

REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE BETÃO REFORÇADAS COM CFRP USANDO O MÉTODO DE ENROLAMENTO FILAMENTAR

N.C. LOUREIRO *; P. VIEIRA † ; J.P. BENTO ‡

Correio electrónico: ncloureiro@netcabo.pt; pvieira@inegi.up.pt; jpbento@sapo.pt

J.L. ESTEVES §

Correio electrónico: jesteves@fe.up.pt

Resumo

Para estruturas de betão com armadura em aço sujeitas a cargas de flexão, uma nova técnica, baseada no método de enrolamento filamental usando fibras de carbono e resina epóxida, tem sido desenvolvida no âmbito das actividades de I&D do INEGI.

Neste trabalho é apresentado o estudo do reforço, por enrolamento filamental, de modelos de vigas solicitadas em flexão em 3 e 4 pontos.

Palavras-chave: Enrolamento filamental; Reabilitação; Reforço; CFRP.

1 INTRODUÇÃO

Nos nossos dias encontramos muitas estruturas que estão desactualizadas em relação às solicitações actuais. Encontramos também estruturas que devido a uma má manutenção, acidentes (Sismos ou mesmo maus tratos provocados pelo Homem), deficiência de construção ou projecto e a necessidade de serem utilizadas por mais tempo do que o planeado têm necessidade de serem reforçadas. Os exemplos mais típicos destas estruturas serão pontes, viadutos e alguns edifícios. É frequente que a intervenção nessas estruturas, não seja

* Aluno 5ºano LEM/FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Bolseiro de Iniciação à Investigação Científica, INEGI-Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial.

† Eng. Mecânico, INEGI-Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial.

‡ Aluno 4ºano LEM/FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

§ Prof. Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Secção de Mecânica Aplicada.

somente de carácter reparativo mas também que combine um reforço estrutural para que essas estruturas possam, em segurança, desempenhar novas funções.

Em alternativa ao reforço por colagem de chapas de aço existem sistemas de reforço utilizando laminados compósitos de CFRP ou mantas de fibra de vidro, aramida ou carbono a serem impregnadas e curadas “in situ”.

A técnica de enrolamento filamentar, normalmente utilizada para o fabrico de tubagens e peças de revolução em material compósito, tem sido aplicada experimentalmente para reforço e confinamento de pilares. Neste trabalho é feita a aplicação desta técnica ao reforço de vigas solicitadas à flexão.

O programa experimental de ensaios considerou o reforço de vigas para o aumento de capacidade de carga e a reabilitação e reforço de vigas danificadas.

2 VIGAS DE BETÃO ARMADO

2.2 Estrutura das vigas

As vigas utilizadas neste trabalho foram fabricadas em microbetão C35/45, têm 1 m de comprimento e uma secção transversal de 75 x 100 mm². Foram armadas com reforço longitudinal formado por 2 varões de 6 mm de diâmetro à tracção e por 2 varões de 5 mm de diâmetro à compressão. Transversalmente a armação é composta por estribos de 6 mm de diâmetro com um espaçamento de 50 mm entre eles. O recobrimento da armadura é de 7 mm. (figura 1)

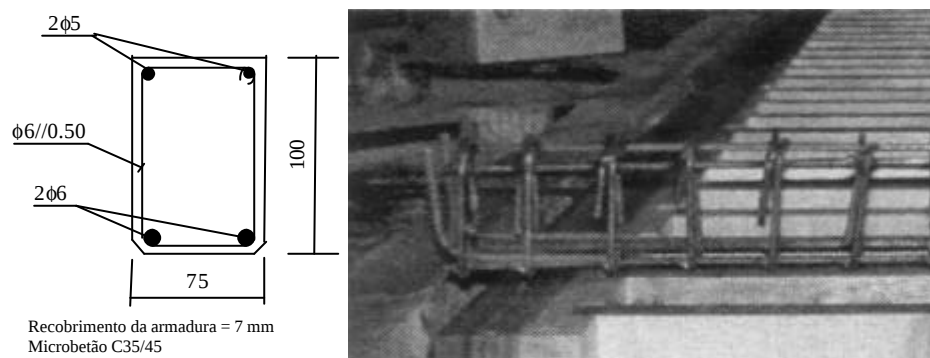


Figura 1 : Armadura das vigas.

O aço utilizado na armadura apresenta uma tensão de cedência de 530 MPa e uma tensão de rotura de 650 MPa. A resistência média à compressão do betão sobre cubos de 150 mm de aresta aos 28 dias é de 53 MPa.

2.2 Reabilitação das vigas

As vigas danificadas foram recuperadas a fim de serem reforçadas.

A flecha existente, resultante da deformação plástica dos varões da armadura à tracção, foi removida pela aplicação de uma carga de flexão através de um mecanismo hidráulico. As fendas e ocos foram preenchidos com uma pasta adesiva epóxida. (ver 3.1)

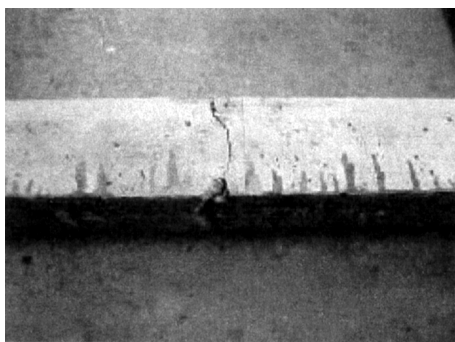


Figura 2 : Fendilhação de uma viga danificada.

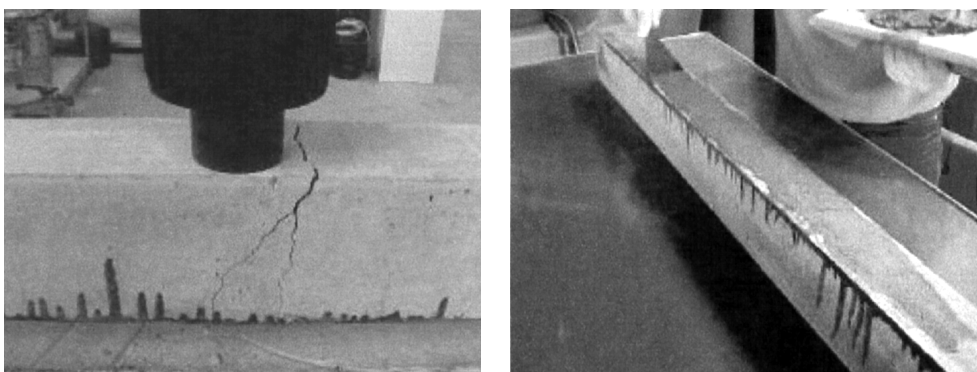


Figura 3 : Reabilitação da viga: (Esq.) Remoção da flecha existente com macaco hidráulico; (Dta.) Preenchimento dos ocos com a pasta epóxida.

2.3 Preparação da superfície

Os defeitos superficiais e as arestas cortantes das vigas foram removidos mecanicamente através de uma mó abrasiva. As vigas foram limpas através de jacto de ar. Para uma melhor aderência do sistema de reforço foi aplicado, na superfície, um primário constituído por uma resina epóxida (ver 3.1) e deixou-se curar por um período de 24 horas, antes da aplicação do enrolamento

filamentar. A preparação e limpeza da superfície são necessárias para uma boa ligação entre o reforço e a viga.

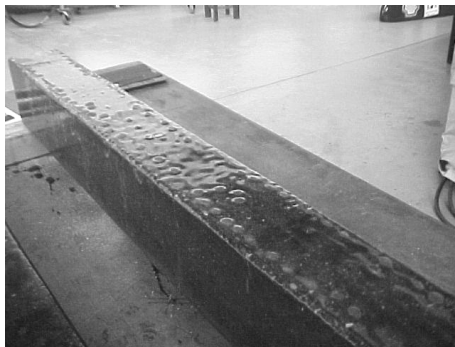


Figura 4 : Viga com a aplicação da resina epóxida na superfície.

3 SISTEMA DE REFORÇO

3.1 Materiais utilizados

Os materiais usados para a reabilitação e reforço das vigas utilizadas são materiais disponíveis no mercado nacional.

Para o preenchimento das fissuras e ocos:

- Pasta adesiva epóxida: Fermapoxy (Weber & Broutin)

Para o reforço:

- Resina epóxida: Reapox 520/526 (Rebelco)
- Fibras de carbono: HTA 5131 1600TEX F24000 TO (Tenax Fibras) ($E=234\text{GPa}$)

3.2 Enrolamento Filamentar

O enrolamento filamentar é um processo que consiste no enrolar de fios embebidos em resina à volta de um mandril com a forma interior da peça desejada. Este processo permite obter peças com baixo peso e boas características mecânicas. Tem outra grande vantagem que é o facto de se poder “brincar” com os ângulos de enrolamento, alterando as características mecânicas da peça, facto esse que poderá variar o tipo de solicitação a que esta venha a ser sujeita.

Para a aplicação do reforço foi utilizada uma máquina de enrolamento de 6 eixos PULTREX 1S-6NC. Foi enrolado, ao longo do comprimento da viga, um total de 850 mm dos 900 mm úteis usando um ângulo de enrolamento de 64° com uma tensão de tracção nas fibras de 10 N. Para os diferentes grupos de vigas reforçadas foram efectuados reforços com diferente número de camadas e consequente grau de reforço.

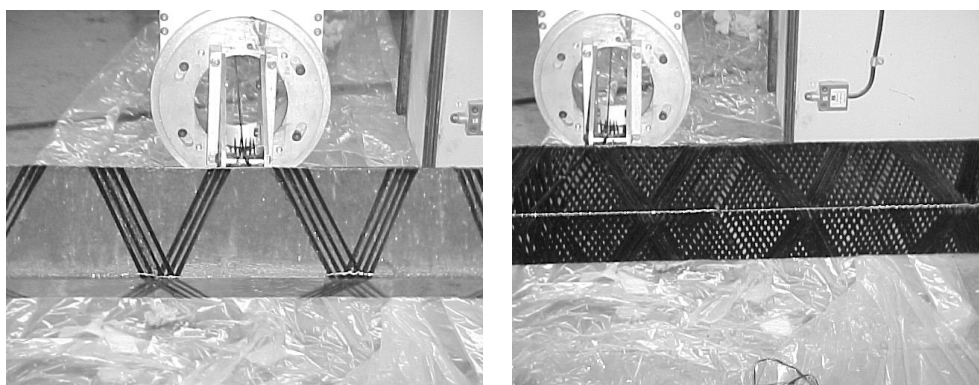


Figura 5 : Duas fases do reforço por enrolamento.



Figura 6 : Viga reforçada por enrolamento filamental

4 PROGRAMA DE ENSAIOS

O programa de ensaios realizado foi constituído por cinco grupos de vigas de acordo com o indicado na tabela 1, sendo efectuados ensaios de flexão em três e quatro pontos.

Tabela 1: Grupos de vigas ensaiados.

Grupo	Tipo de Viga	Nº de camadas	Tipo de ensaio
REF	Nova	0	Flex.3P
A	Nova	1,5	Flex.3P
B	Reabilitada	1	Flex.3P
C	Reabilitada	2	Flex.3P
D	Nova	1,5	Flex.4P

4.1 Ensaio de flexão

Os grupos REF, A, B, C foram ensaiados em flexão em 3 pontos com um vão de 900 mm (figura 7) sendo a velocidade vertical do actuador de 5 mm/min.

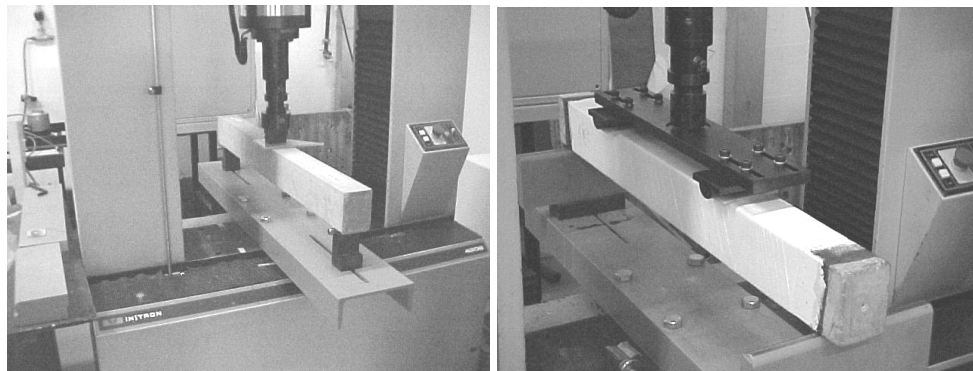


Figura 7 : Ensaio de flexão em 3 e 4 pontos.

O grupo D foi submetido a ensaio de flexão em 4 pontos. Os pontos de aplicação de carga têm um afastamento de 400 mm e o vão entre apoios 900mm. A velocidade vertical do actuador foi de 5 mm/min.

Para estes ensaios foi utilizada uma máquina de ensaios universal INSTRON 4208.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Nas figuras 8 a 10 são apresentados os gráficos carga / flecha a meio vão, obtidos nos diferentes ensaios realizados.

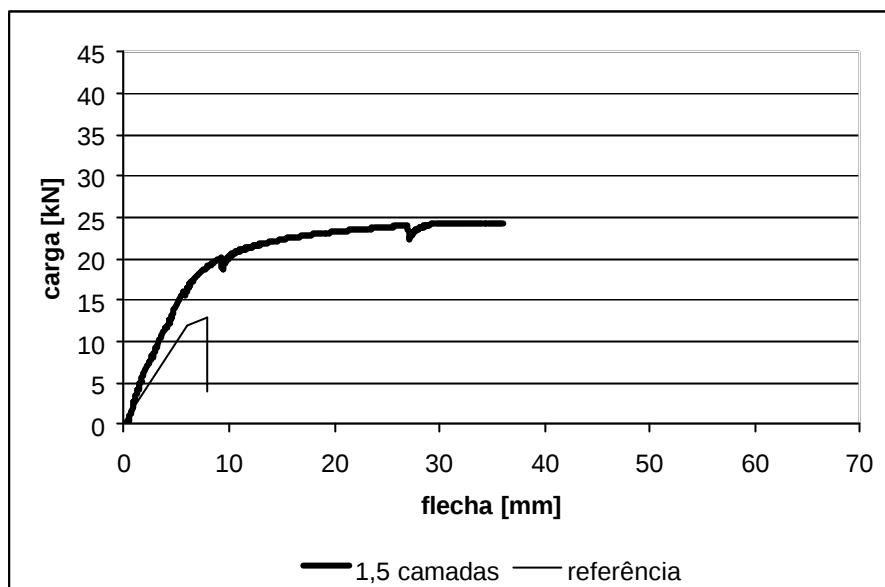


Figura 8 : Ensaio de flexão em 3 pontos dos grupos A; REF.

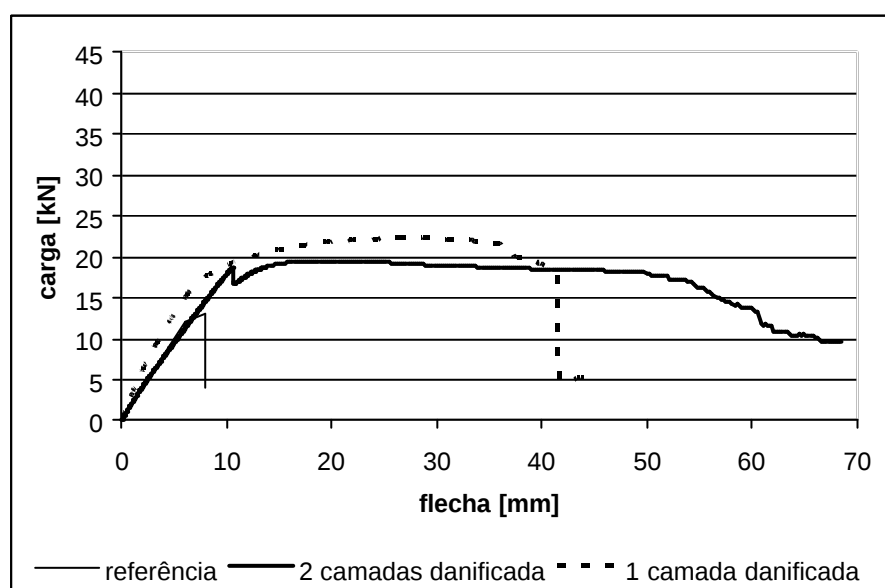


Figura 9 : Ensaio de flexão em 3 pontos dos grupos REF, C, B reabilitadas.

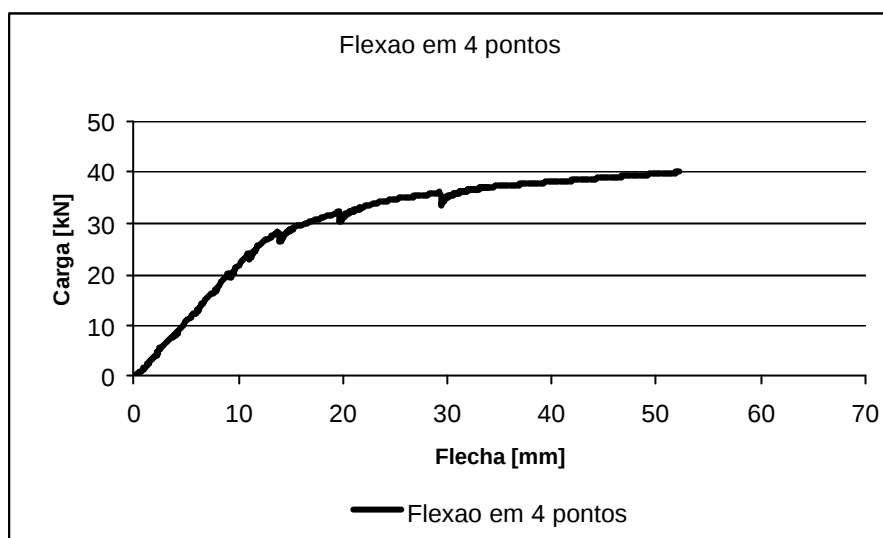


Figura 10 : Ensaio de flexão em 4 pontos do grupo D.

Os resultados obtidos experimentalmente para as vigas de referência (Vigas em betão armado sem reforço por enrolamento filamentar) apresentam uma boa correlação com o cálculo analítico efectuado com base no EUROCODE (13 kN e 8 mm de flecha).

Na tabela 2 são resumidos os resultados obtidos experimentalmente para os vários grupos de vigas ensaiadas.

Tabela 2 : Resumo dos resultados obtidos.

Grupo	Tipo de Viga	Tipo de ensaio	Carga Max. (kN)	Flecha (mm)	Carga Rot. # (kN)	Flecha. (mm)
REF	Referência	3 Pontos	13	8	13	8
A	1,5 Camadas nova	3 Pontos	24,37	34,45	24,34	36,06
B	1 Camada reabilitada	3 Pontos	22,35	28,12	20,1	37,28
C	2 Camadas reabilitada	3 Pontos	19,46	18,5	17,63	51,82
D *	1,5 Camadas nova	4 Pontos	43,6	52,28	---	---

* Este ensaio não foi levado até à rotura

Carga de rotura a 10% da carga máxima

Numa análise muito superficial dos gráficos e da tabela acima, podemos constatar que o reforço com 1, 1.5 e 2 camadas de vigas novas ou reabilitadas têm uma capacidade de suportar carga quase na ordem do dobro da carga de referência. A grande diferença entre reabilitadas e novas está na carga de rotura. Enquanto nas novas, a rotura é violenta (provavelmente por colapso da armadura), nas reabilitadas temos uma diminuição gradual da carga. O critério

utilizado para definição do valor da carga de rotura dessas vigas passou pela consideração de um abaixamento em 10 % do valor da carga máxima. Nas flechas constata-se que é possível obter vigas que, em serviço, apresentam uma flecha de rotura à flexão na ordem do quádruplo das vigas não reforçadas.



Figura 11 : (Esq.) Flecha máxima de uma viga reforçada com 2 camadas; (Dta.) Rotura das fibras após ensaio .

Do grupo ensaiado à flexão em quatro pontos, procedeu-se ao ensaio de uma viga, ensaio esse que foi parado antes da viga apresentar qualquer fractura visível. A paragem do ensaio deveu-se ao facto de a estrutura de apoio e carregamento, para os valores de carga atingidos, apresentar deformações elevadas. (figura 12)

Podemos constatar que a carga de utilização da viga aumenta quase para o dobro obtendo também maiores flechas relativamente aos ensaios de flexão em três pontos.

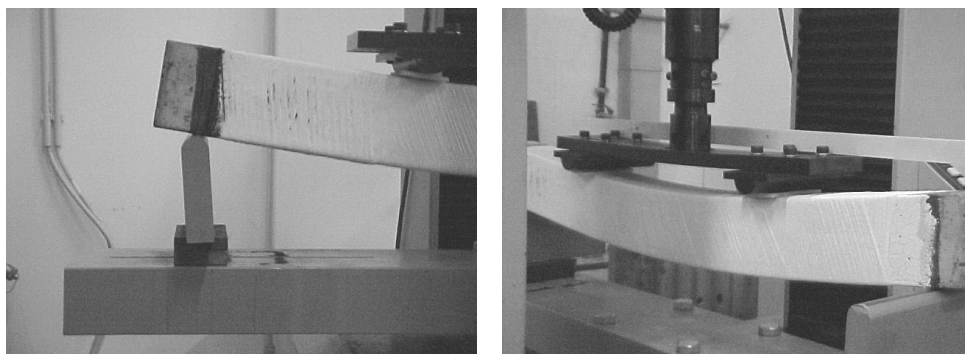


Figura 12 : pormenores da deformação verificada na estrutura de apoio e carregamento.

6 CONCLUSÕES

O sistema de reforço e reabilitação com materiais compósitos de CFRP para vigas de betão armado utilizando o método de enrolamento filamental, apresentado neste trabalho, apresenta-se como uma boa alternativa a outros sistemas comerciais de reforço, garantindo excelentes resultados em termos do acréscimo de carga admissível das vigas, assim como em termos de reabilitação de vigas bastante danificadas.

Este sistema de reforço apresenta, como particularidade, um comportamento em deformação da viga dentro dos valores usualmente previstos até ser atingido o valor máximo de carregamento, seguido de um elevado aumento da flecha entre a carga máxima e a carga de rotura (carga de rotura considerada para um abaixamento da carga resistente da viga em 10% relativamente à carga resistente máxima).

A aplicação prática desta técnica ainda encontra actualmente algumas dificuldades na sua aplicação em estruturas porticadas. Um protótipo de uma máquina de enrolamento filamental para ser utilizada em obra encontra-se em estudo.

7 BIBLIOGRAFIA

- [1] Juvandes, L.; Esteves, J.L.; Figueiras, J.A.; Brito, F.M.; Marques, A.T.; *“Characterisation of composite materials and adhesion Systems to be Used in the Reiforced of Concrete Beams”*, NEW TECH, New Technologies in Structural Engineering, LNEC, Lisboa, Portugal; 1997
- [2] Dias, S.J.E.; Juvandes, L.; Figueiras, J.; *“Comportamento de Faixas de Laje reforçadas com sistemas compósitos de CFRP unidireccional”*, Encontro Nacional Sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas, REPAR 2000, LNEC, Lisboa, Portugal; 2000
- [3] Esteves, J.L.; Marques, A.T.; *“Development of CFRP Flat Bar for the Rehabilitation and Strengthening of Buildings and Bridges”*, Composites in Constructions – CCC2001, Porto, Portugal, 2001
- [4] Vieira, P.; Loureiro, N.C.; Esteves, J.L.; Marques, A.T.; *“Strengthening and Reinforcement of concrete beams by the application of CFRP using the Filament Winding Method”*, 10th European Conference of Composite Materials-ECCM10, Brouges, Bélgica, 2002
- [5] Loureiro, N.C.; Esteves, J.L.; Lino, J.L.; *“Comportamento e dimensionamento de estruturas de betão reforçadas com CFRP”*, Projecto de Fim de curso, DEMEGI- FEUP, Porto, Portugal, 2002