

Estudo da influência do concreto com fibras e do diâmetro da barra na “bond toughness”

Study of the influence of concrete with fibers and the diameter of the bar on the bond toughness

Fernanda Martins Cavalcante de Melo (1); Anna Cristina Araújo de Jesus Cruz (1); Marcos Antônio de Souza Simplicio (2).

(1) Professora Mestre, Instituto Federal de Sergipe
(2) Professor Doutor, Universidade Federal de Campina Grande
fernanda.melo.ifs@gmail.com

Resumo

Uma medida adicional das características de aderência de barras de aço em concreto é a tenacidade que as fibras proporcionam ao compósito, ou seja, a absorção de energia durante o deslizamento. Portanto, essa pesquisa tem como objetivo estudar a influência da incorporação de fibras e do diâmetro da barra na tenacidade (“bond toughness”) de concretos submetidos ao ensaio de aderência. Na confecção das amostras foram utilizados três diâmetros de barra (10, 12.5 e 16 mm) e três tipos de fibras (aço, polipropileno e vidro). Foram dosadas quatro misturas, envolvendo um concreto de referência (sem fibras) e três concretos com fibras, nos teores usuais para controle de fissuração, sendo para fibras de aço: 24 kg/m³ e para fibras de polipropileno e vidro: 600 kg/m³. Os concretos foram caracterizados em função da carga de aderência versus deslizamento da barra de aço, obtidos de acordo com o esquema de ensaio tipo *push-out*, proposto pelo RILEM AAC 8.2 (1992). Foram confeccionados corpos de prova prismáticos com aresta de 200 mm e comprimento de ancoragem de cinco vezes o diâmetro da barra, adotando-se recomendações do RILEM RC6 (1983). Os resultados mostraram que as fibras de aço e polipropileno aumentaram a tenacidade dos concretos com fibras em até 42% e 95%, respectivamente, em relação ao concreto sem fibras. Enquanto que as fibras de vidro reduziram a tenacidade, em até 14%. Para todas as misturas, registrou-se uma proporcionalidade entre o aumento do diâmetro e da tenacidade. Portanto, o tipo de fibras tem influência na tenacidade dos concretos, assim como o diâmetro das barras de aço.

Palavra-Chave: Tenacidade. Aderência. Concreto com fibras. Fibras de aço. Fibras de polipropileno. Fibras de vidro.

Abstract

An additional measure of the bond characteristics of steel bars in concrete is the toughness that the fibers provide to the composite, that is, the energy absorption during sliding. Therefore, this research aims to study the influence of the incorporation of fibers and the diameter of the bar on the bond toughness of concretes subjected to the bond test. In making the samples, three bar diameters (10, 12.5, and 16 mm) and three types of fibers (steel, polypropylene, and glass) were used. Four mixtures were measured, involving a reference concrete (without fibers) and three concrete with fibers, in the usual levels for crack control, being for steel fibers 24 kg/m³ and for polypropylene and glass fibers 600 kg/m³. The concretes were characterized according to the bond load versus slip of the steel bar, obtained according to the push-out test scheme, proposed by RILEM AAC 8.2 (1992). Prismatic specimens with an edge of 200 mm and anchorage length of five times the diameter of the bar were made, adopting recommendations from RILEM RC6 (1983). The results showed that steel and polypropylene fibers increased the toughness of concrete with fibers by up to 42% and 95%, respectively, in relation to concrete without fibers. Glass fibers have reduced toughness by up to 14%. For all mixtures, there was a proportionality between the increase in diameter and toughness. Therefore, the type of fibers has an influence on the toughness of concrete, as well as the diameter of steel bars.

Keywords: Toughness. Bond. Concrete with fibers. Steel fibers. Polypropylene fibers. Glass fibers.

1 Introdução

O concreto reforçado com fibras é considerado de aplicação estrutural quando as leis constitutivas de projeto consideram a resistência residual pós-pico fornecida pelas fibras. As fibras podem ser usadas para melhorar o comportamento no estado limite de serviço, uma vez que pode reduzir o espaçamento e abertura das fissuras, melhorando assim a durabilidade. Fibras também podem ser usadas para melhorar o comportamento no estado limite último (FIP-MODEL CODE (2010)).

Quando o volume de fibras é suficiente, ocorrendo a primeira fissura no compósito, ocorrerá a redistribuição da carga entre a matriz e as fibras. O aumento da tenacidade do concreto pode evitar, ou pelo menos minimizar, a fissuração oriunda das alterações de temperatura ou da umidade relativa, e pode aumentar a resistência à carga dinâmica. Infelizmente, as fibras ainda são pouco utilizadas em aplicações estruturais, isso ocorre porque a maioria dos códigos de projeto estrutural para o concreto baseia-se na resistência do material como o principal critério de projeto. A principal preocupação é a carga de pico que uma estrutura pode suportar, ao invés do comportamento pós-pico (BENTUR; MINDESS (2007)).

Uma medida adicional das características de aderência de barras de aço em concreto é a tenacidade que as fibras proporcionam ao compósito durante a solitação de aderência aço-concreto, ou seja, a absorção de energia durante o deslizamento da barra. Essa tenacidade é influenciada por alguns fatores, que tem sido objeto de estudos. Dentre eles, o teor de fibras, sendo constatado que o acréscimo de incorporação resulta em melhoria da tenacidade (HUANG *et al.* (2016); ZHENG; LI; WANG (2012)). Também, verifica-se que as amostras com barras de maior diâmetro apresentam maior ductilidade (GANESAN *et al.* (2014)).

HOU *et al.* (2020) estudaram o comportamento da aderência aço-concreto e observaram na curva tensão de aderência-deslizamento, das amostras de concreto com fibras, um ramo descendente mais estável que o concreto simples (sem fibras). Atribuído ao desenvolvimento controlado de fissuras na interface (aço-concreto) e a redução dos danos em função da ação de intertravamento mecânico entre o concreto com fibras e a armadura, causado pela capacidade de tensão pós-fissuração superior e da ação de ponte que as fibras exercem nas fissuras.

HUANG *et al.* (2016) realizaram um estudo experimental sobre o desempenho da aderência da barra de aço incorporada em concreto com fibras híbridas de aço e polipropileno e constataram que amostras com fibras de aço resultaram em uma melhor capacidade de dissipação de energia. Assim como, para as amostras com fibras de polipropileno.

SOYLEV (2011) estudou o efeito da variação do tipo de fibra na aderência entre concreto e barras de aço e verificou que a adição de fibras ao concreto proporcionou uma maior capacidade de absorção de energia, o que resultou em uma maior integridade estrutural das amostras de concreto durante a ruptura.

Na pesquisa de DANCYGIER *et al.* (2010) os deslizamentos de concreto com fibras foram claramente maiores que o concreto sem adição. Assim, a melhoria na tenacidade foi alcançada com a adição das fibras, principalmente nos concretos de alta resistência. Ainda se observou que, somente para barra de maiores diâmetros, ocorreram fissuras significativas durante o ensaio de arrancamento.

HARAJLI *et al.* (1997) estudaram a aderência aço-concreto, adotando o ensaio de flexão, e observaram que as fibras de polipropileno não foram tão eficazes no aumento da resistência, mas melhoraram a ductilidade na ruptura por aderência comparada ao concreto simples.

A tenacidade na aderência (“*bond toughness*”) tem sido adotada para representar a capacidade de dissipação de energia durante o deslizamento da barra de aço no concreto. De acordo com os métodos de avaliação da tenacidade à flexão ASTM C1609 (ASTM (2010)), JSCE – SF4 (JSCE (1984)), pesquisadores tem adotado essa metodologia para analisar a tenacidade na aderência (HOU *et al.* (2019); HOU *et al.* (2020)). Assim, essa pesquisa tem como objetivo estudar a influência da incorporação de fibras e do diâmetro da barra na tenacidade de concretos submetidos ao ensaio de aderência. Na confecção das amostras foram utilizados três diâmetros de barra (10, 12.5 e 16 mm) e três tipos de fibras (aço, polipropileno e vidro). Os concretos foram caracterizados em função da carga de aderência versus deslizamento da barra, obtidos de acordo com o esquema de ensaio tipo *push-out*, proposto pelo RILEM AAC 8.2 (1992).

2 Materiais e Métodos

2.1 Materiais

O cimento utilizado foi CP II Z-32 (Cimento Portland Composto com Pozolana), cuja caracterização se encontram na tabela 1. Os agregados graúdos adotados foram pedras britadas de origem granítica, comercialmente denominada de brita 1 e 2. O agregado miúdo empregado foi a areia de cava. A caracterização dos agregados foi determinada e está apresentada na tabela 2, com as respectivas normas dos ensaios.

Tabela 1 – Caracterização do Cimento Portland.

Propriedades	Resultados	Normalização
Índice de finura (%)	0,87	NBR 11579 (ABNT, 2013)
Início de pega (min)	145	NBR 16607 (ABNT, 2018)
Massa específica real (g/cm³)	3,01	NBR 16605 (ABNT, 2017)

Tabela 2 – Caracterização dos agregados.

Propriedades	Areia	Brita 1	Brita 2	Normalização
Massa específica(g/cm³)	2,62	2,67	2,67	NBR NM 53 (ABNT, 2009)
				NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Diâmetro máximo (mm)	4,8	12,5	25	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Módulo de Finura	2,5	5,8	7,5	
Massa unitária compactada (kg/m³)	-	1400	1450	NBR NM 45 (ABNT, 2006)

Na tabela 3 são dispostas as propriedades das fibras utilizadas nessa pesquisa. As fibras de aço recebem o nome comercial de Wirand®FF4, são produzidas a partir de aço com baixo teor de carbono, trefilado a frio. Essa fibra é produzida no Brasil pela empresa Maccaferri. Possui ancoragens nas extremidades, com a finalidade de melhorar a aderência da fibra na matriz cimentícia. As fibras de polipropileno recebem o nome comercial de FibroMac®, doadas pela empresa Maccaferri, é comercializada na forma fibrilada, em sacos hidrossolúveis. As fibras de vidro recebem o nome comercial de Fibra de Vidro AR 13 (resistente a álcalis) e foram doadas pela empresa Fibertex. Essa fibra é produzida na China e comercializada na forma fibrilada, em sacos plásticos.

Tabela 3 – Propriedades gerais das fibras.

Propriedades	Aço (A)	Polipropileno (P)	Vidro (V)
Comprimento (mm)	60	12	12
Diâmetro (mm)	0,75	0,018	0,014
Densidade (g/cm³)	7,85	0,91	2,68
Resistência à tração (MPa)	1100	300	1700
Módulo de Elasticidade (GPa)	210	3	74

Os aditivos empregados foram um superplastificante (Viscocrete® 5800 FTN) e um plastificante de pega retardada (Sikament® PF 171 R), doados pelo fabricante. O aço utilizado para confecção dos corpos de prova foi o CA 50 (aço para concreto armado) com superfície nervurada, tensão de escoamento de 563,33 MPa e tensão de ruptura de 673,01 MPa, ambas determinadas experimentalmente. Foram utilizadas barras com diâmetros nominais de 10 mm, 12,5 mm e 16 mm. As características geométricas das barras são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 – Propriedades gerais das fibras.

ϕ (mm)	Altura da nervura (mm)	Distância entre nervuras (mm)
10	0,78	6,0
12,5	1,05	8,1
16	1,45	9,6

2.2 Dosagem dos concretos

A dosagem do concreto de referência (sem fibras) foi determinada pelo método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e apresentado por RODRIGUES (1998). Adequações nos traços foram realizadas, considerando os ensaios experimentais. Adotou-se um traço em massa de 1:1,81:2,82 com a/c de 0,47. Foram dosadas quatro misturas, envolvendo um concreto de referência, sem fibras (REF) e três concretos com fibras (CF), nos teores usais para controle de fissuração, sendo para fibras de aço (FA), 24 kg/m³ e para fibras de polipropileno (FP) e vidro (FV), 600 kg/m³. Utilizou-se 0,7% de aditivo superplastificante e 0,8% do plastificante de pega retardada, em relação a massa do cimento.

2.3 Confecção dos corpos de prova

Para cada tipo de concreto foram moldados nove corpos de prova para o ensaio de aderência (*push-out*), três por diâmetro de barra (10, 12,5 e 16 mm), sendo os corpos de prova prismáticos nas dimensões 20 cm x 20 cm x 20 cm e comprimento de ancoragem de cinco vezes o diâmetro da barra, adotando-se recomendações do RILEM RC6 (1983).

A mistura dos constituintes do concreto foi realizada em betoneira de eixo inclinado e as fibras foram adicionadas fracionadamente, para facilitar sua dispersão na mistura fresca. Na preparação dos corpos de prova para o ensaio de *push-out*, a fim de garantir que o trecho da barra de aço sem aderência não tivesse contato com o concreto, foi utilizada uma mangueira plástica (figura 1(a)). O espaço livre sob a mangueira foi envolvido com fita adesiva, para evitar que o concreto fresco penetrasse na mangueira e tivesse ligação direta com a barra.

O adensamento do concreto foi efetuado de forma manual. Os corpos de prova foram rotulados (figura 1 (b)), desmoldados com 24 horas e colocados no processo de cura por imersão em água, onde permaneceram até a idade de 28 dias. Após essas etapas, os corpos de prova foram estocados em média por 57 dias, nas condições ambientais do laboratório (figura 1 (c)), até a data do ensaio, que ocorreu após uma média de 85 dias da concretagem das amostras, a fim de isolar o crescimento da resistência à compressão como variável.



Figura 1 - Confecção dos corpos de prova, (a) uso da mangueira plástica na zona não aderente da barra; (b) moldagem e (c) estocagem em laboratório.

2.4 Ensaio de aderência por *push-out*

O ensaio de *push-out* proposto nesta pesquisa foi realizado com corpos de prova prismáticos de concreto, foi empregado o mesmo esquema de ensaio utilizado RILEM AAC 8.2 (1992), neste ensaio é aplicada uma força de compressão em uma das extremidades, de forma gradual, a fim de empurrar a barra de aço envolvida em um prisma de concreto; enquanto a outra extremidade não é tensionada. Todas as amostras foram carregadas além da carga máxima como objetivo de analisar a influência das fibras na tenacidade de concretos submetidos ao ensaio de aderência. Os ensaios foram

realizados em máquina universal de ensaios, da marca INSTRON, com célula de carga de 250 kN. Para obtenção dos dados, carga aplicada e deslocamento da barra, foi utilizado o software Instron Bluehill® 3. A fim de verificar se o deslocamento medido no ensaio era preciso, foi utilizado o relógio comparador. Na figura 2 é apresentado o esquema do ensaio.

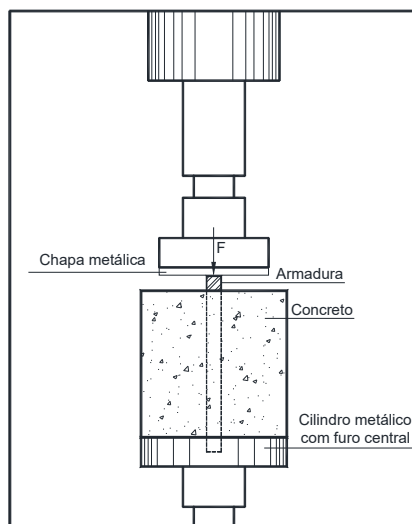


Figura 2 - Esquema do ensaio de aderência por *push-out*.

2.5 Curvas carga de aderência versus deslizamento e a *bond toughness*

Para representação gráfica das curvas carga de aderência versus deslizamento da barra, foi adotada a metodologia de SIMPLÍCIO (2008), na qual a tensão de aderência foi resultante da média aritmética das tensões obtidas nos ensaios para um determinado deslizamento. Para desenvolvimento da metodologia de cálculo, foi utilizado o software Origin8, onde se fixou os deslocamentos de uma das curvas, e procurou-se nas demais curvas, por meio de interpolação spline cúbica, os valores correspondentes de tensões para o deslocamento fixado. Em sequência, a tensão relativa a um determinado deslocamento resultou da média aritmética das leituras obtidas nos ensaios.

Considerando que as fibras possuem maior atuação no concreto no trecho pós-pico e com a comprovação que as curvas do ensaio de aderência apresentam um trecho elástico inicial praticamente estável, sem sofrer influência significativa do tipo de concreto; essa pesquisa adotou para o cálculo da tenacidade na aderência, denominada como “*bond toughness*” (HOU *et al.* (2020); HOU *et al.* (2019)), a área sob a curva (A) carga de aderência (F) – deslizamento (d) considerando o intervalo entre o deslizamento correspondente a tensão máxima, de pico (dp) e o deslizamento até 5 mm. A área foi determinada e expressa em kN.mm a partir do cálculo da integral (Equação 1), utilizando o software Origin8.

$$A = \int_{dp}^5 F dd \quad (\text{Equação 1})$$

3 Resultados e Discussão

Neste tópico, serão apresentadas as curvas obtidas no ensaio de aderência por *push-out*, com as respectivas áreas adotadas para o cálculo da tenacidade na aderência (figuras 3, 4 e 5). Ainda, os valores da *bond toughness* (figuras 6 e 7), adotada para representar a capacidade de dissipação de energia durante o deslizamento da barra de aço. Também serão realizadas as discussões desses resultados, considerando as variáveis adotadas: tipo de fibra (aço, polipropileno e vidro) e o diâmetro da barra (10, 12,5 e 16 mm).

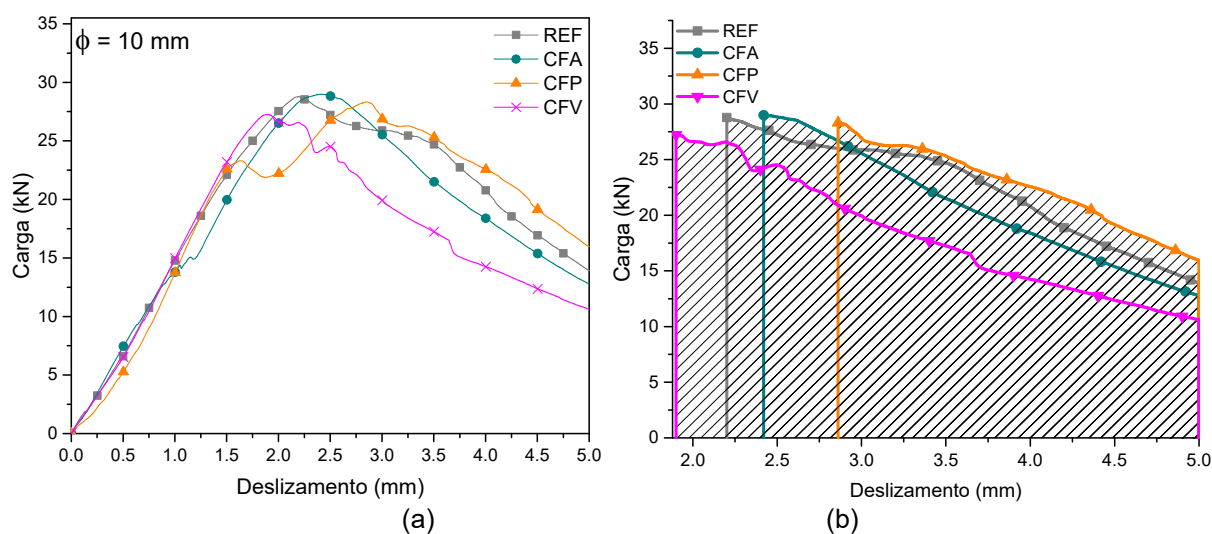


Figura 3 - Curvas carga de aderência versus deslizamento da barra de 10 mm, (a) completa; (b) pós-pico

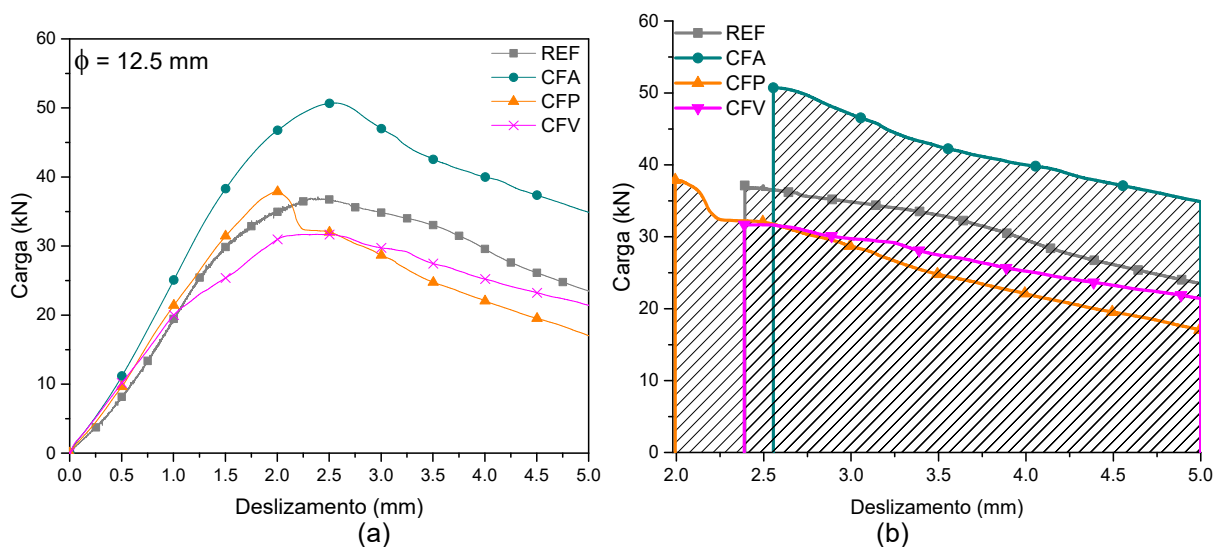


Figura 4 - Curvas carga de aderência versus deslizamento da barra de 12,5 mm, (a) completa; (b) pós-pico.

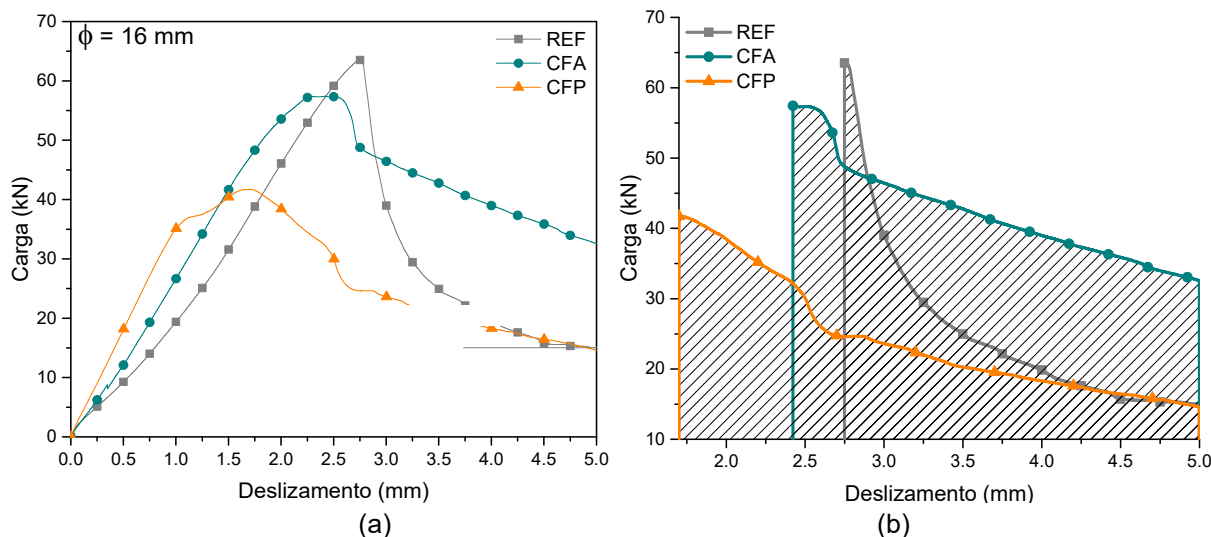


Figura 5 - Curvas carga de aderência versus deslizamento da barra de 16 mm, (a) completa; (b) pós-pico.

Nota-se, nas figuras 3, 4 e 5, a representação da curva típica carga de aderência versus deslizamento, onde o primeiro trecho da curva refere-se ao estágio no qual as nervuras penetram na matriz cimentícia; caracterizado por esmagamento local e microfissuração. Um trecho descendente que se refere à redução da resistência de aderência devido ao corte dos consolos de concreto entre as nervuras. Um nível horizontal, que ocorre geralmente para o concreto confinado, referente ao esmagamento avançado do concreto entre as nervuras. Esse nível representa uma capacidade de resistência à aderência residual, que é mantida por um confinamento da fibra pelo concreto, mantendo um certo grau de integridade do elemento (FIP-MODEL CODE (2010)).

3.1 Influência do tipo de fibra na *bond toughness*

Com objetivo de verificar a influência do tipo de fibra na *bond toughness* foram criadas as figuras 6(a), 6(b) e 6(c), resultantes das áreas representadas nas figuras 3 (b), 4(b) e 5 (c), onde são apresentados os resultados dos concretos produzidos, por diâmetro da barra de aço. Observa-se que para as amostras com barra de:

- 10 mm, todos os concretos com fibras apresentaram desempenho inferior ao concreto sem fibras, reduzindo em 11% - 23% a tenacidade dos concretos.
- 12,5 mm, as fibras de aço aumentaram a tenacidade do concreto, em 26%. As fibras de polipropileno um acréscimo de 5%. Enquanto, que as fibras de vidro reduziram em 14%.
- 16 mm, novamente as fibras de aços demonstram eficácia no aumento da tenacidade dos concretos, com incremento de 95% em relação ao REF. As fibras de aço dobraram aproximadamente a capacidade de absorção de energia do concreto, assim como registrado no estudo de POON; SHUI; LAM (2004). As fibras de polipropileno também resultaram em melhoria da tenacidade, com um acréscimo de 42%.

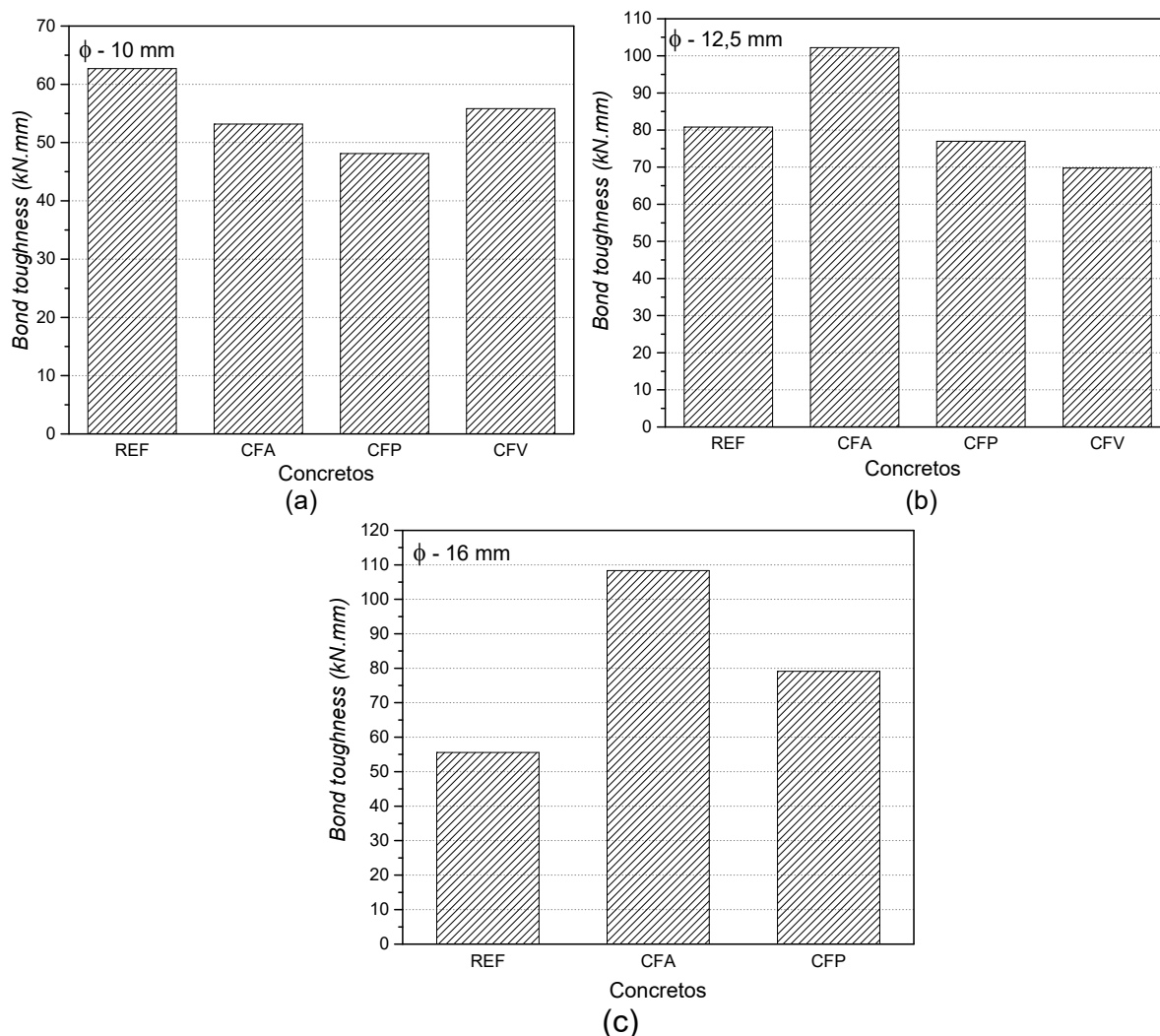


Figura 6 - *Bond toughness* dos concretos produzidos, por diâmetro (a) 10 mm; (b) 12,5 e (c) 16 mm.

Logo, constata-se, que as fibras de aço melhoraram a capacidade de dissipação de energia durante o deslizamento da barra de aço, ou seja, a tenacidade da maioria dos concretos, assim como já constatado em estudos anteriores (HAUNG *et al.* (2016); SOYLEV (2011); POON; SHUI; LAM (2004); NATARAJA; DHANG; GUPTA (1999). TAERWE; GYSEL (1996)). As fibras de aço geram um aumento no número de fissuras na região tensionada, restringem o crescimento das fissuras de divisão e melhoram substancialmente a ductilidade na ruptura por aderência (HARAJLI *et al.* (1997)). Assim, as fibras atuam como ponte de transferência de tensão ao longo da fissura, contribuindo para a capacidade de carga (SOYLEV (2011)).

As fibras de polipropileno também contribuíram para melhoria da tenacidade dos concretos, em percentuais menores que as fibras de aço. Semelhantemente a outras pesquisas (POON; SHUI; LAM (2004); HARAJLI *et al.* (1997)). Resultados diferentes foram relatados por GANESAN *et al.* (2014), adotando barras de 12 mm, onde encontraram ductilidade superior para o concreto sem fibras em relação ao CFP, para um

volume de 0,1%. Uma das possíveis causas dessa oscilação no desempenho do concreto com fibras de polipropileno pode ser atribuída ao fato de essas fibras possuírem reduzida aderência e má dispersão na matriz cimentícia, de acordo com o ACI 544.1R (2009) e BENTUR; MINDESS (2007). Assim, essa aderência e dispersão das fibras na matriz podem não ocorrer de forma eficiente para todas as misturas.

Já os concretos com fibras de vidro apresentaram baixa tenacidade, assim como SOYLEV (2011) observou em sua pesquisa, a fragmentação de amostras submetidas ao ensaio de arrancamento, que pode ser atribuída pela baixa tenacidade do CFV, com a incorporação desse tipo de fibra.

3.2. Influência do diâmetro da barra na *bond toughness*

A influência do diâmetro da barra se mostrou significativa na *bond toughness* dos concretos produzidos, conforme pode ser observada na figura 7. Constata-se que para todos os concretos com fibras a tenacidade é aumentada à medida que se aumenta o diâmetro da barra, o que pode ser justificado pelo aumento da parcela mecânica da carga de aderência, com maiores solicitações do concreto em torno da barra.

Assim, evidencia-se a ação de confinamento causado pelas fibras, que também controlam a fissuração radial próxima da armadura. Após a fissuração inicial e um aumento da carga a compressão radial, exercida sobre o concreto pelas nervuras da barra, é redistribuída para toda a matriz, por causa da presença de fibras, segundo GANESAN *et al.* (2014), que também registraram melhor ductilidade para as amostras com barra de 16 mm comparadas a de 12 mm, em concretos com fibras de aço e polipropileno.

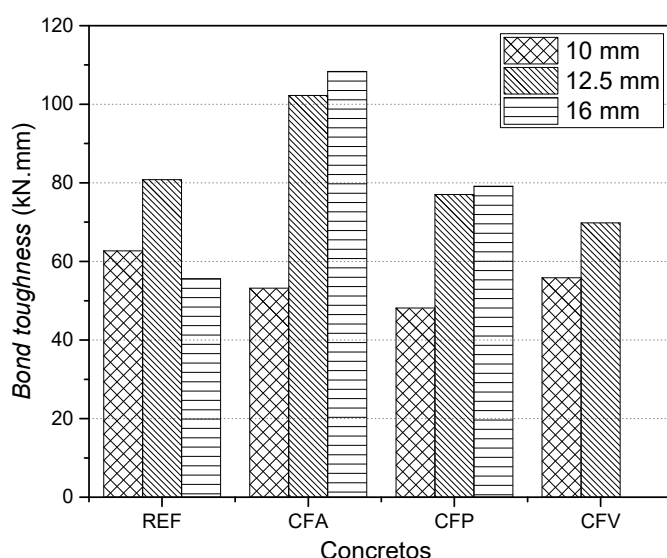


Figura 7 - *Bond toughness* de todos concretos produzidos.

Ainda, observa-se que no concreto de referência o aumento do diâmetro da barra para 16 mm reduziu a tenacidade do concreto, demonstrando o comportamento frágil do material, sem fibras, conforme representação na figura 5. E nas barras de 10 mm as fibras não se mostraram eficientes na melhoria da tenacidade dos concretos, com traçado de curvas semelhantes (figura 3).

4 Conclusões

A presente pesquisa versa sobre o estudo a influência da incorporação de fibras e do diâmetro da barra na tenacidade de concretos submetidos ao ensaio de aderência. Tal estudo foi realizado por meio da análise comparativa da área referente ao trecho pós-pico da curva carga de aderência versus deslizamento, denominada *bond toughness*. Os resultados foram comparados com os obtidos nessa e outras pesquisas experimentais. As seguintes conclusões são listadas:

- (1) As fibras de aço melhoraram a capacidade de dissipação de energia durante o deslizamento da barra de aço, ou seja, a tenacidade da maioria dos concretos.
- (2) As fibras de polipropileno também contribuíram para melhoria da tenacidade dos concretos. No entanto, em percentuais menores que as fibras de aço.
- (3) As fibras de vidro não geraram efeito benéfico na tenacidade dos concretos.
- (4) A tenacidade é aumentada à medida que se aumenta o diâmetro da barra, para todos os concretos com fibras.

Portanto, o tipo de fibras teve influência na tenacidade dos concretos, assim como o diâmetro das barras de aço.

5 Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53:** Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579:** Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm . Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605:** Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16607:** Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 2018.

ACI - AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI COMMITTEE 544. **544.1R:** report on fiber reinforced concrete. Detroit, USA, 2009.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 1609.** Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam with Third-Point Loading). ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fiber reinforced cementitious composites.** 2.ed. Taylor & Francis, 2007.

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, p. 839–856, 2010.

FIP - FEDERATION INTERNATIONALE DE BETON. **FIP-Model Code 2010:** first complete draft. Lausanne: fib, bulletin 55, v.1, March 2010.

GANESAN, N.; INDIRA, P.V.; SABEENA, M.V. Bond stress slip response of bars embedded in hybrid fibre reinforced high performance concrete. **Construction and Building Materials**, v. 50, p. 108–115, 2014.

HARAJLI, M. H.; SALLOUKH, K. A. Effect of fibers on development/splice strength of reinforcing bars in tension. **ACI Materials Journal**, julho-agosto, 1997.

HOU, L.; GUO, S.; ZHOU, B.; CHEN, D.; ASLANI, F. Bond-slip behaviour of corroded reinforcement and ultra-high toughness cementitious composite in flexural members. **Construction and Building Materials**, v. 196, p. 185-194, 2019.

HOU, L.; XU, R.; ZANG, Y.; OUYANG, F.; CHEN, D.; ZHONG, L. Bond behavior between reinforcement and ultra-high toughness cementitious composite in flexural members. **Engineering Structures**, v. 210, p. 110357, 2020.

HUANG, L., *et al.* Local bond performance of rebar embedded in steel-polypropylene hybrid fiber reinforced concrete under monotonic and cyclic loading. **Construction and Building Materials**, v. 103, p. 77–92, 2016.

JSCE - JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **JSCE-SF4 III**, Parte Method of tests for steel fiber reinforced concrete, 1984.

NATARAJA, M.C.; DHANG, N.; GUPTA, A.P. Stress–strain curves for steel-fiber reinforced concrete under compression. **Cement and Concrete Composites**, v. 21, p. 383–390, 1999.

POON, C.S.; SHUI, Z.H.; LAM, L. Compressive behavior of fiber reinforced high-performance concrete subjected to elevated temperatures. **Cement and Concrete Research**, v. 34, p. 2215–2222, 2004.

RILEM - INTERNATIONAL UNION OF LABORATORIES AND EXPERTS IN CONSTRUCTION MATERIALS, SYSTEMS AND STRUCTURES. **RILEM RC6 - TC9-RC**, Bond test for reinforcement steel: 2. Pull-out test, RILEM Technical Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials, 1983.

RILEM - INTERNATIONAL UNION OF LABORATORIES AND EXPERTS IN CONSTRUCTION MATERIALS, SYSTEMS AND STRUCTURES. **RILEM AAC 8.2**, Push-out test for reinforcement, 1992. In: RILEM Recommendations for the Testing and Use of Constructions Materials, E & FN SPON, 1994.

RODRIGUES, P.P.F. **ET-67 Parâmetros de dosagem do concreto**. 2. ed. São Paulo, ABCP, 1998.

SIMPLÍCIO, M. A. de S. **Estudo sobre a aderência entre barras de aço e concreto reforçado com fibras**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife,



Anais do
62º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2020
Setembro / 2020



@ 2020 - IBRACON - ISSN 2175-8182

2008.

SOYLEV, T. A. The effect of fibers on the variation of bond between steel reinforcement and concrete with casting position. **Construction and Building Materials**, v. 25, p. 1736–1746, 2011.

TAERWE, L.; GYSEL, A.V. Influence of steel fibers on design stress-strain curve for high-strength concrete. **Journal of Engineering Mechanics**, v. 122, p. 695–704, 1996.

ZHENG, W.; LI, H.; WANG, Y. Compressive stress–strain relationship of steel fiber reinforced reactive powder concrete after exposure to elevated temperatures. **Construction and Building Materials**, v. 35, p. 931–940, 2012.