SISTEMAS PAREDE DE CONCRETO MOLDADO NO LOCAL COM CONCRETO COM FIBRAS

DANTAS, Jéssica. A. (1); SOUZA, Daniel. A. (2); FIGUEIREDO, Antonio. D. (3); MONTE, Renata (4)

(1) Mestranda, Mestrado Profissional em Inovação na Construção Civil, Universidade de São Paulo, jessica.dantas@usp.br;

(2) Mestrando, PPGEC-USP, Universidade de São Paulo, d.souza@usp.br;

(3) Professor Associado, Universidade de São Paulo, antonio.figueiredo@usp.br;

(4) Pesquisadora Dra. Universidade de São Paulo, renata.monte@usp.br;

Resumo: *A adição de fibras é uma estratégia amplamente reconhecida para a melhoraria das propriedades de pós-fissuração do concreto, mas sua aplicação ainda é relativamente pequena quando comparada com soluções de reforço tradicionais. No Brasil, o uso do concreto com fibras (CRF) como material estrutural em edifícios é bastante limitado devido à falta de base técnica por parte da maioria das construtoras e a insegurança normativa para a aplicação do material que se tinha até recentemente. Em 2017, uma diretriz para paredes de concreto com fibras de vidro foi proposta, possibilitando às construtoras a obtenção de DATecs. Mais recentemente, um conjunto de normas brasileiras foi publicado para embasar projeto e controle de qualidade de estruturas produzidas com CRF. Este artigo apresenta um panorama da aplicação do CRF em edifícios com até cinco pavimentos construídos em paredes de concreto moldadas no local, evidenciando as vantagens construtivas e os gargalos que a tecnologia ainda enfrenta. As perspectivas para o futuro do CRF trazidas pela recente publicação das normas, possibilitarão que o material se consolide em diferentes aplicações, dentre elas o uso em paredes de concreto.*

Palavras-chave: *Concreto reforçado com fibras, parede de concreto, controle da qualidade, fibras de vidro álcali resistentes, fibras poliméricas.*

Área do Conhecimento: *Construção Civil, Materiais e Componentes de Construção, Tecnologia de componentes para construção.*

1. INTRODUÇÃO

O déficit habitacional no Brasil representa um desafio crônico para os gestores públicos e atualmente é estimado em cerca de 7,7 milhões de unidades habitacionais (FJP, 2017). Em 2027, haverá demanda adicional para, aproximadamente, 9 milhões de unidades sendo 58% corresponde às famílias de baixa renda (FGV, 2018), caracterizando um importante desafio social a ser superado. Portanto, encontrar soluções técnicas e políticas para este problema é uma prioridade permanente para todo o setor da construção e todas as indústrias afiliadas. Visando remediar essa situação, o governo brasileiro criou alguns programas para facilitar a liberação de crédito e auxiliar no financiamento de moradias para famílias de baixa renda. Isto induziu a uma série de iniciativas onde se pode destacar o sistema construtivo que utiliza paredes de concreto moldado no local como uma solução que tem prevalecido nesse tipo de edificação.

O concreto convencional possui várias características que fazendo com que seja um dos materiais mais utilizados do mundo e exerça maior destaque nas aplicações da construção civil. Entre essas características estão o fácil manuseio, baixo custo, boa durabilidade em contato com a água e significativa resistência à compressão. No entanto, apesar de suas qualidades atrativas, o concreto apresenta limitações, como o comportamento marcadamente frágil e a baixa capacidade de deformação antes da ruptura quando submetido a esforços de tração (FIGUEIREDO, 2011). Como reforço estrutural, os materiais mais utilizados são telas e vergalhões de aço. No entanto, esses materiais necessitam de espaço de armazenamento no canteiro de obras e mão-de-obra para

montagem e posicionamento das armaduras, o que torna o processo de execução mais caro e trabalhoso. Nesse cenário, uma solução alternativa seria o uso de fibras descontínuas (FIGUEIREDO, 2011).

O concreto reforçado com fibras (CRF) pode substituir parcialmente ou totalmente o reforço convencional de elementos estruturais, se certas condições de Estado Limite de Serviço (ELS) e Estado Limite Último (ELU) forem satisfeitas (Di PRISCO, 2013). Vários autores reconhecem o desempenho pós-fissuração melhorado com CRF, e o aumento da resistência residual à tração e ductilidade, além da capacidade de redistribuir esforços e permitir que deformações relativamente grandes sejam acomodadas e a energia seja absorvida antes do colapso (PUJADAS, 2013).

As fibras podem ser feitas de diversos materiais, sendo os mais comuns o aço, os polímeros e o vidro. Dessas opções, o concreto reforçado com fibra de vidro (CRFV) é o material atualmente recomendado para o sistema parede de concreto frente as limitações de durabilidade e resistência ao fogo que os outros materiais podem ter (HENRIKSEN, 2017). Apesar de ainda não estar contemplado na norma brasileira ABNT NBR 16055 (2012), o CRFV faz parte do escopo da diretriz SINAT para avaliação técnica de paredes estruturais com novos materiais (Portaria SINAT 001 - Revisão 3, 2017). Essa diretriz, segue os princípios do *fib* Model Code (2010), que reconhece o CRF como um material estrutural.

No início de 2021, a publicação de um conjunto de normas brasileiras trouxe um promissor horizonte para o uso do CRF em aplicações estruturais. Esses documentos tratam do projeto de estruturas com CRF (NBR 16935, 2021), de procedimentos para o controle da qualidade do CRF (NBR 16935, 2021), de métodos de ensaio para avaliação do comportamento pós-fissuração (NBR 16939 e NBR 16941, 2021), de requisitos e métodos de ensaio para fibras de vidro AR (NBR 16941, 2021) e poliméricas (NBR 16942, 2021). Com isso, o meio técnico, que antes contava apenas com uma norma de fibra de aço, a partir de agora conta com seis documentos para servir de referência, inclusive para estimular a adoção do material em outras normas como a de paredes de concreto. Neste contexto, o artigo apresenta os aspectos gerais da aplicação do CRF em paredes de concreto moldadas no local, discutindo principalmente o cenário normativo favorável para impulsionar o uso do material.

2. CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS COMO MATERIAL ESTRUTURAL

O CRF é um compósito onde a matriz é o concreto de cimento Portland com o reforço constituído por fibras descontínuas distribuídas aleatoriamente na matriz. O uso das fibras tem como resultado esperado o controle da abertura e da propagação de fissuras dos elementos estruturais de concreto. Para algumas situações (dosagens e tipos de fibras), além do controle da fissuração, as fibras proporcionam significativo aumento de resistência residual e, consequentemente, contribuem para a ductilizaçao da estrutura (GILBERT, 2018). O comportamento mecânico do CRF após a ruptura da matriz é determinado pelo teor e características das fibras utilizadas (FIGUEIREDO, 2011) que criam pontes de transferências de tensões através das fissuras.

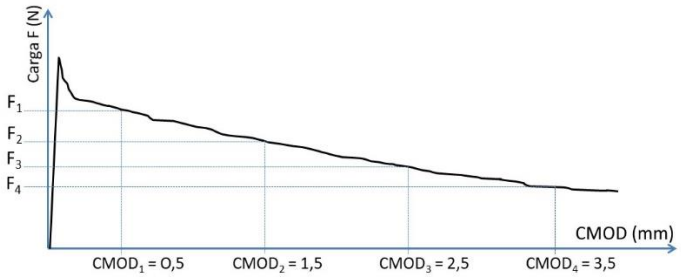
As fibras discretas atuam como uma armadura dispersa por toda a matriz do concreto e são adicionadas no momento da mistura o que elimina o laborioso trabalho de posicionamento das telas de aço. No entanto, o CRF requer um controle mais complexo com ensaios específicos que avaliam o comportamento pós-fissuração do compósito (FIGUEIREDO, 2011). Além disso, as fibras que vão ser incorporadas ao concreto precisam ser estáveis no meio alcalino para garantir a durabilidade do sistema de reforço.

2.1 Diretrizes gerais e requisitos mínimos de desempenho mecânico para CRF

O uso do CRF como material estrutural ganhou um nova perspectiva com a publicação do *fib* Model Code 2010) e balizou a norma brasileira de projeto de estruturas em CRF ABNT NBR 16935 (2021). Em ambos os documentos, o comportamento à compressão do concreto pode ser considerado como não afetado pelas fibras, a menos que um alto teor seja adicionado, e a principal contribuição das fibras ocorre após a fissuração do concreto, gerando uma resistência à tração residual pós-fissuração e uma deformação substancial à tração.

O projeto de elementos estruturais em CRF baseia-se em duas resistências residuais pós-fissuração em diferentes níveis de abertura que representam o ELS e o ELU. Esses parâmetros são avaliados por meio do ensaio de flexão em três pontos (3PBT) em vigas com entalhe, ensaio recém normalizado no Brasil segundo a ABNT NBR 16940 (2021), produzindo um diagrama de carga vs. abertura da boca da fissura (CMOD) (Figura 1).

Figura 1 – Curva típica de Carga versus CMOD



Fonte: ABNT NBR 16940 (2021)

Os parâmetros ELS (f_{R1}; *CMOD₁ = 0,5 mm*) e ELU (f_{R3}; *CMOD₃ = 2,5 mm*) são introduzidos em diagramas de tensão deformação e é possível associar os níveis mínimos de resistência residual necessários para obter a resposta estrutural. O CRF pode substituir o reforço convencional parcial ou totalmente em ELU se as relações da Eq. 1 e Eq. 2 forem atendidas.

$$\frac{f_{R1k}}{f_{Lk}} \geq 0{,}4 \qquad (1)$$

$$\frac{f_{R3k}}{f_{R1k}} \geq 0{,}5 \qquad (2)$$

onde f_{R1k} e f_{R3k} são as resistências residuais à flexão correspondente a $CMOD_1$ e $CMOD_3$, respectivamente, e f_{Lk} é o valor característico do limite de proporcionalidade.

3. PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS NO LOCAL

O desenvolvimento de um sistema construtivo capaz de atender a demanda habitacional com qualidade, agilidade e custo adequado é uma ação prioritária no cenário deficitário presente em diversos países. O sistema de paredes de concreto moldado no local é uma alternativa tecnológica que busca atender a este objetivo. Esta técnica permite que paredes e lajes sejam produzidas simultaneamente, vertendo o concreto em uma fôrma única que pode ser removida muito rapidamente, cerca de 14 horas após a moldagem, para produzir o pavimento seguinte. Em maio de 2012 foi publicada a norma ABNT NBR 16055 (2012) específica para esse sistema construtivo. Esta publicação está atualmente em revisão, e novos materiais estruturais, como o CRF, estão sendo considerados.

3.1 Projeto para paredes de concreto em CRFV

O sistema construtivo de paredes de concreto com CRF pode ser utilizado como alternativa ao sistema com tela de aço. O primeiro passo para o uso de CRF em paredes de concreto no Brasil ocorreu com a publicação de uma diretriz nacional (SINAT, 2017). Esta diretriz trouxe a possibilidade de utilização de CRFV em paredes de concreto moldadas no local, cuja aplicação se limita a moradias unifamiliares e edifícios multifamiliares com até cinco pavimentos. De acordo com a diretriz, o projeto estrutural das paredes em CRFV, independentemente do número de pavimentos, deve ser baseado no Código Modelo da *fib* (2010) e na Prática IBRACON / ABECE "Projeto de Estruturas de Concreto Armado com Fibras" (2016), sem considerar valores inferiores aos previamente estabelecidos.

3.2 Controle do CRF – Etapa de qualificação do compósito

As fibras a serem utilizadas como reforço estrutural devem ser qualificadas previamente de acordo com os requisitos normativo. No caso do CRF, os ensaios prévios são de especial importância para a escolha das fibras a serem utilizadas e suas dosagens. Segundo a ABNT NBR 16938 (2021), a qualificação do CRF deve considerar os ensaios de tração na flexão (ABNT NBR 16941, 2021), resistência à compressão (ABNT NBR 5739, 2018) e

duplo puncionamento (ABNT NBR 16939, 2021), sendo o último considerado como um ensaio opcional.

As resistências à tração, por flexão ou duplo puncionamento, devem ser calculadas como a média aritmética de pelo menos seis corpos de prova e o coeficiente de variação destes ensaios não pode ser superior a 25%. Caso isso ocorra, deve-se repetir o ensaio em nova série, calculando a média com base em pelo menos 12 corpos de prova.

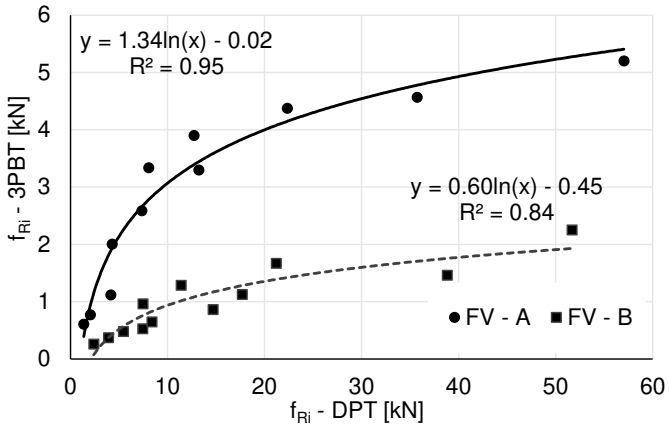
4. Controle tecnológico do CRF

O controle tecnológico do CRF deve ser feito em duas etapas, sendo a avaliação do concreto no estado fresco através da verificação da consistência pelo abatimento do tronco de cone ou pelo método do espalhamento, em função do tipo de concreto previamente especificado. A resistência à compressão do CRF deve ser determinada conforme a ABNT NBR 5739 (2018) e a formação de lotes e os critérios de aceitação ou rejeição dos lotes seguir os procedimentos da ABNT NBR 12655 (2015).

Para o controle da resistência à tração devem ser realizados ensaios de tração na flexão (3PBT), para determinar o limite de proporcionalidade (f_L) e as resistências residuais (f_{R1}, f_{R2}, f_{R3} e f_{R4}), conforme ABNT NBR 16940 (2021). O 3PBT é o ensaio de referência para a parametrização do comportamento do CRF para aplicações estruturais. No entanto, esses ensaios exigem equipamentos complexos e caros em ciclo fechado para determinar a deformação do corpo de prova, dificultando a implementação do controle sistemático de qualidade nas obras. Alternativamente, o *fib* Model Code (2010) indica que outros métodos de teste podem ser aplicados uma vez que uma correlação comprovada com o método de referência seja fornecida. Por isso, no Brasil foi normalizado um método alternativo, o ensaio de duplo puncionamento (DPT). Proposto por Carmona *et al.* (2018) e normalizado na Espanha UNE 83515 (2010), o ensaio tem se mostrado com potencial para ser utilizado no controle sistemático de qualidade de CRF em obras, Molins *et al.* (2009).

A norma brasileira de controle da qualidade de CRF permite que o projetista indique o ensaio de duplo puncionamento (ABNT NBR 16939, 2021), para a determinação da resistência à tração por duplo puncionamento (f_t) e das resistências residuais ($f_{R0,5m}$, $f_{R1,5m}$, $f_{R2,5m}$ e $f_{R3,5m}$) no controle tecnológico do CRF. Porém, a mesma norma indica que seja realizada uma etapa prévia de qualificação do compósito para que seja estabelecida a correspondência com as resistências determinadas no ensaio de tração na flexão. A Figura 2 apresenta um exemplo de um programa experimental que estabeleceu a correlação entre as cargas medidas no 3PBT e no DPT para dois CRFV com duas fibras de vidro AR disponíveis no mercado (MANZIONE, 2019). O elevado grau de aproximação do comportamento obtido pelas correlações demonstra claramente a viabilidade de utilização do ensaio DPT como método de controle alternativo dos parâmetros estabelecidos pelo 3PBT.

Figura 2 - Correspondência entre as cargas medidas no 3PBT e no DPT para CRFV com duas fibras de vidro distintas



Fonte: Manzione (2019)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O CRF pode ser utilizado como elemento redutor de armadura convencional em elementos densamente armados, facilitando o lançamento do concreto ou mesmo como substitutivo da armadura mínima em elementos de menor nível de solicitação. No entanto, a demanda tecnológica associada à aplicação do CRF é maior do que a do concreto armado convencional, incluindo os procedimentos de controle. No CRF, o concreto e as fibras não são avaliados de maneira independente, como é possível com o vergalhão, sendo necessário considerar o comportamento da interação fibra-matriz. Isso requer ensaios mais elaborados e complexos para a qualificação do material e para o controle rotineiro. Por isso, o uso de ensaios mais simples, porém confiáveis, é fundamental para a disseminação da tecnologia e garantindo-se um nível de segurança adequado para a aplicação. A publicação recente das normas para projeto, especificação das fibras e controle da qualidade é uma grande oportunidade para desenvolver a tecnologia e incluir o material no rol de possibilidades da norma de paredes de concreto. Com isso, o uso de fibras nos projetos deixa de ser considerado um sistema inovador e pode ser avaliado como convencional, considerando todas as particularidades exigidas na normalização específica. Do ponto de vista normativo ainda há a necessidade de ampliar a discussão sobre o controle da execução das estruturas em CRF, pois particularidades como o cuidado com a segregação das fibras, orientação não induzida e procedimentos adequados para o adensamento devem ser ainda observados com cuidado. O CRF pode ser considerado uma solução economicamente viável para diversas tecnologias construtivas e pode se constituir em uma alternativa para reduzir custos, reduzir o impacto ambiental causado pela indústria siderúrgica e melhorar a produtividade sem comprometer a segurança, o que é fundamental no Brasil, considerando a grande demanda reprimida que persiste no setor da construção civil.

6. REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16055: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações — Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2012. 35p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16935: Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras — Procedimento. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16938: Concreto reforçado com fibras - Controle da qualidade — Procedimento. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16939: Determinação das resistências à fissuração e residuais à tração por duplo puncionamento - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16940: Determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16941: Fibras de vidro álcali-resistentes (AR) para concreto e argamassa - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16942: Fibras poliméricas para concreto - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2021.

CARMONA, S.; MOLINS, C.; AGUADO, A. Correlation between bending test and Barcelona tests to determine

FRC properties. Construction and Building Materials, Volume 181, 2018, Pages 673-686.

Di PRISCO, M., COLOMBO, M.; DOZIO, D., 'Fibre-reinforced concrete in Fib Model Code 2010: Principles, models and test validation', Structural Concrete, 14 (4) (2013) 342-361.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON – FIB. Fib model Code for Concrete Structures 2010. Switzerland, 2013. 402p.

FGV - Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias, Fundação Getúlio Vargas, 'Análise das necessidades habitacionais e suas tendências para os próximos dez anos', FGV Projeto CE Nº1908/18, São Paulo, 2018.

FIGUEIREDO, A. D. Concreto Rpinhieforçado com Fibras. Tese (Livre-docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011. 247 p.

FJP - FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 'Economia da cultura: reflexões sobre as indústrias culturais no Brasil', Brasília, IPC/Secretaria de apoio à Produção Cultural. Minc, 2017.

GILBERT, R. I., BERNARD, E. S., 'Post-cracking ductility of fibre reinforced concrete linings in combined bending and compression', Tunnelling and Underground Space Technology, 76 (2018) 1–9.

HENRIKSEN, T. N. 'Advancing the manufacture of complex geometry GFRC for today's building envelopes', Delft University of Technology, Faculty of Architecture and the Built Environment. 2017.

MANZIONE, J. A. P. Caracterização de concretos com macrofibras de vidro para aplicações estruturais. 2019. Dissertação (Mestrado em Inovação na Construção Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

MOLINS, C.; AGUADO, A.; SALUDES, S. Double punch test to control the energy dissipation in tension of FRC (Barcelona test). Mater. Struct., 42 (2009) 415-425.

Prática recomendada IBRACON/ABECE. Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras. São Paulo. Ed. IBRACON/ABECE, 1ª Edição, 2016. 39p.

PUJADAS, P., 'Caracterización y diseño del hormigón reforzado con fibras plásticas', PhD Thesis. ETSECCP. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, Spain, 2013.

SINAT - Ministério da Cidade. Diretriz nº 001 - Revisão 03: sistemas construtivos em paredes de concreto armado moldadas no local. Secretaria Nacional da Habitação, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT): Brasília, jun/2017. Available in: http://pbqp-h.mdr.gov.br/projetos_sinat.php.

UNE 83515 - Hormigones con fibras. Determinación de la resistencia a fisuración, tenacidad y resistência residual a tracción. Método Barcelona. AEN/CTN 83–Hormigón, Madrid, 2010, pp. 8.