de Janeiro, 2016. 161 p. Dissertação de Mestrado− Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. 2014. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2.ed. São Paulo: IBRACON.

MELCHERS, R. E. **Structural Reability: analysis and prediction,** Ellis Horwood Limited, ISBN: 0-85312-930-4, 1987

MOHAMMADI, Y.; SINGH, S. P.; KAUSHIK, S. K. **Properties of steel fibrous concrete containing mixed fibres in fresh and hardened state.** *Constr. Build. Mater*. V. 22, p. 956–965, 2008.

RILEM-FIP-CEB. **Bond test for reinforcing steel: 1-Beam test (7-II-28 D). 2-Pullout test (7-II-128): Tentative recommendations**. RILEM *Journal Materials and Structures*, v.6, n.32, p.96-105, 1973.

SILVA, R. D. **Estudo da aderência aço-concreto em pilares mistos preenchidos**. São Carlos, 2006. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2006.

SHAH, S.P. FERRARA, L.; **Self consolidating fiber reinforced concrete.** *In R. Gettu, editor, Sevnth. Intnl. RILEM Symposium on Fibre Reinforced Concrete: Design and Applications*, 2008, pp. 641-659. Chennai, India.

SHIMOSAKA, T. J.; **Influência do teor de diferentes tipos de fibras de aço em concretos autoadensáveis.** Tese de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

SHINDOH, T; MATSUOKA, Y. (2003). **Development of combination-type self compacting concrete and evaluation test methods**. *Journal of Advanced Concrete Technology*, vol. 1, No. 1, pp. 26-36.

VLIET, A.J.B; **Bond of Deformed Reinforcing Steel Bars Embedded in Steel Fiber Reinforced Concrete** – State-of-the-Art Report. Ed. Delft Cluster, 2001.