

CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO

Mariane Caroline de Araujo Braz¹
Felipe Bomfim Cavalcante do Nascimento²

Engenharia Civil



ISSN IMPRESSO 1980-1777
ISSN ELETRÔNICO 2357-9919

RESUMO

O foco do presente trabalho é o concreto reforçado com fibras de aço. Desta forma, este artigo tem por finalidade apresentar essa tecnologia, que mesmo estando presente na construção civil desde 1960 ainda não é muito conhecida; suas vantagens em relação ao concreto convencional, que dentre as principais está o aumento na resistência mecânica de tração e no controle de uma das maiores patologias desse material – a fissuração; os principais condicionantes que garantem o bom desempenho do CRFA e explicar como ocorre a interação entre a matriz-fibra. O estudo apontou que a diferença do custo entre o concreto com fibras e o concreto convencional não é grande, visto que a mistura, o transporte e lançamento do concreto não muda com a incorporação de fibras e a espessura de uma laje de CRFA projetada para um dado carregamento, por exemplo, pode ser substancialmente reduzida, tornando assim insignificante a diferença total no primeiro custo. Entretanto, concluiu-se que esse satisfatório custo-benefício somente é possível em obras de grande porte como: concreto projetado para túneis, pavimentos, tubos de esgoto e outros. Para alcançar esse objetivo, utilizou-se uma revisão bibliográfica, realizada a partir de diferentes fontes tais como: livros, artigos científicos e monografias.

PALAVRAS-CHAVE

Concreto Reforçado com Fibras. Tração. Fissuração. Vantagens. Concreto Convencional.

ABSTRACT

The focus of this work is reinforced concrete with steel fibers. Thus, this article aims to present this technology, even being present in construction since 1960 is still not well known; its advantages compared to conventional concrete, which is among the main increase in the strength of traction and control of a major pathologies such material - the cracking; the main conditions that guarantee the performance of the CRFA and explain how the interaction occurs between the matrix-fiber. The study showed that the difference in cost between the concrete with fibers and conventional concrete is not great, since the mixing, transport and placing of concrete does not change with the addition of fiber and the thickness of a CRFA slab designed for a given load, for example, can be substantially reduced, thus making insignificant the total difference in the first charge. However, it was concluded that satisfactory cost-benefit is possible only in major projects such as shotcrete for tunnels, pavements, drainage pipes and others. To achieve this goal, we used a literature review, performed from different sources such as books, scientific articles and monographs.

KEYWORDS

Reinforced Concrete with Fibers. Traction. Cracking. Advantages. Conventional Concrete.

1 INTRODUÇÃO

O concreto convencional formado por aglomerante, agregados naturais, água e aditivos é hoje o material mais utilizado na construção civil. Conforme Figueiredo (2011) isso é devido ao baixo custo e a capacidade de se acomodar a distintas condições de produção. Entretanto, o mesmo ainda possui algumas deficiências como a dificuldade de ocupar totalmente peças esbeltas muito armadas, baixa ductilidade, retração plástica e permeabilidade em ambientes úmidos, que originam várias patologias. A amenização ou extinção destas carências viraram o foco de pesquisa de vários especialistas, o que resultou no surgimento, ao longo dos anos, dos chamados concretos especiais, os quais trouxeram alguns avanços em relação ao concreto convencional.

Os concretos especiais podem ser definidos como materiais de características específicas devido ao aprimoramento da tecnologia, que melhorou as deficiências do concreto tradicional ou incorporou propriedades não inerentes a este material, além de atender particularidades de cada obra, com produtos para serem empregados em locais/condições em que o concreto convencional não pode ser aplicado (FIGUEIREDO ET AL., 2004). Desta forma foram desenvolvidos vários tipos os concretos leves, de alto desempenho, autoadensável, massa, pesado, rolado, com retração compensada, com polímeros, fibras e outros.

Segundo Góis (2010, p. 21) uma grande limitação do concreto convencional é a baixa resistência à tração, que é de apenas 7 a 10% de sua resistência à compressão, o concreto reforçado com fibras (CRF) é uma das alternativas mais utilizadas para melhorar o desempenho à tração. Mehta e Monteiro (2014, p. 490) afirmam que a resistência ao impacto é outra deficiência do concreto que tem sido aprimorada pela utilização da microarmadura de reforço (fibras).

De forma geral, as fibras podem ser classificadas como naturais, artificiais ou sintéticas. As artificiais se subdividem em inorgânicas e orgânicas. Dentro das inorgânicas encontram-se as de carbono (CF), vidro (GF), cerâmica (CEF) e metal (MTF) (JUNIOR E ROCHA, 2011, p. 20). Elas diferem entre si pela composição física e química, propriedades mecânicas e resistência quando expostas aos meios agressivos (VENDRUSCOLO, 2003). Não é de hoje que as fibras são utilizadas na construção civil. A Sagrada Escritura relata o uso da mesma no Antigo Egito, onde palha era empregada na fabricação de tijolos.

“Dentre os diferentes tipos de fibras, as de aço são as mais utilizadas para aplicações estruturais e são levadas em consideração em muitas aplicações não estruturais” (MEHTA E MONTEIRO, 2014, p. 547). Estas apresentam um formato bastante variável com o intuito de elevar a sua aderência com a matriz cimentante e cada vez mais tem sido alvo em um número cada vez mais elevado de pesquisas, com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas dos materiais de construção.

O CRFA é uma mistura heterogênea, denomina de compósito, de dois materiais distintos que é o concreto (matriz) e as fibras de aço. O resultado é um material que combina as características de seus componentes de maneira adequada, visando um melhor desempenho estrutural. Este novo material vem para suprir as carências do concreto tradicional, porém o seu uso necessita de estudo, compreensão e aperfeiçoamento do seu comportamento.

Com isso, afirma-se que o ponto central desta pesquisa bibliográfica será o concreto reforçado com fibras metálicas de aço, destinado ao reforço estrutural, e a finalidade será apresentar a tecnologia do CRFA e como a adição de fibras de aço agem na matriz cimentícia e controlam a fissuração, além de verificar os principais condicionantes que garantem o bom desempenho desse material e comprova as vantagens do seu uso em relação ao concreto convencional.

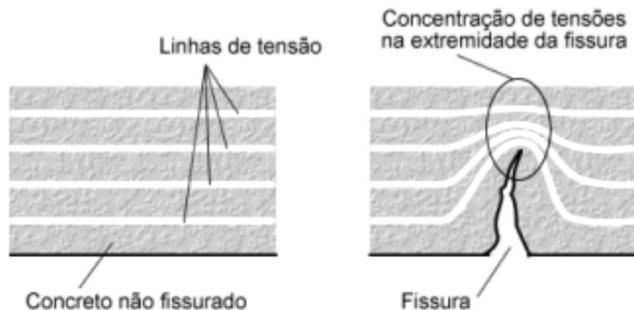
2 A TECNOLOGIA DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO E A AÇÃO DA FIBRA NA MATRIZ CIMENTÍCIA

O concreto simples apresenta várias limitações relacionadas ao seu comportamento frágil. Devido a isso e a constantemente ação de cargas externas (tração), mudanças na temperatura, na umidade do meio ambiente e principalmente pelo efeito

da retração hidráulica o material segundo Góis (2010, p. 63) regularmente contém muitas microfissuras na zona de transição entre a matriz e os agregados graúdos, e pouca energia é necessária para que ocorra o aumento destas fissuras. As fibras quando são adicionadas em módulo e quantidade (teor) apropriada minimizam esse comportamento frágil.

No interior do concreto, tensões originadas pelos esforços sobre a estrutura, se propagam e de acordo com Figueiredo (2000), quando o concreto simples apresenta uma fissura, a mesma irá representar uma barreira à propagação dessas tensões. Nesse momento, a tensão que anteriormente cruzava aquele segmento contornará seu percurso para outra região que permita a sua propagação, ou melhor, passam a se concentrar na extremidade da fissura provocando um crescimento incontrolado da mesma, onde, no momento em que esta força mecânica vence a resistência da matriz, ocorrerá o rompimento abrupto do material (BARROS, 2009, p. 48), como mostra a Figura 1.

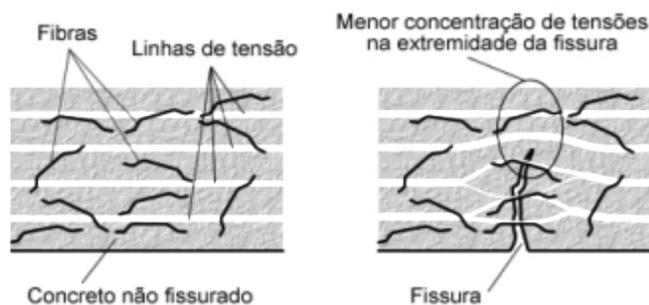
Figura 1 – Esquema da concentração de tensões para concreto sem reforço de fibras



Fonte: Barros (2009, p. 48).

No caso do concreto com adição de fibras, ocorre o retardamento no alargamento dessa doença estrutural. As fibras agem como pontes de ligação, transferindo as solicitações de um lado a outro da matriz e minimizando as tensões nas extremidades das fissuras (GOIS, 2010, p. 63), conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Esquema da concentração de tensões para concreto com reforço de fibras



Fonte: Barros (2009, p. 48).

Com isto, a rapidez de propagação dessas patologias no concreto é bastante reduzida, pois é necessária uma quantidade maior de energia para o crescimento das mesmas e o material passa a ter um comportamento pseudo-dúctil. Watanabe (2008, p. 134) afirma que:

Se as fibras forem suficientemente resistentes, bem aderidas à matriz cimentícia, e em bastante quantidade, elas ajudarão a manter pequena a abertura das fissuras. Permitirão ao CRF resistir a tensões de tração bem elevadas, com uma grande capacidade de deformação no estágio pós-fissuração (o chamado "strain softening").

Além de serem muito eficientes no controle da fissuração do concreto, as fibras metálicas contribuem para aprimorar algumas propriedades mecânicas, pois de acordo com Johnston (1994), as fibras em uma matriz cimentícia podem, em geral, ter dois efeitos importantes. Primeiro, elas tendem a reforçar o compósito sobre todos os modos de carregamento que induzem a tração, isto é, retração restringida, tração direta ou na flexão e cisalhamento. Secundariamente, as fibras melhoram a ductibilidade e a tenacidade, resistência ao cisalhamento, à torção e à fadiga em comparação ao concreto convencional.

É necessário salientar que as fibras não substituem o reforço convencional, pois estes elementos realizam papéis distintos na matriz do concreto. Há algumas aplicações onde ambas são empregadas para elevar o desempenho das estruturas.

2.1 Principais condicionantes que garantem o desempenho do CRFA

O desempenho dos compósitos reforçados com fibras é controlado principalmente pelo teor das fibras, pelo seu fator de forma, pelas suas propriedades físicas e da matriz e pela aderência entre as duas fases (HANNANT, 1994).

Por definição, as propriedades mecânicas da mistura heterogênea dependem do teor de fibras que são incorporadas no material, visto que estas formam o componente estrutural. Em princípio, quanto maior for esse teor, melhor será o desempenho, pois maior será o número de fibras que interceptará cada microfissura, evitando assim a propagação das mesmas (GARCEZ, 2006). Quando se utiliza baixos teores, ocorrem mudanças principalmente no comportamento plástico e na tenacidade do compósito, expressos pelo alongamento da curva Tensão x Deformação. Com a utilização de altos teores essa curva (Tensão x Deformação) alonga-se em níveis maiores e no estágio da pós-fissuração o valor da resistência à tração pode passar a superar o encontrado na pré-fissuração da matriz cimentícia.

Já o fator de forma trata-se da relação entre o comprimento e o diâmetro da circunferência virtual da fibra, cuja área seria equivalente à seção transversal da mes-

ma. Este é um dos principais parâmetros de caracterização desse elemento e indica a sua eficiência para melhorar a tenacidade do compósito. Segundo Mehta e Monteiro (2008), um maior fator de forma pode tanto significar uma melhora na resistência ao arrancamento da fibra, pelo aumento do comprimento de ancoragem, como um aumento ao número de fibras que podem interceptar uma fissura, decorrente da utilização de um número maior de fibras mais delgadas.

O mecanismo de arrancamento são ensaios que avaliam as propriedades mecânicas da interface entre a fibra e a matriz cimentícia. Como o próprio nome já diz no ensaio a fibra é arrancada da matriz na maioria dos casos na direção do seu eixo longitudinal. Quanto maior o comprimento de ancoragem, ou seja, maior resistência ao arrancamento, melhor o desempenho do CRFA (MEHTA E MONTEIRO, 2014, p. 557).

Segundo Chanh (2005), o melhor desempenho desse componente no concreto no estado endurecido, está diretamente relacionado com fibras de maior fator de forma, uma vez que essas melhoram a aderência fibra-matriz. Sabe-se que o comportamento do concreto reforçado com fibras é controlado pela interação fibra-matriz. Sua eficiência é determinada pelo processo de arrancamento das fibras. O mecanismo de arrancamento das fibras de aço tem sido um aspecto intensamente investigado, visto que este processo determina o comportamento do compósito após sua fissuração.

O fator forma e o teor de fibra têm efeitos relevantes nas propriedades desse concreto reforçado. Mehta e Monteiro (2008) classificam os compósitos em função da fração volumétrica de fibra, como: a) as fibras com baixa fração volumétrica, menor que 1% de fibras incorporadas no concreto, são utilizadas para reduzir a fissuração por retração. São aplicadas em lajes e pavimentos com grande superfície exposta, que são peças estruturais com altos níveis de fissuração por retração. Para reduzir a fissuração por retração nas barras e malhas de aço, as fibras apresentam várias vantagens, como: apresentam distribuição de carga eficiente quando são distribuídas uniformemente em três dimensões; são menos sensíveis à corrosão do que as barras de aço; e podem reduzir o custo de mão de obra para lançamento das barras e malhas de aço. b) as fibras com fração volumétrica moderada, entre 1% e 2%, aumentam o módulo de ruptura, de tenacidade à fratura e de resistência ao impacto. São aplicadas no concreto projetado. c) as fibras com alta fração volumétrica, maior que 2%, levam ao endurecimento por deformação dos compósitos. São conhecidos por compósitos de alto desempenho reforçado com fibras.

Em relação às propriedades físicas da relação fibra-matriz, destaca-se a elasticidade, o teor de ar incorporado, a resistência a compressão e tração. O ar incorporado no concreto é definido como ar introduzido intencionalmente, por meio de um agente apropriado, sendo este diferente do ar aprisionado. Como afirmou Mehta e Monteiro (2008) podem-se encontrar vazios preenchidos por ar dentro do concreto de duas formas: por meio de bolhas de ar incorporado ou por meio de vazios de ar

aprisionado. Os vazios de ar aprisionado, que na maioria das vezes são causados por deficiência nas dosagens e escolha dos materiais, são nefastos à qualidade final do concreto. Já as bolhas de ar incorporado substituem parte do agregado miúdo com as seguintes vantagens: possui melhor coeficiente de forma, é elástico e movimentam-se sem atrito, diminuem a porcentagem de vazios acidentais e irregulares, aumenta a coesão, diminui a exsudação, impede a sedimentação e obtura a passagem de água, diminuindo os vazios capilares. A desvantagem do ar incorporado é que, se com o aumento do seu teor não houve uma redução do consumo de água no concreto, a resistência mecânica do mesmo diminui proporcionalmente (SANTANA, 2008).

Segundo a Realmix (2010), os concretos convencionais devido ao processo de mistura contêm cerca de 1 a 3% do seu volume em ar aprisionado, nos concretos produzidos em centrais, este percentual pode chegar à ordem de 4%. O intuito da utilização de aditivos incorporadores de ar ao concreto é gerar pequenas bolhas, distintas destas macro-bolhas anteriores, pois estas contribuir muito para a trabalhabilidade do concreto, sem necessariamente trazer reduções de resistências. O teor de ar é um tema de extrema importância no desempenho do CRFA.

No que se refere à compressão, alguns autores afirmam que a fibra produz um pequeno, nenhum aumento ou até um decréscimo na resistência à compressão do CRFA. Segundo Bentur e Mindess (2007) o objetivo da adição de fibras ao concreto não é alterar a resistência à compressão do mesmo e o decréscimo pode não ser devido à adição de fibras ao concreto e sim à adição de mais água para aumentar a trabalhabilidade do mesmo. Contudo, um estudo realizado por Williamson (1974 APUD ACI 544.4R-88) observou um acréscimo de 23% resistência a compressão para um concreto com 2% de teor de fibras, no qual foram ensaiados corpos-de-prova cilíndricos de concreto com dimensão máxima do agregado de 19 mm e fibras com um fator de forma de 100.

De forma distinta, na resistência a tração direta ou indireta os aumentos são muito consideráveis, visto que esse é um dos principais objetivos da adição. Como outrora afirmou Góis (2010, p. 53) O comportamento a tração do concreto reforçado com fibras é fortemente influenciado pela presença das mesmas, especialmente na fase de pós-fissuração. Entretanto essa propriedade esta sujeita a alguns condicionantes, dentre eles o volume de fibras aplicado. Somente utilizando elevadas dosagens (cerca de 1,5% a 2% ou superiores em volume) podem ser obtidos incrementos relevantes.

Além do teor e do fator forma da fibra há outros parâmetros relevantes que influenciam na resistência de tração dos compósitos, como a geometria da fibra, forma da ligação entre a fibra e a matriz de concreto e o processo de mistura adotado.

Um volume de 5% de fibras lisas e retas de aço orientadas na direção da tração pode acarretar um aumento nessa resistência de até 130%. Para uma distribuição

aleatória das fibras, o aumento é mais moderado, atingindo valores em torno de 60% para um teor de 5% de fibras (BENTUR; MINDESS, 2007).

Outro fator determinante do comportamento final do compósito é a elasticidade da fibra (Tanesi e Agopyan, 1997). As fibras de aço possuem módulo de elasticidade que podem ser considerado alto, com isso no instante que a matriz se rompe originando as fissuras e transferindo a tensão para a fibra, esta apresentará uma boa capacidade de reforço após a fissuração, não permitindo grandes deformações do compósito nem a elevação da fissura mantendo o conjunto estável. Toledo e outros autores (2008) analisou o comportamento do concreto reforçado e concluiu que a boa dispersão das fibras de aço na matriz permitiu acréscimo no valor do módulo de elasticidade dos compósitos quando reforçado com 2% de fibras.

2.2 DESVANTAGENS E VANTAGENS DO CRFA EM RELAÇÃO AO CONCRETO CONVENCIONAL

Com base em todos estes fatores apresentado percebe-se que uma grande desvantagem do CRFA é a trabalhabilidade. Como afirmam Mehta e Monteiro (2014, p. 561)

É bem conhecido que a adição de qualquer tipo de fibra em concreto convencional reduz a trabalhabilidade. Independente do tipo de fibra, a perda da trabalhabilidade é consideravelmente proporcional ao volume de concentração de fibras no concreto [...] Geralmente, o requisito de trabalhabilidade adequada de mistura contendo fibras pode ser alcançado com o uso de ar incorporado, aditivos plastificantes, maior quantidade de pasta de cimento (com ou sem pozolana), e uso de fibras coladas em conjunto.

A redução desse importante condicionante de produtividade é motivada pelo fator de forma e pela geometria da fibra, pela fração volumétrica adicionada, pelo traço do concreto, pela granulométrica do agregado e pela aderência das fibras com a matriz. Geralmente, fibras longas e em altos teores tendem a reduzir mais a trabalhabilidade. Esses concretos produzidos de forma convencional apresentam difícil dispersão das fibras, podendo-se observar o agrupamento de fibras e consequentemente a formação de novelos. Neste contexto, a produção de concretos fluidos reforçados com fibras propicia a combinação do desempenho mecânico fornecido pelas fibras com uma boa dispersão das mesmas, pela fluidez obtida nos concretos (VELASCO, 2008; MARANGON, 2006).

Segundo Mehta e Monteiro (2014, p. 562) com a utilização de moderno superplastificantes à base de acrílico tem sido possível desenvolver concreto autoadensável reforçado com fibras de aço, visto que devido à alta trabalhabilidade, o concreto

autoadensável foi muito eficiente em acomodar a adição de fibras e que as vigas do mesmo tiveram melhor desempenho em relação a esforços de cisalhamento quando comparado com concreto convencional reforçado.

O avanço nas pesquisas acerca das propriedades do concreto reforçado com fibras tende a melhorar o desempenho deste material e abrir novos campos de aplicação. Segundo Figueiredo (2000), para algumas aplicações, o concreto reforçado com fibras apresenta vantagens tecnológicas e econômicas em relação ao convencional, como é o caso de revestimento de túneis, do concreto projetado, dos pavimentos, dos pré-moldados, entre outras aplicações. Para isso é preciso que, além do aperfeiçoamento deste material em si, o estudo do comportamento estrutural do mesmo sirva como referência para que sua aplicação seja feita de forma otimizada e segura.

Para demonstrar as suas vantagens em relação ao método convencional Mehta e Monteiro (2014, p. 576) apresentam algumas obras muito bem sucedidas com a sua aplicação:

O primeiro uso estrutural do concreto reforçado com fibras de aço foi em 1971 para a produção de painéis desmontáveis com dimensões 3250 m² por 65mm e espessura para uma garagem de estacionamento do Aeroporto Heathrow de Londres. O concreto continha 3% em massa de fibra de aço formada a frio com 0,25 mm de diâmetro por 25 mm de comprimento. Na época da última inspeção relatada, depois de 5 anos de uso, as lajes não apresentaram sinais de fissuração [...] No Aeroporto *McCarran International*, em Las Vegas Nevada, uma área existente de estacionamento de aeronave pavimentada com asfalto (53.000 m²) foi revestida com concreto reforçado com fibras de aço de 150 mm de espessura, compara com a espessura de 380 mm que seria necessária para o concreto armado convencional.

No Brasil o seu uso vem aumentando progressivamente. Segundo pesquisa com fabricantes e representantes nacionais de fibra para reforço do concreto realizada por Figueiredo (2011, p. 2) foi possível verificar que as aplicações do CRFA são muito concentradas. O mercado de fibras de aço tem como principal aplicação os pavimentos industriais. Em segundo lugar vem o concreto projetado e, em terceiro, os pré-moldados. Um exemplo é o Metrô subterrâneo – Linha Amarela – em São Paulo, no túnel do mesmo foi utilizado para suporte o concreto projetado com fibras de aço.

2.3 NORMATIZAÇÃO

Para obtenção de um resultado satisfatório nesses processos será imprescindível a elaboração de um traço correto e tomar uma série de cuidados durante o

lançamento, a vibração e a cura do concreto. Além da utilização de fibras em tamanho, proporção e forma adequada. Diante dessa necessidade, de garantir a qualidade desse novo produto a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou em 2007 a primeira norma brasileira sobre fibras de aço a NBR 15530: 2007 – Fibras de aço para concreto – Especificação.

A mesma estabelece parâmetros para a classificação das fibras de aço com baixo teor de carbono e dispõe sobre os requisitos mínimos de forma geométrica, tolerâncias dimensionais, defeitos de fabricação, resistência à tração e dobramento. Procura-se garantir que o produto fornecido em conformidade com estes requisitos tenha potencial para proporcionar um desempenho adequado ao concreto reforçado com fibras de aço (CRFA). Na NBR 15530 (2007) são previstos na norma três tipos básicos de fibras em função de sua conformação geométrica: o Tipo A corresponde a fibra de aço com ancoragens nas extremidades; o Tipo C é referente fibra de aço corrugada; e Tipo R indica a fibra de aço reta.

Além disso, existem três classes previstas para fibras de aço segundo esta norma, as quais foram definidas segundo o aço que deu origem às mesmas: a Classe I refere-se à fibra oriunda de arame trefilado a frio; a Classe II indica a fibra oriunda de chapa laminada cortada a frio; e a Classe III corresponde a fibra oriunda de arame trefilado e escarificado (GÓIS, 2010, p. 39).

Segundo Figueiredo e outros autores (2008), além dessa classificação possibilitar o estabelecimento de requisitos mínimos que podem ser correlacionados com o comportamento final do CRFA, procurou-se também abranger a maioria das fibras de aço disponíveis no mercado nacional.

3 CONCLUSÃO

Diferente de outros campos da economia de forma geral a construção civil ainda é muito resistente ao que é novo o que explica o fato de uma tecnologia como o CRFA, a qual traz enormes vantagens ao setor ainda estar restringidas a três grupos de construção: pavimentação, concreto projetado e pré-moldado. Mesmo assim, o emprego do concreto reforçado com fibras vem crescendo ao longo das últimas décadas.

Essa tecnologia veio para suprir as deficiências do concreto convencional e se for corretamente preparada e aplicada trará enormes benefícios ao setor, visto que não apresentam muita distinção nas etapas de preparação do concreto convencional, exigindo apenas uma atenção especial na dosagem, lançamento e vibração.

Como relatado o custo benéfico é muito satisfatório, entretanto presente apenas em obras de grande porte. Um grande empecilho é a diminuição na trabalhabilidade, importante condicionante da produtividade de uma obra, entretanto o mer-

cado já possui técnicas que a minimizam, como o concreto fluido reforçado com fibras de aço e superplastificantes. Percebeu-se que o seu uso é mais disseminado em países europeus principalmente devido à cultura. Contudo, o CRFA é uma ótima solução para países quentes como o Brasil, visto que a mudança de temperatura é um dos principais fatores da origem de fissuras.

REFERÊNCIA

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Design considerations for steel fiber reinforced concrete (ACI 544-4R-88). In: **Manual of concrete practice**. Detroit, Michigan, v.85, 1988.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **NBR 15530**: Fibras de aço para concreto. Especificação. Rio de Janeiro, 2007.

BARROS, A. R. **Avaliação do comportamento de vigas de concreto autoadensável reforçado com fibras de aço**. 2009. 155p. Dissertação (Pós-graduação) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.

BENTUR, A; MINDESS, S. **Fibre reinforced cementitious composites**. London and New York: Modern Concrete Technology Series, 2.ed. 2007.

CHANH, N. V. Steel fiber reinforced concrete. In: **Joint seminar on concrete engineering**. Ho Chi Minh City University of Technology, 2005. p.108-116.

FIGUEIREDO, A. D. Concreto com fibras de aço. **Boletim Técnico**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

FIGUEIREDO, A. D. *et al.* **Concretos especiais**. São Paulo: Escola Politécnica – USP, 2004. 14p. Disponível em: <<http://pcc2340.pcc.usp.br/2004/Transpar%C3%A2ncias/Concretos-especiais-004rev.PDF>>. Acesso em: ago. 2015.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras**. São Paulo, 2011. 248f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil II, São Paulo, 2011.

GARCEZ, E. O; CAETANO, L. C; Análise experimental do comportamento de concretos reforçados com fibras de aço submetidos a cargas de impacto. Congresso Brasileiro de Concreto, 48., 2006, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 2006. p.12.

GÓIS, F. A. P. **Avaliação experimental do comportamento de concreto fluido 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.

HANNANT, L; **Fibre-reinforced cements and concretes**. 2.ed. London, 1994. 518p.

JOHNSTON, C. D. **Fibre-reinforced cement and concrete**: advances in concrete technology. 2.ed. London, 1994. p.603-673.

JUNIOR, E. S. D; ROCHA, L. F. S; **Estudo de concreto com adição de fibra de polipropileno para controle da fissuração**. 2011. 110p. Monografia (Graduação) – Universidade da Amazônia. Centro de ciências exatas e tecnológicas, Belém, 2011.

MARANGON, E. **Desenvolvimento e caracterização de concretos auto-adensáveis reforçados com fibras de aço**. 2006. 142f. Dissertação (Mestrado em Estruturas) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Ibracon, 2008. 751p.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Ibracon, 2014. 674p.

REALMIX. **Importância do controle de qualidade do concreto no estado fresco**. Informativo Técnico 2. 2010. Disponível em: <www.realmixconcreto.com.br>. Acesso em: ago. 2015.

SANTANA, J. A; **Viabilidade do uso de resíduos de britagem em concretos de estruturas pré-fabricadas em Salvador**. 2008. 153f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

TANESI, J; AGOPYAN, V. **Compósitos reforçados com fibras plásticas para construção civil**. Encontro tecnologia de sistemas plásticos na construção civil, 2., 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 1997. p.219-252.

TOLEDO FILHO, R. D; FAIRBAIRN, E. M. R.; VELASCO, R. V. **Análise experimental e numérica do comportamento térmico de concretos reforçados com fibras de aço**. Congresso Brasileiro de Concreto, 50. 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: 2008. p.17.

VENDRUSCOLO, M. A. **Estudo do comportamento de materiais compósitos fibrosos para aplicação como reforço de base de fundações superficiais**. 2003. 224f. Tese (Doutorado) – PPGEC/UFRGS, Porto Alegre, RS, 2003.

VELASCO, R. V. **Concretos auto-adensáveis reforçados com elevadas frações volumétricas de fibras de aço**: propriedades reológicas, físicas, mecânicas e térmicas. 2008. 388f. Tese (Doutorado em Estruturas) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Watanabe, p. s. **Concretos especiais:** propriedades, materiais e aplicações. Bauru, 2008. 192f. Relatório final de pesquisa (Bolsa de Iniciação Científica FAPESP) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2008.

WILLIAMSON, G. R. **The effect of steel fibers on the compressive strength of concrete.** Fiber Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Detroit, MI, 1974. p.195-207. (ACI SP-44).

Data do recebimento: 09 de julho de 2015

Data de avaliação: 03 de agosto de 2015

Data de aceite: 15 de setembro de 2015

1. Acadêmica do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: mariane.carol@hotmail.com

2. Docente do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: bomfimfelipe@hotmail.com