

Reforço à flexão em vigas de concreto armado com manta de fibra de carbono: mecanismos de incremento de ancoragem

Vladimir José Ferrari*, Ivo José Padaratz e Daniel Domingues Loriggio

*Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. *Autor para correspondência. Rua Demétrio Ribeiro, 364, apto 401, 87030-090, Maringá, Paraná, Brasil. e-mail: vladimirjf@hotmail.com*

RESUMO. O desprendimento dos laminados de plásticos reforçados com fibras da face inferior tracionada das vigas reforçadas à flexão é um problema complexo e indesejável, pois ocorre sem aviso, antecipando a ruína da viga reforçada e impossibilitando o total aproveitamento das propriedades resistentes à tração do reforço. Neste trabalho estudou-se o comportamento de vigas de concreto armado, reforçadas à flexão com manta de fibra de carbono, e avaliou-se a incorporação de mecanismos de incremento de ancoragem para evitar o desprendimento prematuro da manta com conseqüente aumento da capacidade resistente à flexão da viga. Nove vigas foram divididas em cinco grupos em conformidade com mecanismo de incremento de ancoragem adotado. Um dos mecanismos, além de evitar o desprendimento prematuro do reforço, também proporcionou incremento na resistência à flexão mais de 95%, em relação à viga sem reforço, e incrementos em torno de 20%, em relação às vigas sem incremento de ancoragem.

Palavras-chave: viga reforçada, reforço à flexão, desprendimento, plásticos reforçados, reforço com plásticos, ancoragem.

ABSTRACT. Reinforcement of flexion in concrete beams with carbon fiber cloak: anchorage mechanism. Detachment of FRP (fiber reinforced plastic) laminates from the bottom face of the beams is an undesirable and complex problem. A sudden failure occurs, before the expected capacity of the strengthened beam is reached and without making use of the high tensile strength of the strengthening material. The aim of this study is to investigate the flexural behavior of reinforced concrete beams strengthened by FRP laminates, made of carbon fiber mats embedded in an epoxy matrix and bonded to the bottom face of the beam. Emphasis is given to the use of anchorage systems which are fixed at the beam ends in order to avoid premature detachment of the laminate and consequently to increase the flexural capacity of the beam. Nine beams were divided into five groups according to the anchorage system utilized. One of anchorage system has proved to be very efficient, increasing the flexural capacity of the beams to about 20%, as compared to the beams without any anchorage and to 95% as compared to the beam without strengthening.

Key words: strengthened beam; reinforcement of flexion; detachment; reinforced plastics; reinforcement with plastics; anchorage.

Introdução

A execução de um reforço estrutural consiste no aumento da capacidade resistente do elemento a ser reforçado. Esse elemento poderá ser uma viga, uma laje, um pilar, um muro de arrimo, um poço de elevador ou qualquer outro elemento resistente de uma construção que necessite ter sua capacidade de suporte aumentada. As causas da necessidade de reforço em estruturas de concreto armado são variadas, porém as preponderantes dizem respeito à falhas de concepção e execução do projeto. Outras causas podem ser citadas, tais como: alteração da

utilização da edificação; desgaste natural da edificação; falhas durante a elaboração dos projetos (falta de controle no limite de flechas etc.).

Para o caso de reforço à flexão em vigas de concreto armado, diversas soluções convencionais, com larga experiência de execução e que apresentam resultados confiáveis podem ser utilizadas, entre as quais, citam-se: adição na face tracionada da viga de um novo concreto ou argamassa de elevado desempenho com novas barras de aço longitudinal ou colagem de chapas de aço na superfície da viga, com ou sem a utilização de parafuso.

Ao redor de todo o mundo, já foram reforçadas com êxito várias estruturas de concreto, incluindo pontes, por meio da aplicação da técnica de colagem exterior de chapas metálicas. Segundo Ripper (1998), o sucesso desta técnica de reforço de estruturas de concreto armado levou, no início da década de 90, um conjunto de pesquisadores, dentre os quais se destaca Urs Méier, do EMPA, de Zurique, a se dedicar à investigação de alternativas ao aço, particularmente, através do recurso de materiais mais leves e mais duráveis. A evolução na tecnologia de novos materiais tornou possível substituir as chapas de aço por materiais mais leves, resistentes, duráveis e de fácil aplicação em obras de reabilitação estrutural. Isto conduziu à utilização em obras da construção civil de um material denominado FRP (*Fiber Reinforced Polymer*), conhecido em português por polímero (plástico) reforçado com fibras (PRF).

Segundo o ACI 440R (1996), os produtos de plásticos reforçados com fibras (PRF) utilizados para o reforço de estruturas de concreto são constituídos por fibras contínuas, geralmente de vidro (PRFV), aramida (PRFA) ou carbono (PRFC), mergulhadas em uma matriz de resina que protege as fibras e permite às mesmas trabalhar conjuntamente como um único elemento.

As principais formas comercializadas dos PRFC para aplicações em casos de reforço de estruturas de concreto armado são: os laminados pultrudados de PRFC (são elementos pré-fabricados conforme mostra a Figura 1); os laminados de folhas e mantas flexíveis unidirecionais (a manta - Figura 2 - é saturada em campo, após impregnação das fibras com resina epóxi) e os laminados de tecidos fabricados “*in situ*”.

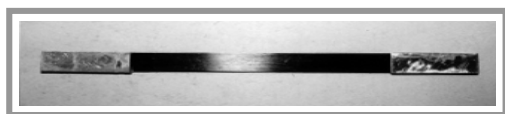


Figura 1. Laminado pultrudado de PRFC

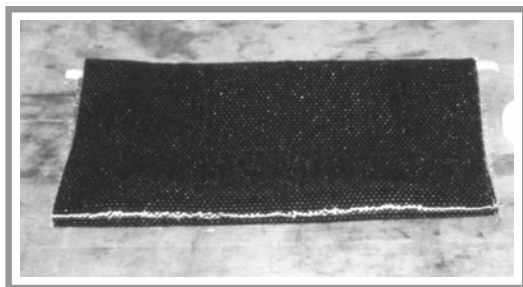


Figura 2. Manta de fibra de carbono

Os PRFC são os mais apropriados para o reforço de vigas de concreto armado por causa das propriedades que se seguem: (Figura 3): o alto desempenho mecânico das fibras de carbono; resistência à corrosão (o carbono é inerte); leveza (peso específico da ordem de $1,8 \text{ kN/m}^3$); alta resistência à tração e grande rigidez.

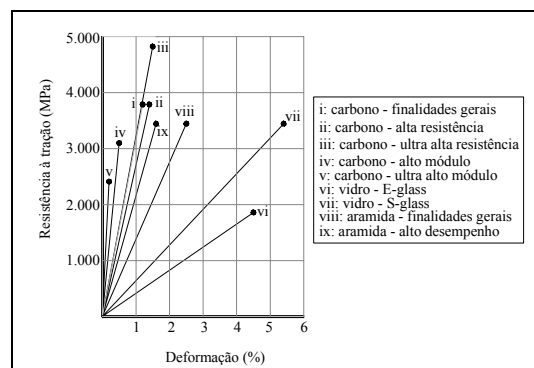


Figura 3. Representação das curvas típicas de tração versus deformação das fibras (conforme dados do ACI 440, 2000)

A eficiência da técnica de reforço à flexão pela colagem de PRFC em vigas de concreto armado, apesar de ainda ser caracterizada como um recurso recente, tem sido comprovada por meio de diversos estudos experimentais. Entretanto, na grande maioria destes estudos, tem-se observado a ocorrência de ruína prematura do reforço caracterizada pelo seu desprendimento do substrato de concreto. Esse tipo de ruína é extremamente indesejável, pois ocorre sem aviso e antecipa o colapso da viga reforçada, impossibilitando o total aproveitamento das propriedades resistentes à tração do PRFC.

A ruína prematura tem chamado a atenção da grande maioria dos pesquisadores e, em paralelo, tem sido a razão de receio na especificação deste tipo de reforço por parte de projetistas mais conservadores. Grande parte das atuais publicações sobre o reforço com PRFC em vigas de concreto tem dado especial atenção à zona de ligação dos materiais concreto-adesivo-PRFC, para melhor conhecer o que se passa ao nível de comportamento geral nesta região, de forma que se possa criar critérios de prevenção e eliminação de ruínas prematuras. Vários mecanismos externos de incremento de ancoragem têm sido desenvolvidos e analisados, com o objetivo de se criar forças que exerçam uma compressão transversal à ligação acima citada, com efeitos benéficos, diante dos mecanismos de ruína prematuros. De forma geral, tem-se buscado estabelecer hipóteses para que as

vigas reforçadas atinjam modos de ruína clássicos, que são facilmente previsíveis e controláveis, impedindo a ocorrência de situações como a de desprendimento do reforço.

Os modos de ruína prematuros em vigas reforçadas com PRFC devem ser evitados, pois antecipam a ruína da viga reforçada através do desprendimento do reforço. Porém, como evitá-los com segurança, ainda é um problema que deve ser resolvido com intensa pesquisa nesta área.

Programa experimental e caracterização dos materiais

Vigas do programa experimental e aplicação do reforço

Foram moldadas nove vigas de concreto armado com seção transversal retangular de 150x200 mm e comprimento total de 1800 mm, correspondendo a um vão livre de 1650 mm. Essas vigas foram igualmente armadas à flexão e ao cisalhamento, tendo como armadura longitudinal inferior duas barras de aço CA 50, com 8 mm de diâmetro, correspondendo a uma taxa de armadura de 0,34%. A armadura superior foi composta por dois fios de aço CA 60, com 6,0 mm de diâmetro. A armadura transversal consistiu de estribos de aço CA 60 com 6,0 mm de diâmetro, espaçados de 80 mm. A Tabela 1 apresenta a distribuição das nove vigas em cinco grupos.

Tabela 1. Especificação das vigas do programa experimental

Grupo	Vigas	Especificação	Pré-fissuração
1	VRE	referência, sem reforço	não
2	VR1 - VR2	reforçada com manta de PRFC	não
3	VR3 - VR4	reforçada com manta de PRFC e mecanismo de incremento de ancoragem	não
4	VR5 - VR6	reforçada com manta de PRFC e mecanismo de incremento de ancoragem	não
5	VR7 - VR8	reforçada com manta de PRFC e mecanismo de incremento de ancoragem	não

Conforme mostrado na Tabela 1, das nove vigas ensaiadas, oito foram reforçadas à flexão com manta de fibra de carbono. A primeira viga, VRE, do grupo 1 foi desprovida de qualquer tipo de reforço e serviu de modelo de referência para que fossem feitas comparações de incremento de rigidez e resistência quando da aplicação do reforço nas demais vigas.

O grupo de vigas número 2, composto por duas vigas reforçadas externamente à flexão pela colagem, na face inferior, de uma camada de manta de fibra de carbono, são designadas por VR1 e VR2 (Figura 4). Com estas duas vigas procurou-se mostrar o incremento de resistência e de rigidez, em relação à viga de referência e, também, apresentar o

desprendimento da manta de fibra de carbono da face inferior tracionada das vigas.

O grupo de vigas número 3, composto por duas vigas designadas VR3 e VR4, foram reforçadas à flexão semelhantemente às vigas do grupo 2, porém diferenciadas pela adoção de um mecanismo de incremento de ancoragem. Esse mecanismo, para as vigas desse grupo, consistiu de uma manta de fibra de carbono colada em cada uma das extremidades do reforço, transversalmente ao eixo longitudinal da viga e sobre a manta de reforço, com um comprimento igual à largura da viga (Figura 5). Esse mecanismo, bem como os mecanismos idealizados para as vigas dos demais grupos, através de forças de compressão transversais ao reforço, têm como finalidade aumentar a aderência do reforço ao substrato de concreto, evitando o seu desprendimento, durante a solicitação da viga.

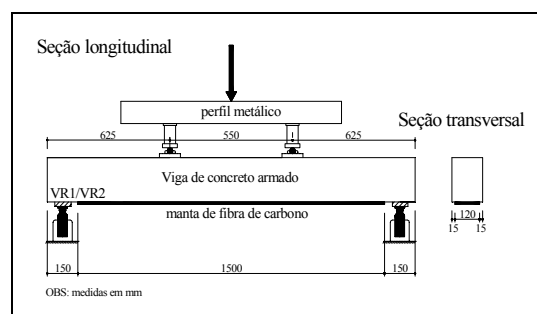


Figura 4. Disposição da manta de PRFC nas vigas VR1 e VR2 (grupo 2)

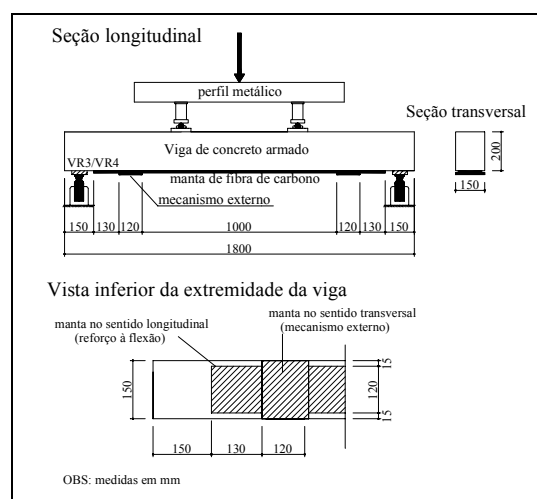


Figura 5. Disposição da manta de PRFC nas vigas VR3 e VR4 (grupo 3)

As vigas do grupo 4, VR5 e VR6, possuem as duas mantas transversais nas extremidades do reforço, de forma idêntica às vigas do grupo 3,

acrescentando-se sobre estas uma chapa de aço-carbono fixada por parafusos auto-fixantes, com o objetivo de exercer uma compressão transversal ao reforço para evitar o seu desprendimento, conforme mostra a Figura 6.

As vigas do grupo 5, designadas por VR7 e VR8, possuem o sistema de reforço idêntico às vigas do grupo 2, porém nesse grupo as vigas receberam um mecanismo de incremento de ancoragem, constituído por laços de manta de fibra de carbono, na forma de “U”, localizados próximos das duas extremidades de cada peça, e na mesma posição dos mecanismos idealizados para as vigas dos grupos 3 e 4, conforme mostra a Figura 7.

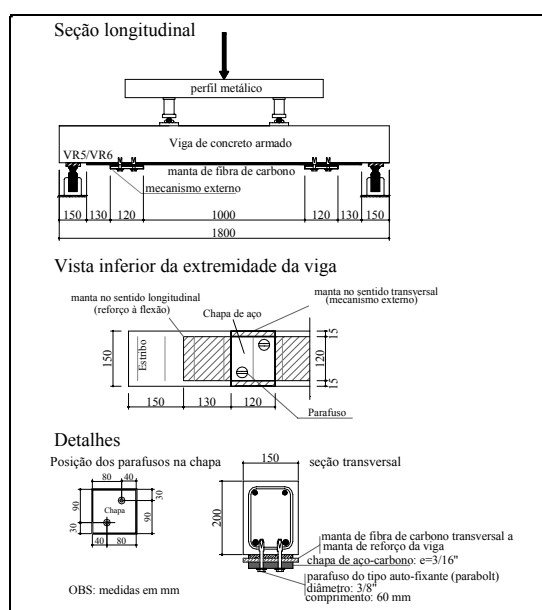


Figura 6. Disposição da manta de PRFC nas vigas VR5 e VR6 (grupo 4)

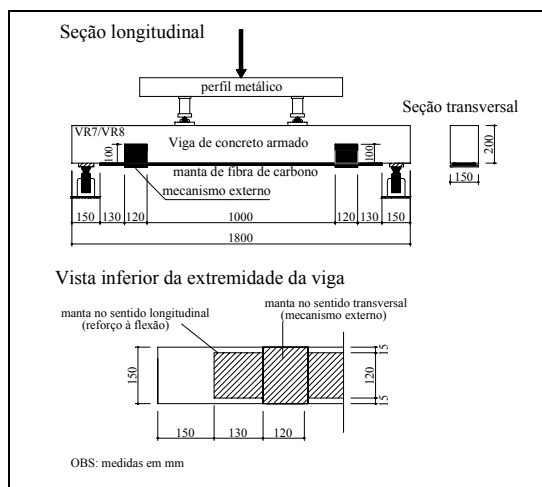


Figura 7. Disposição da manta de PRFC nas vigas VR7 e VR8 (grupo 5)

A Figura 8 mostra em detalhe os mecanismos de incremento de ancoragem do reforço, utilizados nos grupos de vigas 3, 4 e 5.

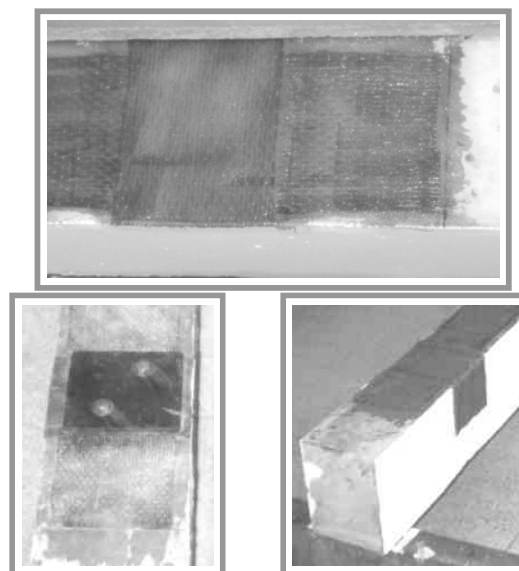


Figura 8. Detalhe dos mecanismos de incremento de ancoragem das vigas dos grupos 3 (acima), 4 (esquerda) e 5 (direita)

Os procedimentos utilizados para aplicação do reforço ao substrato de concreto das vigas podem ser agrupados nas duas etapas seguintes:

Preparação do substrato de concreto

Consistiu na retirada de toda a camada de nata de cimento do substrato de concreto até a parcial exposição dos agregados. Este desgaste do substrato foi executado com um disco de lixa grossa acoplado a uma esmerilhadeira (Figura 9). Em seguida, para retirada de toda poeira e resíduos acumulados sobre o substrato de concreto, utilizou-se uma escova com cerdas de plástico.

Colagem do reforço

Realizada a preparação e retirada de poeira do substrato de concreto, aplicou-se um “primer” com o objetivo de melhorar as condições de aderência entre o concreto e a manta de reforço.

A manta de PRFC foi facilmente cortada com tesoura nas dimensões e formas necessárias. A preparação da resina à base de epóxi (fornecida em dois componentes) consistiu de três etapas: agitação e homogeneização de cada um dos dois componentes, adição do componente “B” ao “A” na proporção adequada e mistura manual até a obtenção de uma coloração uniforme (Figura 10).

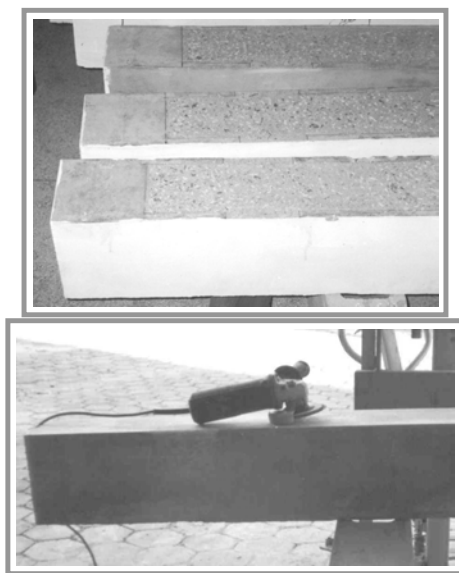


Figura 9. Detalhe do substrato de concreto preparado e detalhe da preparação com esmerilhadeira

Uma camada de resina de aproximadamente 1mm de espessura foi distribuída uniformemente sobre o substrato de concreto com auxílio de uma espátula flexível de borracha e, imediatamente, com a resina ainda fresca, procedeu-se com a colocação da manta de fibra de carbono, procurando-se embeber a manta na resina, com a pressão das próprias mãos (Figura 10).



Figura 10. Mistura manual da resina epóxi e aplicação da manta de fibra de carbono

A Figura 11 apresenta as vigas armazenadas, após a aplicação do reforço e a prensa de compressão da *Losenhausewerk (LOS)* do Laboratório de Experimentação em Estruturas da Universidade Federal de Santa Catarina - LEE da UFSC, na qual foi montado todo o sistema de aplicação de carga e instrumentação para a realização dos ensaios.

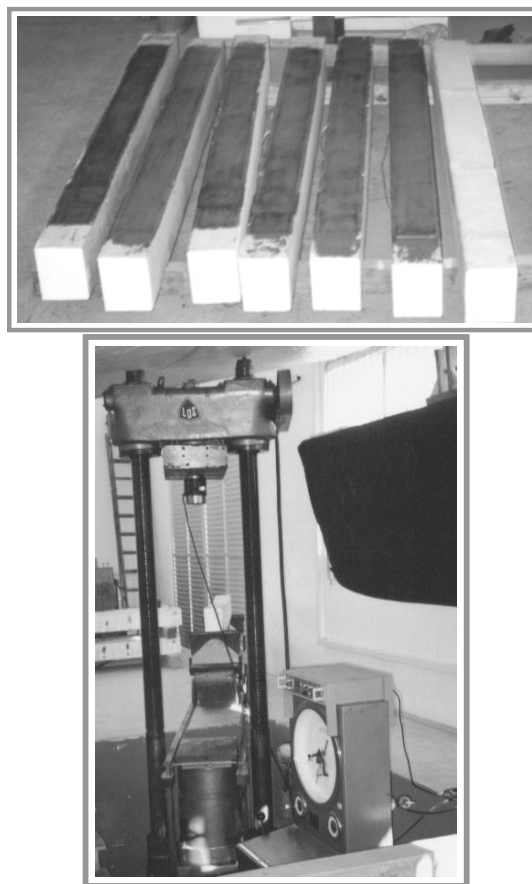


Figura 11. Viga após aplicação do reforço e prensa para realização dos ensaios de flexão

Cada viga foi simplesmente apoiada e submetida a esforços de flexão, originados por duas cargas concentradas de igual intensidade, aplicadas em sua face superior. Os ensaios foram realizados com controle de carga e, a cada incremento de 2kN, realizava-se a leitura dos relógios comparadores, posicionados no meio do vão e sob os dois pontos de aplicações da carga vertical. Esses relógios foram fixados em uma régua metálica que se apoiava em roldanas de plástico duro, as quais estavam acopladas em parafusos colados na extremidade das vigas, conforme mostra a Figura 12.

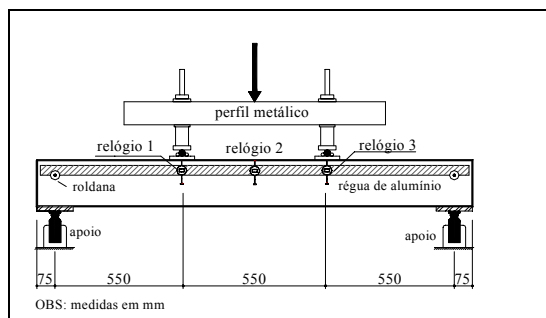


Figura 12. Posicionamento dos relógios comparadores e esquema estático de carregamento

Caracterização dos materiais

Concreto

O concreto foi misturado mecanicamente por entre uma betoneira elétrica com capacidade de 120 litros, suficiente para a moldagem de uma viga e de três corpos de prova cilíndricos de concreto por betonada. Foram utilizados agregados miúdos (com massa específica de $26,0 \text{ kN/m}^3$ e dimensão máxima característica de $2,4 \text{ mm}$) e graúdos (com massa específica de $26,3 \text{ kN/m}^3$ e dimensão máxima característica de 19 mm), conforme ensaios realizados de acordo com a normalização brasileira. O traço do concreto foi executado com cimento Portland de alta resistência inicial (CP V - ARI).

O controle tecnológico do concreto foi realizado através da ruptura à compressão simples dos corpos de prova de cada viga na idade de cem dias (valores variando entre $30,2$ e $37,5 \text{ MPa}$) e da obtenção do módulo de elasticidade longitudinal.

Barras de aço e manta de fibra de carbono

Foram retiradas, para cada diâmetro, três amostras de barras de aço, representativas das armaduras das vigas. Através de ensaio de tração, executado com o método proposto pela NBR 6152/1992 (ABNT, 1992), observou-se que as barras de aço de 8 mm , da armadura principal, apresentaram um comportamento característico de aço tipo CA-50, com patamar de escoamento bem definido, tendo uma tensão de escoamento de $529,2 \text{ MPa}$ para os corpos de prova representativos das vigas VRE a VR6 e uma tensão de $562,3$ para os corpos de prova representativos das vigas VR7 e VR8. Os fios de $6,0 \text{ mm}$, da armadura transversal, não apresentaram patamar de escoamento bem definido, registrando tensões de escoamento de $766,3 \text{ MPa}$ e $768,7 \text{ MPa}$, respectivamente, para as armaduras das vigas VRE a VR6 e VR7 e VR8.

O sistema de reforço utilizado, comercialmente denominado por SikaWrap HEX-230C, segundo

dados técnicos fornecidos pelo próprio fabricante, apresenta as propriedades descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Propriedades da manta de PRFC

Propriedade	Unidade	Valor
Massa	kg/m^2	0,225
Espessura de fabricação	mm	0,13
Resistência à tração das fibras	N/mm^2	3.500
Módulo de elasticidade à tração das fibras	N/mm^2	230.000
Alongamento na ruptura	%	1,5
Conservação	-	ilimitada

A resistência à tração última da manta de fibra de carbono foi obtida através de ensaio de tração em corpos de prova convenientemente preparados, adotando-se as recomendações da ISO 527-5 (1997) e dando-se, também, especial atenção à execução de um reforço nas extremidades dos corpos de prova para se evitar o contato direto da manta com as garras da prensa, conforme ilustra a Figura 13.

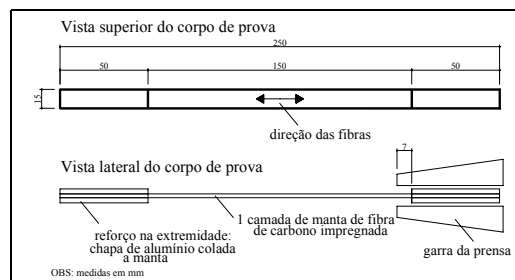


Figura 13. Dimensões dos corpos de prova de manta de fibra de carbono

O valor da resistência encontrado no ensaio de tração e considerado na análise teórica simplificada, foi de 3.123 N/mm^2 , que difere de 12% do valor fornecido pelo fabricante. Os valores do módulo de elasticidade e da espessura da manta de fibra de carbono, considerados na análise teórica simplificada, foram de 230.000 N/mm^2 e $0,13 \text{ mm}$, respectivamente.

A resina de impregnação à base de epóxi, de nome comercial Sikadur-330, foi fornecida pelo mesmo fabricante da manta de PRFC, na forma de dois componentes num total de 5 kg . O componente "A" de cor branca, foi misturado ao "B" de cor preta, numa proporção em peso de: $A/B = 4/1$.

Resultados

Modos de ruína observados

A viga de referência, como esperado e compatível com o domínio 2 de deformações específicas para o qual a peça foi dimensionada, atingiu a ruína por deformação excessiva da armadura longitudinal de tração. No instante da ruína, a viga de referência

apresentou acentuada curvatura e fissuras de grandes aberturas.

As vigas do grupo 2, VR1 e VR2, assim como já era esperado, apresentaram ruína caracterizada pelo desprendimento da manta de PRFC do substrato de concreto. Entretanto, nas demais vigas, com exceção da VR3, onde a ancoragem do reforço foi incrementada pela adição de um mecanismo externo, a ruína caracterizou-se pela ruptura da manta de PRFC por tração excessiva, conforme ilustra a Figura 14.

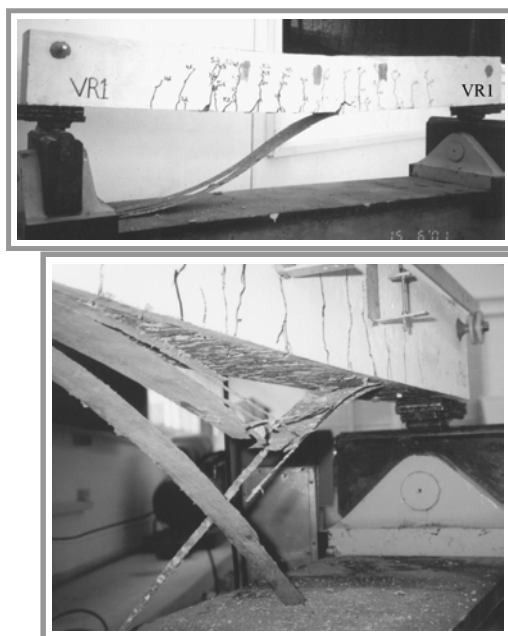


Figura 14. Ruína por desprendimento do reforço (esquerda) e ruptura da manta (direita)

Resultados teóricos e experimentais

A Figura 15 exemplifica as comparações entre as cargas de ruína experimentais.

Na Figura 15 pode-se observar que o aumento na resistência à flexão, foi em média de 66% para as vigas reforçadas sem a adição de mecanismos de incremento de ancoragem (grupo 2), 83%, 66% e 97% para as vigas reforçadas com adição de mecanismos de incremento de ancoragem, grupos 3, 4 e 5 respectivamente.

A Tabela 3 apresenta os valores das cargas de ruína experimentais para cada viga e seus modos de ruína, além das diferenças entre resultados teóricos e experimentais.

A Figura 16 apresenta a evolução dos deslocamentos verticais máximos registrados através dos relógios comparadores fixados na seção central de cada viga ensaiada. Nessa figura

percebe-se que o aumento de rigidez proporcionado pelo reforço é mais evidente após a fissuração do concreto (entre 14 e 18 kN), sendo que antes da fissuração, o comportamento tanto das vigas reforçadas como da viga VRE foi praticamente o mesmo.

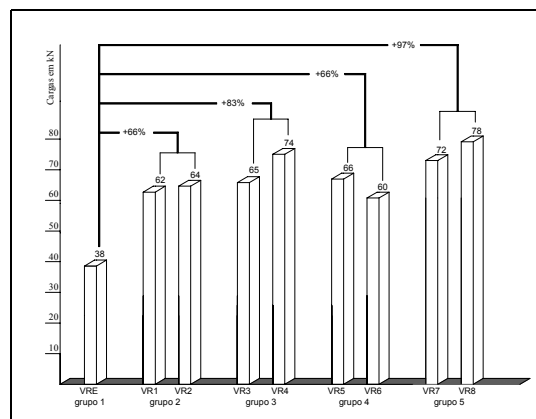


Figura 15. Comparação entre cargas de ruína experimentais

Tabela 3. Cargas de ruína, experimentais e teóricas, das vigas ensaiadas

Grupo	Vigas	Cargas de ruína (kN)		Diferença (%)	Modo de ruína observado
		Experimental	Teórica		
1	VRE	38	32,7	+16,2	deformação excessiva armadura
2	VR1	62	55,9	+10,9	desprendimento do reforço
	VR2	64	56,7	+12,9	
3	VR3	65	65,6	-0,91	desprendimento do reforço
	VR4	74	64,9	+14,0	
4	VR5	66	65,0	+1,5	ruptura do reforço
	VR6	60	65,3	-8,1	
5	VR7	72	66,8	+7,8	ruptura do reforço
	VR8	78	66,9	+16,6	

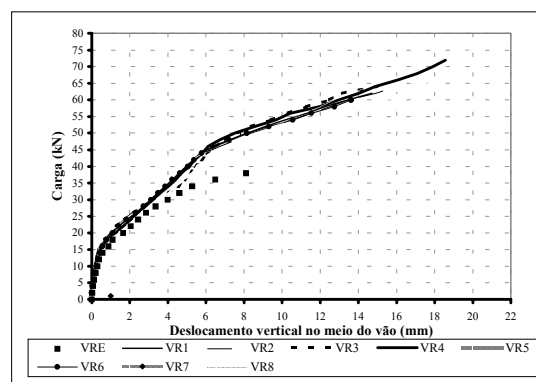


Figura 16. Curvas experimentais carga versus deslocamento na seção central das vigas

A adição da manta de fibra de carbono provoca um aumento da capacidade resistente à flexão e da ductilidade das vigas reforçadas em relação à de referência (viga sem reforço). O reforço divide as tensões de tração com as barras de aço, reduzindo as deformações da armadura. Por meio de comparação do comportamento da viga de referência com a viga reforçada VR7, pode-se observar na figura 17 que a plastificação do aço na viga de referência ocorre a um nível de carga (aproximadamente 33 kN) próximo de sua ruína (38 kN), muito diferente da viga reforçada, VR7, onde a plastificação do aço ocorre a um nível de carga (aproximadamente 50 kN), 44% inferior à sua carga de ruína (72 kN).

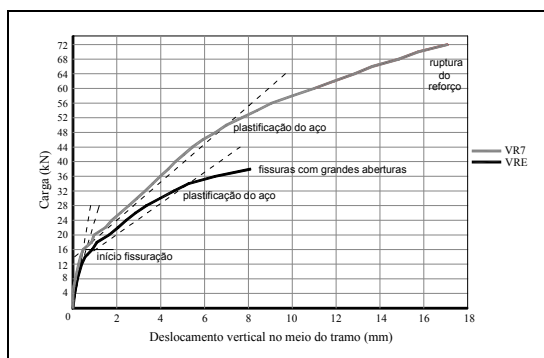


Figura 17. Vigas VRE e VR7: comparação carga versus deslocamento vertical no meio do tramo

Conclusões

- O excelente desempenho do reforço estrutural com manta de fibra de carbono foi verificado por meio de aumentos significativos na capacidade última de carga, no incremento de rigidez e na ductilidade das vigas reforçadas à flexão;
- As vigas reforçadas, sem adição de mecanismo de incremento de ancoragem (vigas VR1 e VR2), apresentaram modos de ruína caracterizados pelo desprendimento da manta de fibra de carbono do substrato de concreto;
- As vigas reforçadas com adição de mecanismo de incremento de ancoragem, com exceção da viga VR3, apresentaram modos de ruína caracterizados pela ruptura da manta de fibra de carbono;
- Com a adição de mecanismo de incremento de ancoragem, a carga de ruína das vigas VR4, VR7 e VR8 foi incrementada,

respectivamente, em 1,17; 1,14 e 1,24 vezes à carga de ruína das vigas do grupo 2;

- Os resultados experimentais mostraram que é possível romper por tração o reforço à flexão com manta de fibra de carbono, desde que se evite o seu desprendimento por meio de adição de mecanismos de incremento de ancoragem;
- Dos três mecanismos de incremento de ancoragem propostos, dois possibilitaram que toda a capacidade resistente do reforço fosse alcançada, evitando o surgimento do desprendimento prematuro do mesmo, e provocando a ruptura da manta de fibra de carbono;
- O mecanismo de incremento de ancoragem idealizado para a viga VR3 (manta de fibra de carbono apenas na face inferior da viga) não foi suficiente para evitar o desprendimento do reforço. Na outra viga do mesmo grupo, viga VR4, o mecanismo, semelhante ao da viga VR3, evitou o desprendimento da manta provocando a sua ruptura. Diante do comportamento distinto das vigas VR3 e VR4, não se pôde avaliar a eficiência do mecanismo de incremento de ancoragem idealizado para estas vigas;
- O modo de ruína caracterizado pelo desprendimento da manta de fibra de carbono do substrato de concreto, observado neste trabalho experimental, iniciou-se em todos os casos (vigas VR1, VR2 e VR3) a partir de uma de suas extremidades. Esse desprendimento ocorre de forma rápida e é apenas precedido por pequenos estalos.

Referências

- ACI-AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. State-of-the-art report on fiber reinforced plastic reinforcement for concrete structures - ACI 440R-96, Detroit, Michigan, EUA, 1996.
- ACI-AMERICAN CONCRETE INSTITUTE . Guide for the design and construction of externally bonded systems for strengthening concrete structures - ACI 440, 2000.
- ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Materiais metálicos - Determinação das propriedades mecânicas à tração, NBR 6152/92. Rio de Janeiro, 1992.
- ISO-INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Plastics - Determination of tensile properties - Part 5: Test conditions for unidirectional fibre-reinforced plastic composites. ISO 527-5, 1997.

RIPPER, T. Plásticos armados com fibras como solução para o reforço de estruturas. Belo Horizonte: Apostila, 1998.

Received on September 13, 2002.

Accepted on November 05, 2002.