

Comportamento de Vigas de Betão Armado Reforçadas à Flexão com Sistemas Compósitos de CFRP Unidireccionais

Salvador J. E. Dias^{1, †}

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil
Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal*

Luís F. P. Juvandes², Joaquim A. Figueiras³

*Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal*

RESUMO

Os estudos já efectuados sobre o reforço à flexão, com materiais compósitos de CFRP, de elementos de betão armado (vigas e faixas de laje) demonstram que o comportamento estrutural é significativamente melhorado ao nível da resistência. No entanto, tem-se verificado que é difícil obter o total aproveitamento do reforço de CFRP, isto é, atingir a rotura do compósito em simultâneo com o esmagamento do betão. Tal deve-se ao facto de se verificar a ocorrência de ruínas prematuras intercalares, ao longo da junta de ligação betão-adesivo-CFRP, que culminam no destacamento antecipado do reforço.

Neste trabalho descrevem-se os ensaios à flexão realizados em vigas de betão armado, uma simplesmente armada com armadura convencional (referência) e cinco reforçadas com sistemas compósitos de CFRP unidireccionais. Os resultados obtidos são apresentados e interpretados, referindo-se as principais conclusões sobre o comportamento das vigas ensaiadas e, em particular, a contribuição dos mecanismos de fixação na zona de ancoragem.

1. INTRODUÇÃO

As estruturas de betão são projectadas para um determinado período de vida útil, no qual devem exibir níveis adequados de segurança, funcionalidade e durabilidade. No entanto, inúmeras vezes tal não acontece. Com efeito, numa determinada estrutura podem ocorrer falhas, quer ao nível da concepção/projecto, da construção ou da utilização, que originem o aparecimento de danos provocando uma diminuição do desempenho da mesma.

À medida que o aparecimento de determinado tipo de danos estruturais se tornou mais frequente, foram sendo introduzidos nos códigos de dimensionamento disposições mais severas. Assim, a reparação e o reforço de estruturas de betão tem ganho um papel relevante

[†] Autor para quem a correspondência deverá ser enviada (sdias@civil.uminho.pt)

¹ Assistente

² Professor Auxiliar

³ Professor Catedrático

nos últimos anos, tornando-se numa parcela muito significativa na actividade da indústria da construção. Para fazer face a este cenário, torna-se necessário o desenvolvimento de técnicas de reforço cuja aplicação seja rápida e simples, que minimizem os efeitos na arquitectura e onde os materiais usados apresentem elevadas características mecânicas e de durabilidade. Assim, a colagem de sistemas compósitos reforçados com fibras de carbono, de sigla CFRP, aparece como uma solução que se enquadra nas premissas que se acabam de referir, Meier et al. (1991) e ACI440R-96 (1996).

No Laboratório de Estruturas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) têm-se realizado vários programas experimentais (Juvandes 1999, Dias 2001, Figueiras et al. 2001 e Juvandes et al. 2001), destacando-se neste trabalho um que visa comparar o comportamento à flexão de dois grupos de vigas de betão armado. Um correspondente a uma viga simplesmente armada (tomada como referência) e outro englobando cinco vigas reforçadas, para capacidades resistentes semelhantes, através da colagem de dois sistemas compósitos de CFRP unidireccionais, o curado “in situ” (manta flexível) e o pré-fabricado (laminado). Para cada sistema analisaram-se duas soluções de reforço à flexão, diferenciadas pela adição ou ausência de mecanismos exteriores de fixação nas zonas de ancoragem. Com este estudo pretendeu-se avaliar o desempenho das vigas reforçadas comparando-o com o da viga de referência e, em particular, analisar a eficiência da utilização de mecanismos exteriores de fixação, em termos de estados limites (serviço e último), modos de ruína e níveis de aproveitamento do material de reforço, Dias et al. (2000).

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1. Concepção dos modelos

Conforme está representado na Figura 1, as vigas apresentam uma secção transversal de $0.12 \times 0.18 \text{ m}^2$ estando longitudinalmente armadas com $2\phi 8$ na face inferior e $2\phi 6$ na face superior. A rotura prematura por corte foi prevenida através da adopção de estribos verticais $\phi 6$ afastados de 0.10 m .

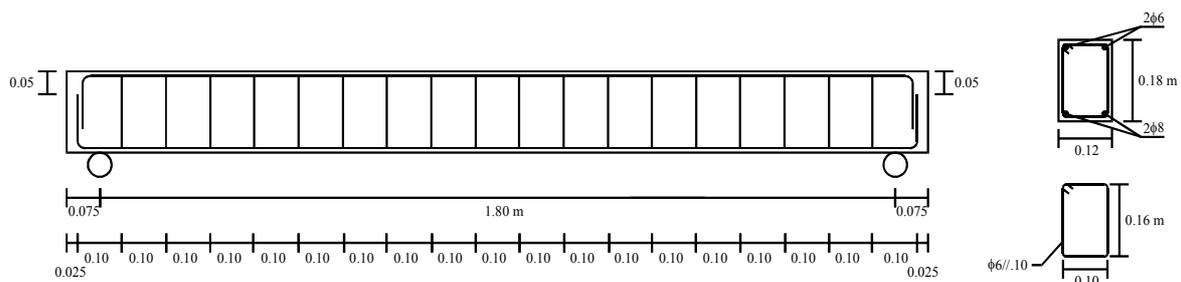
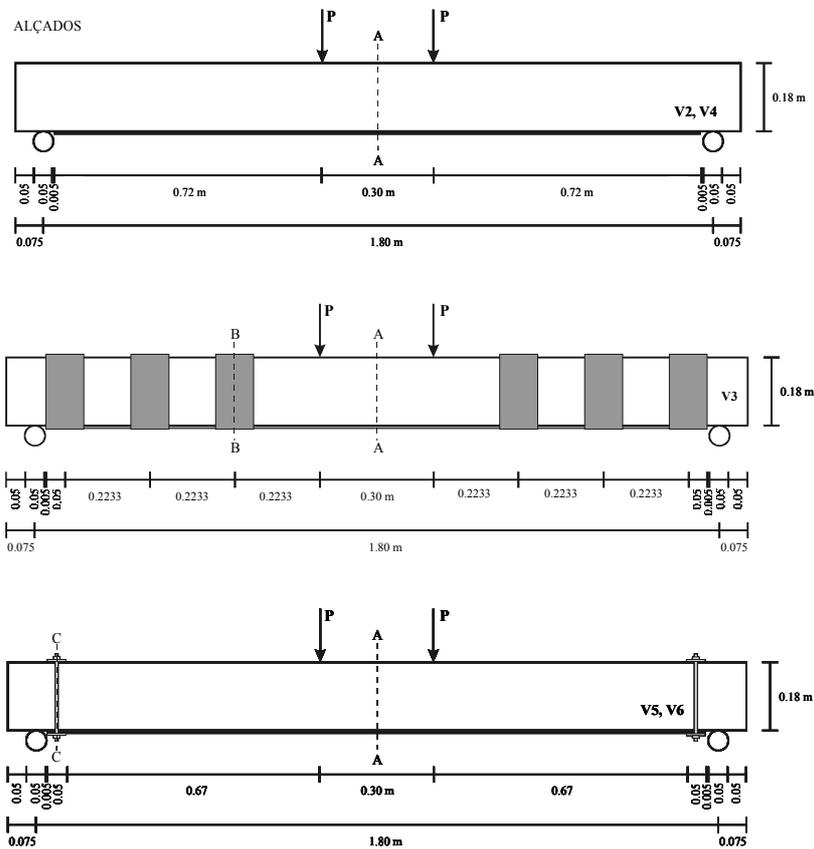


Figura 1 – Geometria da viga e armaduras de aço.

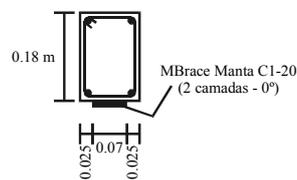
A geometria do reforço foi obtida de forma a que as vigas reforçadas apresentassem, aproximadamente, uma capacidade resistente 50% superior à da viga de referência (viga não reforçada). O pré-dimensionamento das secções transversais dos reforços foi efectuado tendo em consideração a ocorrência de roturas prematuras e a necessidade de evitar que a armadura plastifique em serviço. Para tal, recorrendo ao critério proposto por Rostasy (Nr. Z-36.12-29, DIBt, 1997), limitou-se a deformação máxima no compósito a 7.5 ‰ no caso da manta e a 5.5 ‰ no caso do laminado.

A largura da secção transversal dos reforços adoptados traduziu-se, para o caso da manta flexível, em duas camadas com largura de 7 cm e, para o caso do laminado, numa tira com 2 cm de largura. Na Figura 2 apresenta-se, para cada viga reforçada, o tipo de reforço à flexão e respectiva geometria, assim como os mecanismos exteriores de fixação do compósito longitudinal adoptados na viga reforçada com o sistema curado “in situ” e nas vigas reforçadas com o sistema pré-fabricado, Dias (2001).

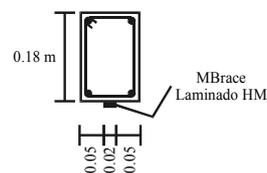


SECÇÃO A-A

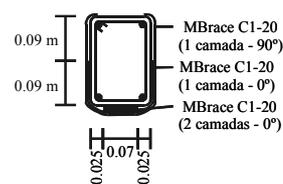
V2 e V3



V4, V5 e V6



SECÇÃO B-B



SECÇÃO C-C

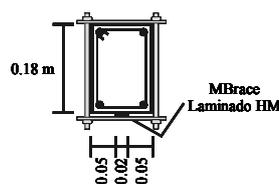


Figura 2 – Geometria do reforço implementado nas vigas.

Na Tabela 1 apresentam-se as principais informações sobre os modelos ensaiados.

Tabela 1 – Informações gerais sobre as vigas.

Vigas	Aço ρ_s (%) ⁽¹⁾	Reforço à flexão		Observações
		Material	ρ_{CFRP} (%) ⁽¹⁾	
V1	0.46	-	-	Referência
V2		MBrace	0.07	Reforçada ⁽²⁾
V3		Manta C1-20		Reforçada + fixação ⁽³⁾
V4		MBrace Laminado HM	0.13	Reforçada ⁽²⁾
V5				Reforçada + fixação ⁽³⁾
V6				Reforçada + fixação ⁽³⁾

(1) - $\rho_s = A_s/A_c$, $\rho_{CFRP} = A_{CFRP}/A_c$, onde A_s , A_c e A_{CFRP} são respectivamente as áreas de aço, de betão e de CFRP;

(2) -Viga de betão armado com reforço à flexão;

(3) -Viga de betão armado com reforço à flexão + mecanismo exterior de fixação do compósito longitudinal.

Relativamente aos mecanismos exteriores de fixação do compósito longitudinal, no caso da viga reforçada com o sistema curado “in situ” recorreu-se a presilhas executadas com mantas de CFRP. Primeiro aplicou-se uma camada de manta com 30 cm de comprimento e 10 cm de largura, com as fibras orientadas a 0° (a mesma orientação que a do reforço longitudinal). De seguida, colocou-se outra camada de manta com 52 cm de comprimento e 10 cm de largura mas, com as fibras orientadas a 90°. A Figura 3 ilustra a solução adoptada para as presilhas executadas com mantas de CFRP. O critério de escolha, sem a preocupação de uma estratégia de reforço ao corte, do número de presilhas e da sua posição, foi estabelecido recorrendo ao modelo da treliça de Morsh (Figura 3), considerando-se para as bielas de compressão um ângulo de 38°.

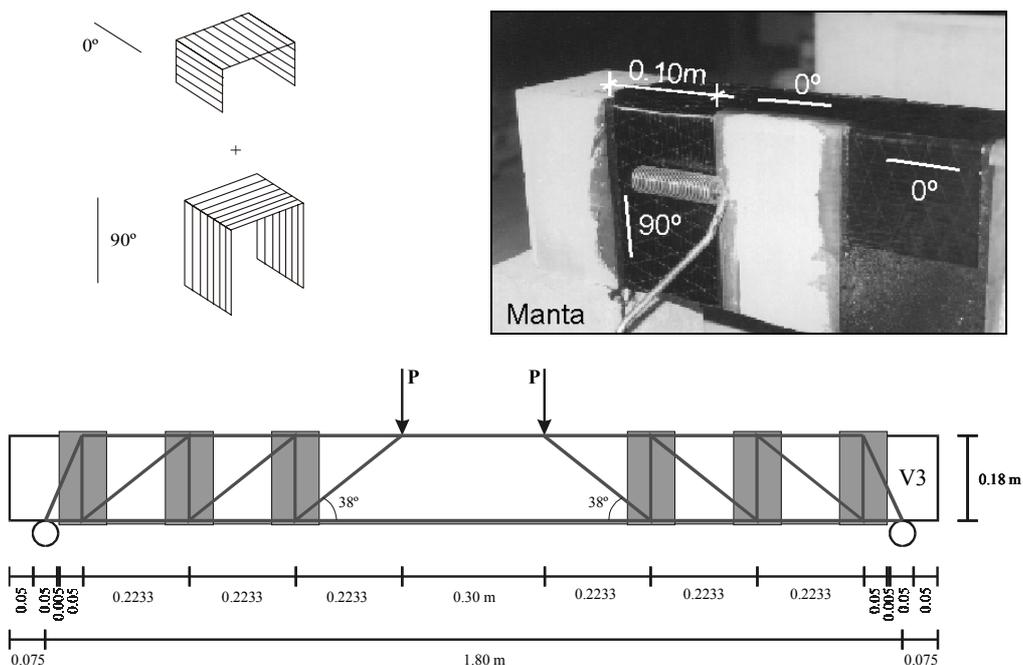


Figura 3 – Solução adoptada para as presilhas executadas com manta de CFRP.

No caso da viga reforçada com laminado recorreu-se, baseado no trabalho experimental de Deuring (1993), a presilhas de aço colocadas nas extremidades daquele. A Figura 4 apresenta um pormenor do mecanismo exterior de fixação utilizado nas vigas V5 e V6.



Figura 4 – Mecanismo exterior de fixação do laminado.

2.2. Caracterização dos materiais

A avaliação da resistência à tracção, do módulo de elasticidade e da resistência à compressão do betão, aos 28 dias de idade e à data dos ensaios das vigas, foi efectuada experimentalmente segundo o estipulado na NP-ENV206. Para tal, efectuaram-se ensaios de flexão em prismas de $15 \times 15 \times 52.5 \text{ cm}^3$ e ensaios de compressão uniaxial em cilindros, de 30 cm de altura e 15 cm de diâmetro, e cubos de 15 cm de aresta. A caracterização da ligação betão-adesivo-CFRP foi efectuada através da realização de ensaios de arrancamento por tracção “pull-off”, recorrendo para o efeito ao equipamento da SETA de “Bond-test”. Os modelos ensaiados contêm aço nervurado de 6 mm e 8 mm. Para avaliar as características mecânicas de cada tipo de aço efectuaram-se ensaios de tracção uniaxial em três provetes. Na Tabela 2 apresentam-se resumidamente os valores médios das principais propriedades do betão e do aço, obtidos experimentalmente.

Tabela 2 – Resumo das características do betão e do aço.

Vigas	Betão						Aço			
							$\phi 6$		$\phi 8$	
	$f_{cm}^{cub}^{(1)}$ (MPa)	$f_{cm}^{cil}^{(1)}$ (MPa)	$E_{cm}^{(1)}$ (GPa)	$f_{ctm}^{(1)}$ (MPa)	Classe ⁽²⁾	$f_{ctm,p}^{(3)}$ (MPa)	f_{ym} (MPa)	f_{um} (MPa)	f_{ym} (MPa)	f_{um} (MPa)
V1										
V2										
V3	41.4	36.7	28.5	2.9	C30/37	4.0	555.0	602.0	533.0	543.0
V4	(47.7)	(41.0)	(31.1)	(4.2)						
V5										
V6										

(1) - Propriedade do betão aos 28 dias de idade e (valor) é a propriedade do betão à data dos ensaios das vigas (200 dias de idade);

(2) - Obtida através das propriedades do betão aos 28 dias de idade;

(3) - Valor médio da aderência, $f_{ctm,p}$, obtido nos ensaios de “pull-off”.

O reforço das vigas foi executado com dois sistemas compósitos de CFRP unidireccionais (Figura 5), a manta flexível curada “in situ” (MBrace Manta C1-20) e o laminado pré-fabricado (MBrace Laminado HM). Recorrendo à literatura técnica disponibilizada pelos fabricantes dos sistemas de reforço adoptados, retiraram-se as principais características dos seus constituintes, que se registam na Tabela 3, Bettor (1999).



Figura 5 – Sistema curado "in-situ" e sistema pré-fabricado utilizados.

Tabela 3 – Principais características dos constituintes dos sistemas de CFRP utilizados.

Sistema de reforço		Principais características			
Tipo	Constituintes	Resistência à tracção (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)	Extensão na rotura (%)	Espessura (mm)
MBrace Manta C1-20	Primário	12	0.7	30	-
	Resina	50	3	25	-
	Manta	3700	240	15	0.111
MBrace Laminado HM	Primário	12	0.7	30	-
	Adesivo	-	7	-	-
	Laminado	2200	200	11	1.4

2.3. Técnica de aplicação do reforço

A aplicação dos sistemas compósitos de CFRP envolve essencialmente três tarefas: i) o tratamento da superfície de forma a garantir que a base tenha boas condições de aderência; ii) a colagem propriamente dita do reforço; iii) o controlo de qualidade da colagem antes, durante e após a aplicação, Juvandes et al. (2000) e FIB - Bulletin14 (2001).

2.3.1. Aplicação do sistema curado “in situ”

O tratamento da superfície consistiu na passagem de um esmeril nas zonas de colagem do CFRP, com o objectivo de remover a leitada superficial, aplicando-se, de seguida, jactos de ar a fim de eliminar as sujidades. Na viga V3, além daquele tratamento, procedeu-se ao arredondamento das arestas nas zonas a localizar os sistemas exteriores de fixação, no intuito de evitar concentração de tensões. Uma camada de primário foi aplicada em toda a extensão

de reforço, de forma a garantir a melhor aderência possível da manta à base. Posteriormente, procedeu-se à colagem do CFRP começando por se aplicar as duas camadas de manta que constituem o reforço à flexão (fibras orientadas a 0°). De seguida, na viga V3 aplicaram-se, em zonas discretas, as duas camadas de manta que formam o mecanismo exterior de fixação adoptado e que está ilustrado na Figura 3 (a primeira com as fibras orientadas a 0° e a segunda com as fibras orientadas a 90°). Na Figura 6 apresentam-se algumas das fases de aplicação do sistema curado “in situ”, Dias (2001).

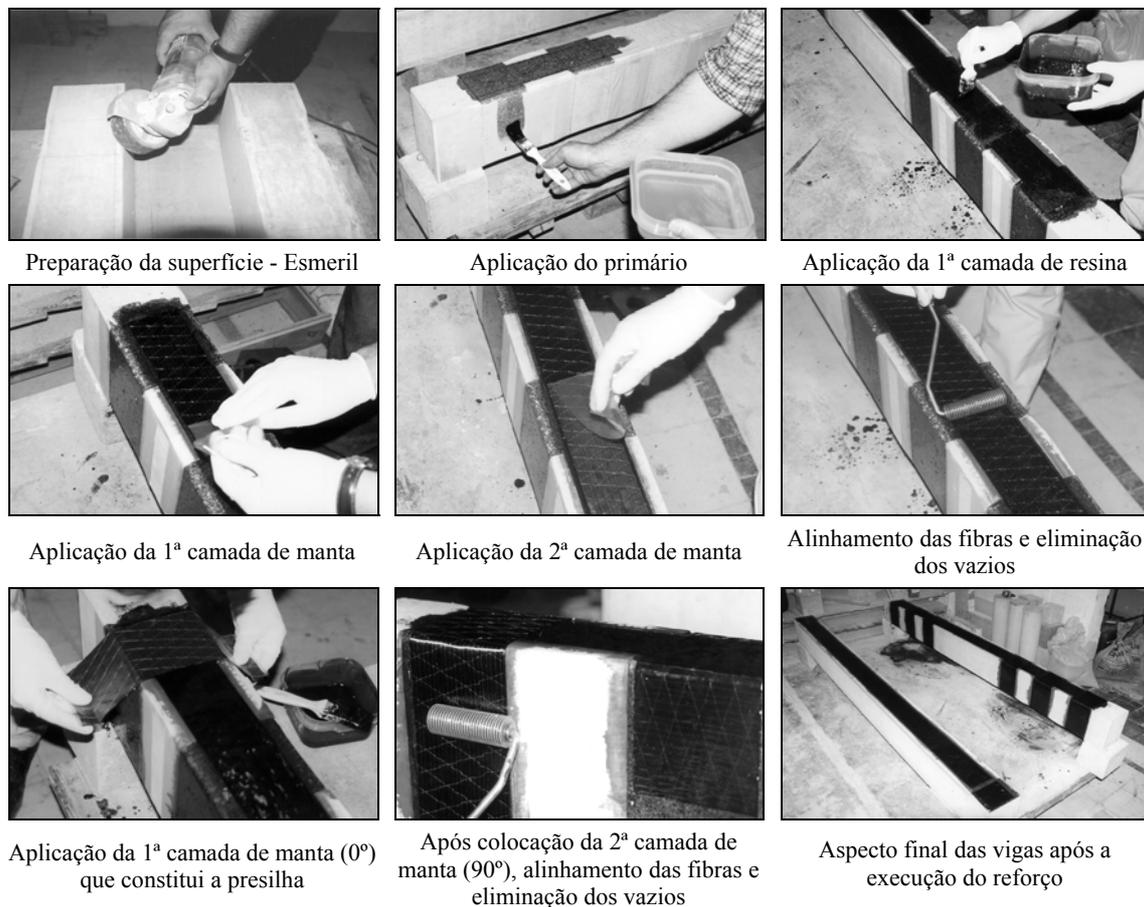


Figura 6 – Aplicação do reforço na viga V3.

2.3.2. Aplicação do sistema pré-fabricado

O tratamento da superfície foi feito recorrendo ao martelo de agulhas e ao jacto de ar, tendo-se de seguida aplicado uma camada de primário. Após o tratamento da superfície, o faseamento das tarefas da colagem do reforço foi o seguinte:

- limpeza do laminado de CFRP com um desengordurante;
- aplicação do adesivo quer no laminado quer na área de colagem da viga;
- junção do laminado com a superfície de betão a reforçar comprimindo-o, de forma a obter uma espessura uniforme de adesivo ($\cong 2$ mm) e eliminar a existência de eventuais vazios.

A Figura 7 ilustra as fases que se acabam de referir, Dias (2001).

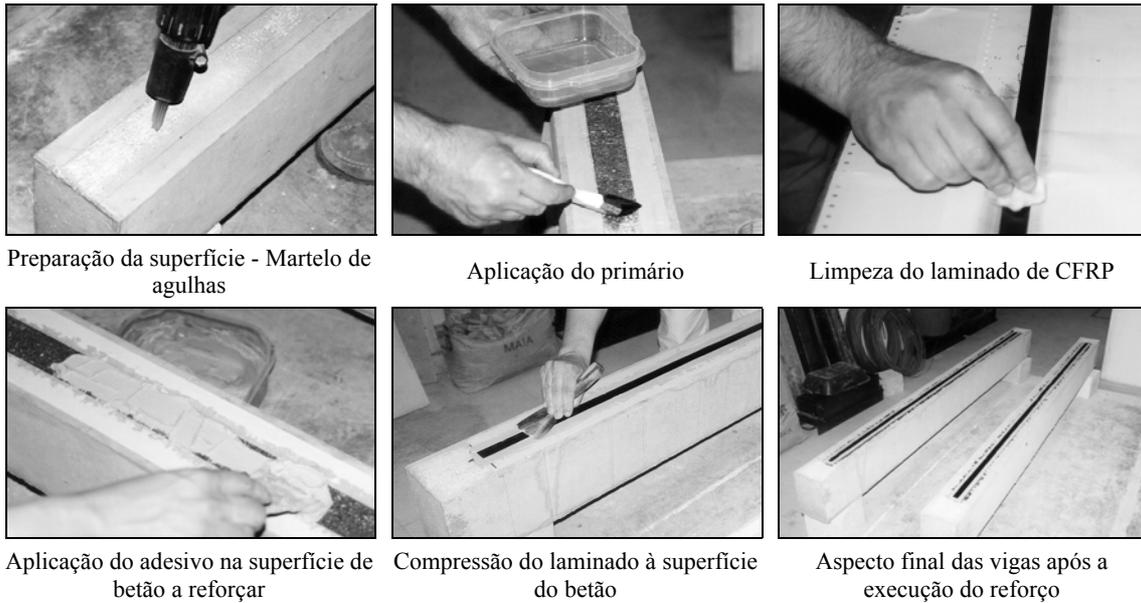


Figura 7 – Aplicação do sistema pré-fabricado.

2.4. Sistema de ensaio

O tipo de carregamento usado consistiu em submeter os modelos à flexão sob quatro pontos, levando-os à rotura. A distância entre apoios foi de 1.80 m e os pontos de carga estavam afastados 15 cm para cada lado do centro das vigas (Figura 2). O procedimento do ensaio das vigas está representado nas Figuras 8 e 9.



Figura 8 – Viga não reforçada.

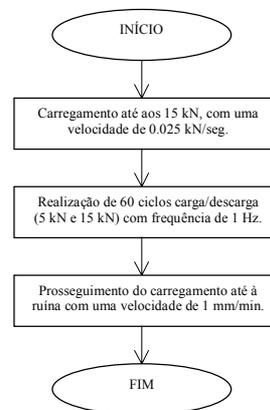


Figura 9 – Vigas reforçadas.

Para instrumentação dos modelos recorreu-se a uma célula de carga com uma capacidade máxima de 250 kN, a transdutores de deslocamentos do tipo “Linear Variable Differential Transformer” (LVDT) com curso de ± 25 mm e a extensómetros eléctricos colados ao longo do composto de carbono (manta ou laminado). A localização dos LVDT's em todas as vigas e o posicionamento dos extensómetros, apenas nas vigas reforçadas, estão representados na Figura 10. A presença das presilhas de CFRP na viga V3 originou um posicionamento diferente dos extensómetros.

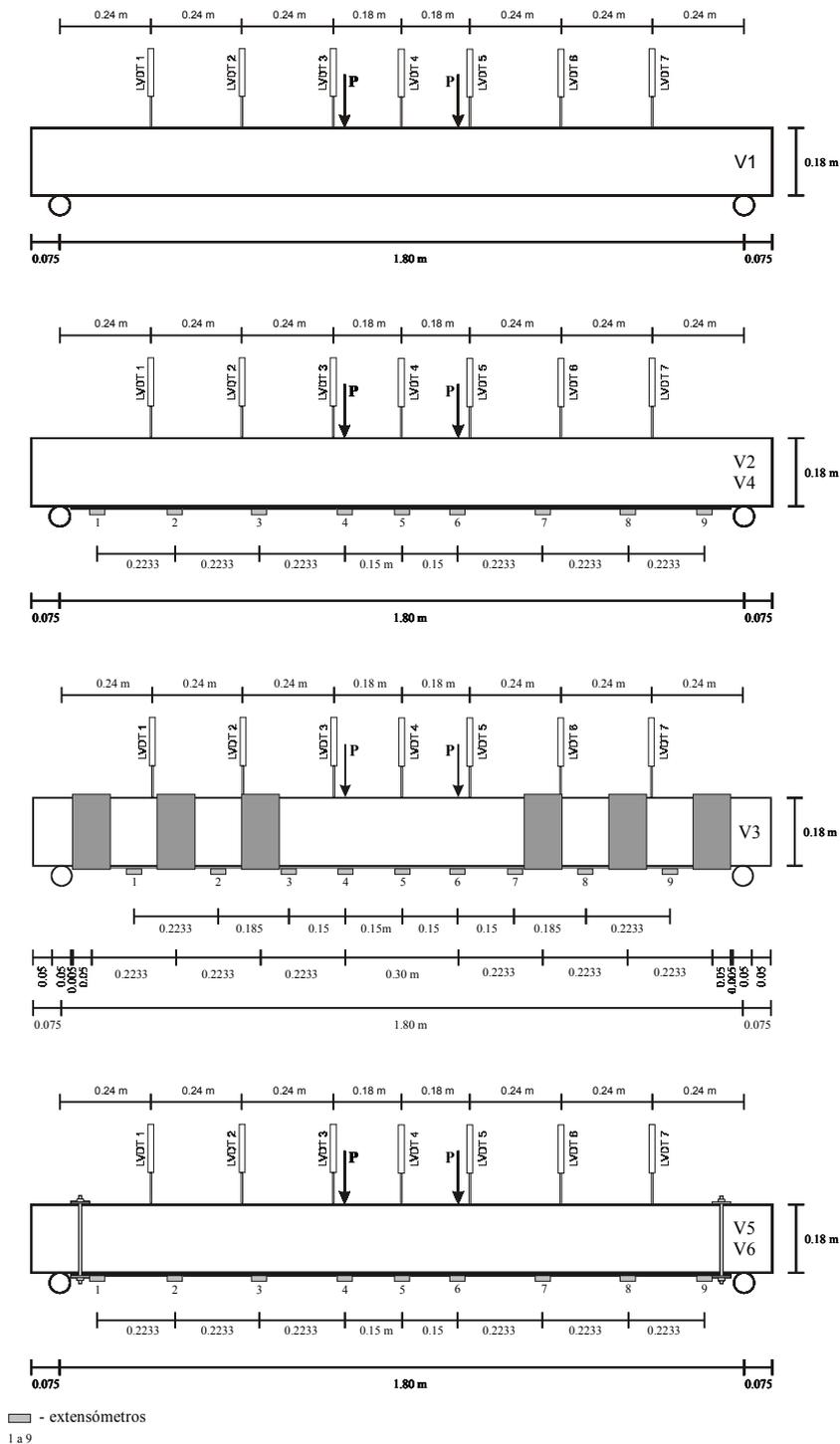


Figura 10 – Localização dos LVDT's e dos extensómetros.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados que se apresentam de seguida visam fundamentalmente avaliar aspectos como:

- a validação do critério de pré-dimensionamento;
- a eficiência do reforço com compósitos de CFRP, comparando a viga simplesmente armada com as vigas reforçadas;
- o efeito de um carregamento repetido nas vigas reforçadas em fase de serviço;

- a discussão dos modos de ruína obtidos, associando-os aos níveis de desempenho verificados quer para a manta quer para o laminado;
- a influência da presença de mecanismos exteriores de fixação da zona de ancoragem do compósito no comportamento global das vigas reforçadas.

3.1. Eficiência do reforço

Na Tabela 4 apresentam-se, para cada um dos modelos ensaiados, os principais resultados em termos de carga de início de fendilhação (F_{fend}), da carga de cedência do aço (F_{sy}) e da respectiva flecha (a_{sy}), da carga máxima (F_{max}) e da flecha máxima (δ_{max}). Apresentam-se, também, as relações das vigas reforçadas com a viga de referência (V1), em termos das grandezas anteriormente referidas.

Tabela 4 – Principais resultados de cada uma das vigas ensaiadas.

Propriedades	Vigas					
	V1	Manta		Laminado		
		V2	V3	V4	V5	V6
F_{fend} (kN)	4.47	5.0	5.36	4.20	5.75	6.40
$F_{fend} / F_{fend, V1}$	1.0	1.12	1.20	0.94	1.29	1.43
F_{sy} (kN)	21.18	28.39	29.8	28.75	29.38	31.0
$F_{sy} / F_{sy, V1}$	1.0	1.34	1.41	1.36	1.39	1.46
a_{sy} (mm)	7.2	9.2	8.8	9.0	9.1	8.6
$a_{sy} / a_{sy, V1}$	1.0	1.28	1.22	1.25	1.26	1.19
F_{max} (kN)	23.87	37.19	39.64	39.22	30.33	40.81
$F_{max} / F_{max, V1}$	1.0	1.56	1.66	1.64	1.27	1.71
δ_{max} (mm)	41.37	17.16	19.74	15.62	10.69	17.35
$\delta_{max} / \delta_{max, V1}$	1.0	0.41	0.48	0.38	0.26	0.42

Em serviço regista-se que a carga de início de fendilhação apresenta valores mais altos nos modelos reforçados, com a exceção da viga V4. A presença de uma armadura adicional nas vigas reforçadas provocou um aumento médio de 39 % da carga de cedência do aço, face à registada na viga de referência. O carregamento repetido nas vigas reforçadas pode ter contribuído para que a flecha correspondente à cedência do aço seja maior nessas do que a registada na viga não reforçada (ver pormenor da Figura 11).

Em termos médios, verifica-se que as vigas reforçadas (V2 a V6) apresentam uma carga máxima 1.57 vezes superior à da viga não reforçada. Quando se usam mecanismos

exteriores de fixação (V3, V5 e V6) a capacidade máxima resistente é ligeiramente maior, com a excepção da viga V5, onde ocorreu o tipo de rotura mais penalizante no desempenho do reforço (destacamento do laminado pela ligação deste ao adesivo). O reforço das vigas com compósitos de CFRP introduziu uma menor deformação máxima em relação à viga não reforçada, conforme se pode verificar nos valores da Tabela 4, relativamente à flecha δ_{max} .

A Figura 11 apresenta a curva de comportamento das vigas ensaiadas, verificando-se que as vigas reforçadas exteriormente com material compósito registam, até esgotarem a sua capacidade resistente, três estados principais de comportamento: betão não fendilhado, betão fendilhado e após a plastificação do aço, tal como verificaram Meier et al. (1991). Durante o último estado constata-se que apenas o compósito contribui para o aumento da capacidade resistente. Este facto justifica o aparecimento do troço recto na parte final das curvas das vigas reforçadas (comportamento linear dos compósitos de CFRP).

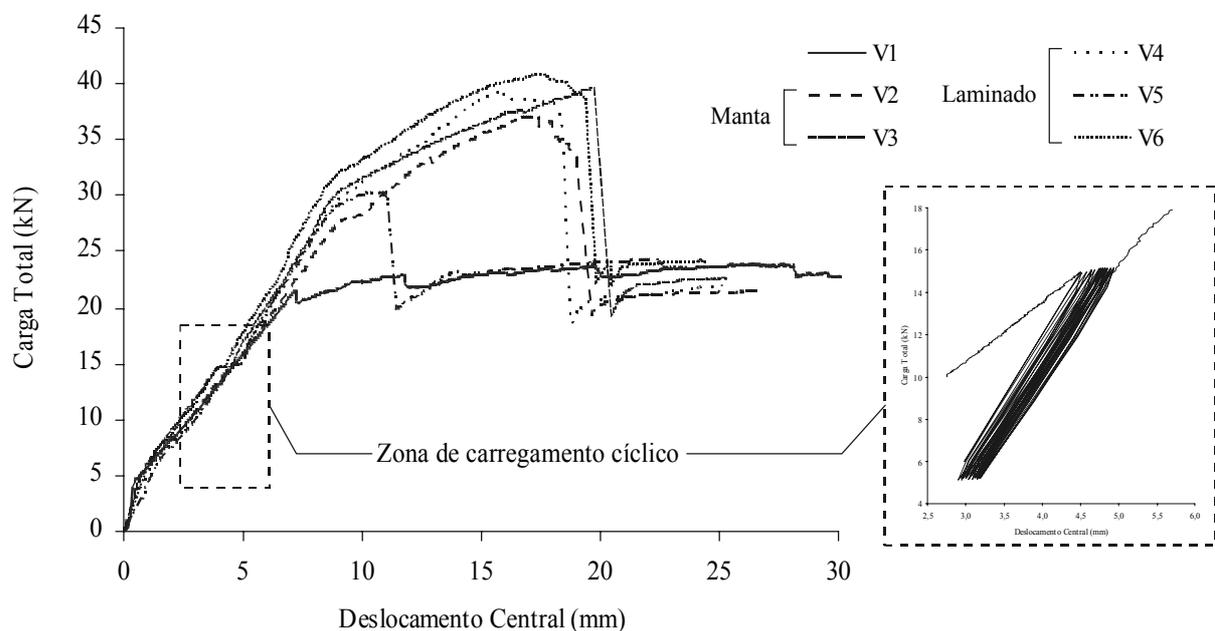


Figura 11 – Curvas carga total vs deslocamento central das vigas ensaiadas.

3.2. Modos de ruína e comportamento do CFRP

A ruína da viga de referência deu-se pelo esmagamento do betão, enquanto que as vigas reforçadas, com a excepção da viga V3 que atingiu o esgotamento do CFRP, alcançaram a sua capacidade resistente máxima quando se deu o destacamento do CFRP. A Figura 12 ilustra o modo de ruína e o padrão de fendilhação final registado em cada uma das vigas ensaiadas.

A Tabela 5 apresenta, para cada viga testada, o modo de ruína, a extensão máxima registada no CFRP e o nível de aproveitamento do CFRP. Apresentam-se, também, os valores máximos obtidos para as tensões de corte na interface betão-adesivo-CFRP, confrontando-os com os valores médios da tensão de aderência, determinados através de ensaios de “pull-off”.

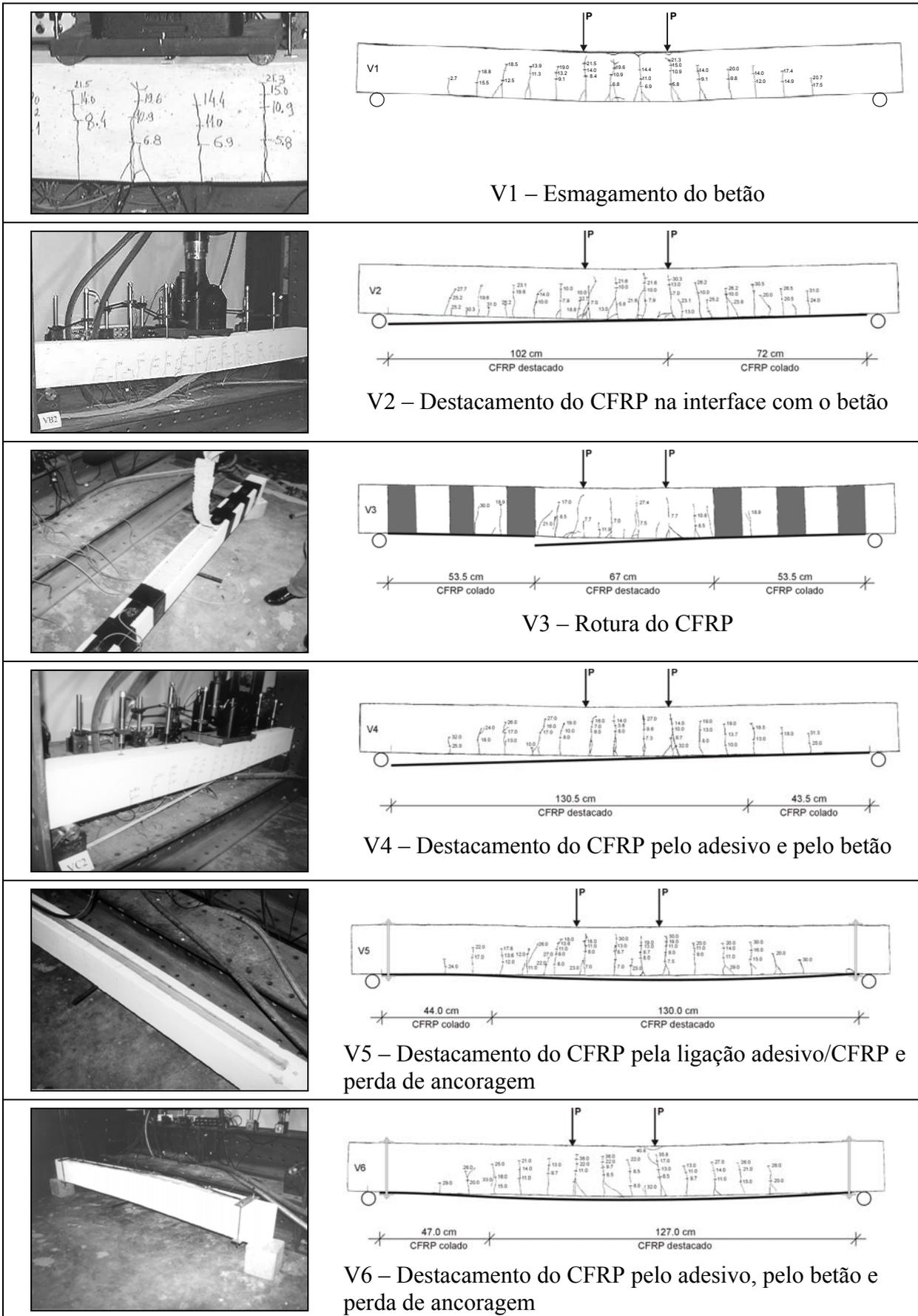


Figura 12 – Modos de ruína e padrão de fendilhação final observados nas vigas ensaiadas.

Tabela 5 – Modos de ruína/desempenho do CFRP.

Vigas	Modos de ruína	ε_{max}^{CFRP} (‰)	σ_{max}^{CFRP} (MPa)	$\sigma_{max}^{CFRP} / \sigma_u$ ⁽¹⁾ (%)	$\tau_{max}^{ligação}$ (MPa)	$f_{ctm,p}$ ⁽²⁾ (MPa)
V1	Esmagamento do betão	-	-	-	-	-
V2	Destacamento do CFRP na interface com o betão	8.07	1936.8	52.3	1.09	3.61
V3	Rotura do CFRP	8.70	2088.0	56.4	1.60	3.63
V4	Destacamento do CFRP pelo adesivo e pelo betão	6.87	1374.0	62.5	2.52	4.42
V5	Destacamento do CFRP na ligação adesivo/CFRP com o escorregamento da ancoragem	4.06	812.0	36.9	1.12	4.44
V6	Destacamento do CFRP pelo adesivo e pelo betão com o escorregamento da ancoragem	7.21	1442.0	65.5	2.65	-

(1) - Tensão σ_u - ver Tabela 3; (2) - Valores de aderência, $f_{ctm,p}$, obtidos nos ensaios de "pull-off".

3.3. Desempenho dos mecanismos exteriores de fixação

Apesar do número reduzido de ensaios, os resultados obtidos sugerem que a aplicação de mecanismos exteriores de fixação do reforço à flexão proporcionam o funcionamento do CFRP até mais tarde (com a exceção da viga V5) e um pequeno aumento da capacidade resistente, conforme se pode observar na Figura 11. Na viga reforçada com o sistema curado “in situ” (V3) o critério de fixação do reforço longitudinal usado proporcionou a rotura do compósito, apesar do valor da extensão máxima registada no CFRP (8.7 ‰) ser inferior à extensão última indicada pelo fornecedor (15.0 ‰ - ver Tabela 3). O mesmo não aconteceu com o mecanismo de fixação das extremidades do sistema pré-fabricado (V5 e V6), uma vez que permitiu o escorregamento do laminado nas duas vigas, impossibilitando o total aproveitamento do CFRP. Neste caso, conclui-se que é necessário implementar um mecanismo que incida não só na extremidade, mas também, discretamente ao longo do comprimento efectivo de ancoragem do CFRP ao betão.

4. CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios sobre modelos de vigas reforçadas permitiram extrair as seguintes conclusões:

- a técnica de reforço, utilizando a colagem de sistemas compósitos de CFRP unidireccionais, resulta num aumento significativo da capacidade última de carga e num razoável incremento de rigidez, quando se compara a viga não reforçada com as vigas reforçadas;
- a flecha correspondente à carga máxima verificada nas vigas reforçadas foi menor que a verificada na viga V1;
- os dois sistemas de CFRP utilizados conduziram a resultados semelhantes quer em serviço quer em termos de capacidade resistente;
- apesar das vigas reforçadas com o sistema da manta apresentarem resultados semelhantes (carga máxima, flecha máxima, extensão máxima medida), verifica-se que o tipo de mecanismo exterior de fixação do compósito usado permitiu a rotura do CFRP;

- o tipo de fixação usado com o sistema de laminado mostrou-se pouco eficiente, visto que não impediu a ocorrência do destacamento prematuro do CFRP em consequência da falta de rigidez e aperto adequado;
- as consequências de uma deficiente aplicação do reforço pode conduzir a uma quase ineficácia deste, como se constatou no desempenho da viga V5 devido ao uso de um desengordurante não específico deste sistema (sem acetona).

5. AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam os seus agradecimentos ao apoio prestado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) no projecto POCTI/36059/ECM/2000 de título “Comportamento e dimensionamento de estruturas de betão reforçadas com FRP considerando os efeitos de envelhecimento” e à colaboração das empresas ENGIL, na betonagem dos modelos testados, e Bettor MBT Portugal (em particular ao Eng^o Filipe Dourado) pela prestabilidade, fornecimento e ajuda na aplicação dos sistemas compósitos de reforço.

6. REFERÊNCIAS

ACI 440R-96, “State of the art report on fiber reinforced plastic reinforcement for concrete structures”, reported by ACI Committee 440, Manual prático de betão, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 68 pp, 1996.

Bettor MBT Portugal, “Sistema Compósito MBrace” Fichas técnicas, Lisboa, 1999.

Deuring, M., “Verstärken von stahlbeton mit gespannten faserverbundwerkstoffen”, Tese de Doutoramento, ETH, 1993.

Dias, S.J.E., Juvandes, L.F.P. e Figueiras, J.A., “Eficiência do reforço de vigas de betão armado com sistemas compósitos de CFRP unidireccionais”, Encontro Nacional de Betão Estrutural 2000, FEUP, pp. 363-372, Novembro, 2000.

Dias, S.J.E., “Verificação experimental do reforço com CFRP de estruturas de betão à flexão”, Tese de Mestrado, FEUP, 2001.

FIB - Bulletin 14, “Externally bonded FRP reinforcement for RC structures”, technical report by Task Group 9.3 FRP (Fiber Reinforced Polymer) reinforcement for concrete structures, CEB-FIP, July, 130 pp, 2001.

Figueiras, J. A. e Juvandes, L., “Reforço de pontes por colagem de sistemas de FRP - Caso da Ponte de N.S. da Guia”, actas do Seminário “Segurança e Reabilitação das Pontes em Portugal”, FEUP, Porto, pp. 189-203, Junho, 2001.

Homologação de construção nr. Z-36.12-29, “Verstärkungen von Stahlbeton-und Spannbetonbauteilen durch schubfest aufgeklebte Kohlefaserlamellen - Sika CarboDur”, autorização de construção dada pelo Deutsches Institut Fur Bautechnik (DIBt), Berlim, 1997.

Juvandes, L.F.P., “Reforço e reabilitação de estruturas de betão usando materiais compósitos de CFRP”, Tese de Doutoramento, FEUP, 1999.

Juvandes, L.F.P. e Figueiras, J.A., “Questões sobre o controlo e a garantia da qualidade dum projecto de reforço com sistemas de CFRP”, Encontro Nacional de Conservação e Reparação de Estruturas, REPAR 2000, LNEC, Lisboa, pp. 567-578, 2000.

Juvandes, L.F.P., Dias, S.J.E. e Figueiras, J.A., “Experimental behaviour of concrete slabs strengthened with CFRP systems”, proceedings of the CCC2001 - Composites in Construction International Conference, FEUP, Porto, pp. 479-485, Outubro, 2001.

Meier, U. e Kaiser, H. P., “Strengthening of structures with CFRP laminates”, proceedings of the Speciality Conf. on Advanced Composites Materials in Civil Engineering Structures, Las Vegas, ASCE, New York, pp. 224-232, Janeiro-Fevereiro, 1991.