

## SISTEMA HÍBRIDO EM MATERIAIS COMPÓSITOS PARA REFORÇO DE LAJES DE BETÃO ARMADO



**Everaldo Bonaldo**  
Aluno Doutoramento  
UM  
Guimarães  
bona@civil.uminho.pt



**J. A. O. Barros**  
Professor Associado  
UM  
Guimarães  
barros@civil.uminho.pt



**Paulo B. Lourenço**  
Professor Associado  
UM  
Guimarães  
pbl@civil.uminho.pt

### SUMÁRIO

O desempenho em termos de aumento da resistência à flexão da técnica de reforço que combina laminados de CFRP à tracção com camada de compressão em betão reforçado com fibras de aço (BRFA), foi avaliado experimentalmente, efectuando-se ensaios em faixas de lajes maciças sem reforço (controlo), reforçadas apenas com laminados de CFRP, e duplamente reforçadas com laminados de CFRP e camada de BRFA. Os resultados obtidos permitem concluir que esta estratégia de reforço é eficaz, tanto para o estado limite de serviço (ELS) quanto para o estado limite último (ELU).

**Palavras-chave:** Lajes, Reforço, Laminados inseridos, CFRP, Camada de BRFA, Betão.

### 1. INTRODUÇÃO

A técnica baseada na inserção de laminados de fibras de carbono (CFRP) em finos entalhes efectuados no betão de recobrimento, designada na literatura internacional por *Near Surface Mounted (NSM)*, tem sido objecto de estudo nos últimos anos, tendo-se revelado promissora no reforço à flexão e ao corte de estruturas de betão [1-3]. Contudo, em estudo anterior [4] verificou-se que o incremento do momento resistente da secção de uma estrutura laminar de betão armado, por aplicação de laminados de fibras de carbono (CFRP), pode ficar limitado pela extensão máxima de compressão que é possível aplicar ao betão da superfície superior dessa estrutura. A investigação numérica desenvolvida no âmbito desse trabalho permitiu constatar que, pela aplicação de uma camada de compressão de betão reforçado com fibras de aço (BRFA) era possível aumentar significativamente o momento resistente, resultando num

aumento significativo da eficiência do CFRP. A utilização de BRFA na construção da referida camada tem, quando comparado com o betão simples (BS), dupla vantagem: evita a ocorrência de fendilhação por retracção e variação de temperatura [5] dado que o BRFA tem resistência residual à tracção mais elevada [6], evita-se a queda brusca de resistência logo após a entrada na fase de amolecimento por compressão do betão.

No dimensionamento do reforço admite-se, geralmente, que a nova camada e a laje existente constituem uma estrutura monolítica, sem possibilidade de haver qualquer separação entre elas. Esta ligação é geralmente efectuada por intermédio de adesivos à base de resinas epóxi, pelo que reside na qualidade da ligação assegurada por estes materiais o maior ou menor erro cometido na referida hipótese de monolitismo entre a nova camada e o substrato do betão da estrutura existente. Em trabalhos anteriores [7] foram investigados os efeitos da resistência do betão da base e da camada de reforço em BRFA na resistência da ligação. Avaliou-se também o desempenho de três adesivos epóxi na resistência da ligação entre a camada de BRFA e o substrato de betão simples.

Um dos principais objectivos do presente trabalho foi avaliar os benefícios desta técnica híbrida de reforço para elementos laminares de betão submetidos à flexão. Os ensaios de flexão em quatro pontos, efectuados em faixas de laje, são descritos e os resultados mais relevantes são apresentados e analisados.

## **2. PROGRAMA EXPERIMENTAL**

### **2.1 Modelos e configuração de ensaio**

Na Figura 1(a) são apresentadas as condições de carregamento e de apoio dos modelos de faixas de laje. As secções transversais, o posicionamento das armaduras convencionais e dos laminados de CFRP são apresentadas na Figura 1(b). Duas faixas de laje foram ensaiadas sem qualquer tipo de reforço (SL1 e SL2) e formam o par de lajes de referência. Foram ensaiadas duas faixas de laje (SL3S e SL4S) reforçadas com laminados inseridos no betão de recobrimento segundo a técnica NSM, e quatro faixas de laje (SL5SO, SL6SO, SL7SO e SL8SO) reforçadas com laminados e camada de compressão em BRFA. Nas faixas de laje (SL3S, SL4S, SL5SO e SL6SO) foram efectuadas ranhuras para aplicação do laminado de CFRP com cerca de 4,0 mm de largura, e nas faixas de laje SL7SO e SL8SO foram abertas ranhuras com largura aproximada de 14,0 mm e 7,4 mm, respectivamente.

### **2.2 Instrumentação**

Na Figura 2 apresenta-se a instrumentação aplicada nos ensaios. Cinco LVDTs foram instalados para medir os deslocamentos verticais das faixas de laje ao longo do seu comprimento (ver Figura 2(a)). Cada ensaio foi controlado pelo transdutor colocado a meio vão da faixa de laje, tendo-se utilizado uma velocidade de deslocamento de 20  $\mu\text{m/s}$  até se registar um deslocamento central de 49 mm. Após este deslocamento o controlo passou a ser efectuado pelo transdutor interno do actuador à velocidade de 25  $\mu\text{m/s}$  até ao término do

ensaio. A força total aplicada foi medida com recurso a uma célula de carga com capacidade máxima de carga de 200 kN e 0,5% de precisão. Para registar as extensões na armadura longitudinal, nos laminados de CFRP e no betão da face superior da faixa de laje utilizaram-se extensómetros eléctricos dispostos segundo as configurações ilustradas nas Figura 2(c), 2(b), 2(d) e 2(e), respectivamente.

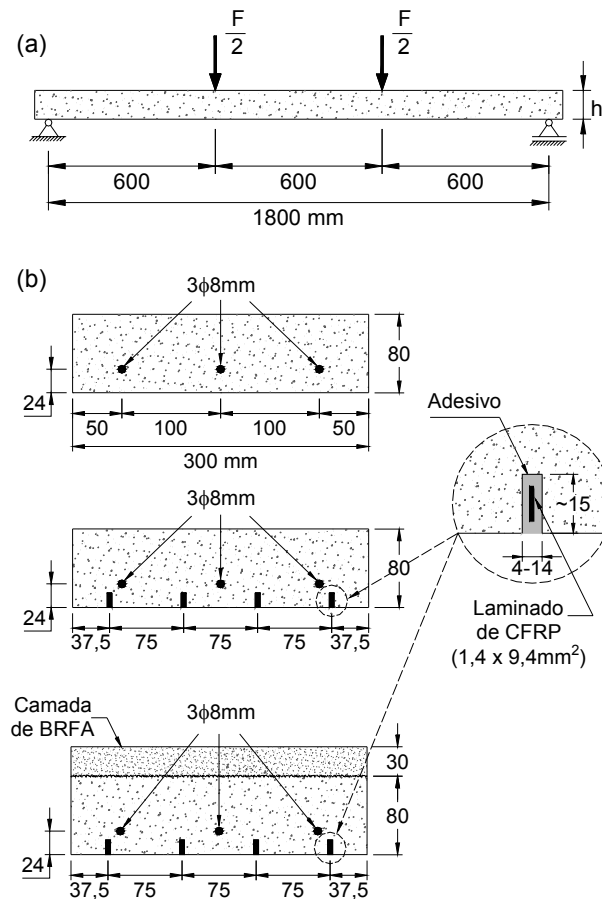


Figura 1: Geometria, carregamento e disposição das armaduras e dos laminados de CFRP (dimensões em mm)

### 2.3 Caracterização dos materiais

Nesta secção é apresentado um resumo dos resultados obtidos na caracterização dos materiais utilizados no programa de ensaios realizado. Mais detalhes podem ser encontrados noutra publicação [8]. Os valores obtidos para as principais propriedades dos materiais usados no presente trabalho encontram-se registados nos Quadros 1 e 2.

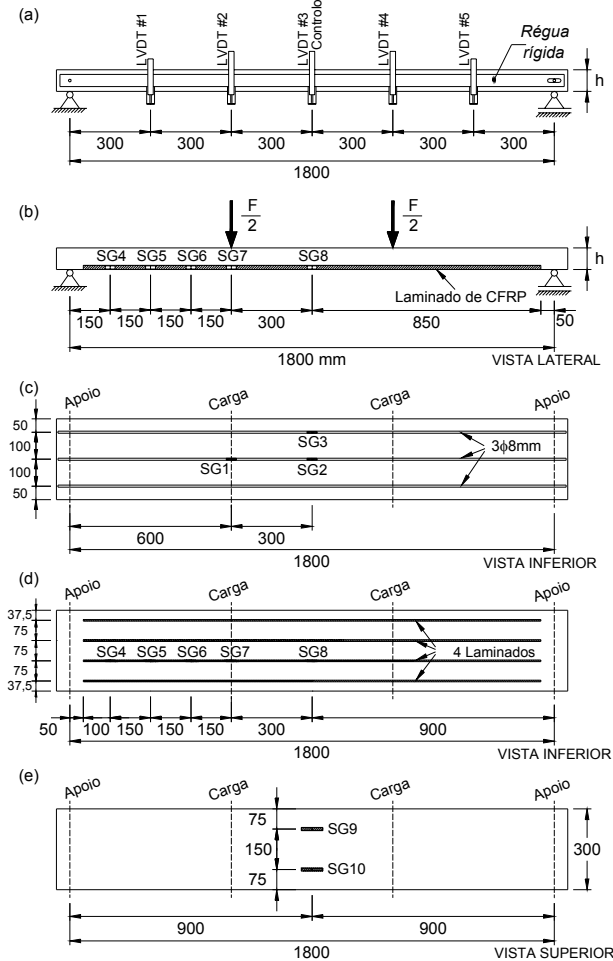


Figura 2: Posicionamento dos instrumentos de monitorização utilizados

Quadro 1: Características mecânicas da armadura, do laminado, do BRFA e dos adesivos

Armadura	Laminado de CFRP <sup>a</sup>	Adesivo do laminado	BRFA	Adesivo do BRFA
$\phi_s = 8 \text{ mm}$	$t_f = 1,41 \text{ mm}$		$f_{cm} = 43,23 \text{ MPa}$	
$E_s = 200,32 \text{ GPa}$	$w_f = 9,37 \text{ mm}$	$E_a = 7,47 \text{ GPa}$	$E_c = 30,08 \text{ GPa}$	$E_a = 3,62 \text{ GPa}$
$\sigma_{sy} = 465,75 \text{ MPa}$	$E_f = 156,10 \text{ GPa}$	$\sigma_{au} = 33,03 \text{ MPa}$	$f_{eqm,2} = 4,31 \text{ MPa}$	$\sigma_{au} = 26,56 \text{ MPa}$
$\varepsilon_{sy} = 2,50 \text{ ‰}$	$\sigma_{fu} = 2879,13 \text{ MPa}$	$\varepsilon_{au} = 4,83 \text{ ‰}$	$f_{eqm,3} = 3,47 \text{ MPa}$	$\varepsilon_{au} = 10,74 \text{ ‰}$
$\sigma_{su} = 557,12 \text{ MPa}$	$\varepsilon_{fu} = 18,45 \text{ ‰}$		$f_{Rm,1} = 4,45 \text{ MPa}$	
			$f_{Rm,4} = 2,24 \text{ MPa}$	

<sup>a</sup> Laminado de CFRP fornecido pela Empresa S&P®.

Quadro 2: Características mecânicas dos betões das faixas de laje

Mistura	Laje	Propriedade			
		$f_{cm}$ (MPa)	$f_{ctm,fl}$ (MPa)	$f_{ctm}^a$ (MPa)	$E_c$ (MPa)
B1	SL1				
	SL4S	25,97	2,91	1,39	27,69
	SL6SO	(2,16%)	(20,87%)	(20,64%)	(6,80%)
	SL7SO				
B2	SL2				
	SL3S	26,35	3,26	1,56	26,61
	SL5SO	(3,36%)	(26,19%)	(25,75%)	(6,13%)
	SL8SO				

Notação: <sup>a</sup> Valor obtido recorrendo-se à expressão proposta pelo CEB-FIP [13]; (*Coefficiente de variação*).

## 2.4 Apresentação e análise dos resultados

Nesta secção apresentam-se resultados representativos dos obtidos no programa experimental. Uma análise mais detalhada pode ser encontrada em [8].

### 2.4.1 Comportamento força vs deslocamento central

Na Figura 3 apresentam-se as curvas força versus deslocamento na secção a meio vão das faixas de laje ensaiadas. O Quadro 3 inclui, para cada um dos modelos de faixa de laje, os valores de força total (F) no início de fendilhação (formação da primeira fenda no betão) e no início de cedência da armadura, bem como os valores da máxima força total e de um factor que representa o aumento de capacidade de carga proporcionado pela sistema de reforço.

Quadro 3: Resumo dos resultados obtidos em termos de forças

Reforço	Laje	Carga de fendilhação <sup>a</sup> (kN)	Carga de cedência <sup>b</sup> (kN)	Carga máxima (kN)	Carga máxima média (kN)	Aumento da capacidade de carga (%)
Referência	SL1	2,57	10,56	14,34	14,73	NA
	SL2	3,50	12,10	15,12	(3,74%)	
Reforço com laminado de CFRP	SL3S	3,78	17,93	35,60	36,64	148,71
	SL4S	3,77	19,15	37,67	(4,00%)	
Reforço com laminado de CFRP + camada de BRFA	SL5SO	7,61	31,55	65,13		350,58 <sup>c</sup>
	SL6SO	6,98	30,08	65,46	66,37	
	SL7SO	6,79	30,57	66,85	(2,02%)	81,17 <sup>d</sup>
	SL8SO	6,96	30,64	68,04		

NOTA: (*Coefficiente de variação*) = desvio padrão/média x 100; <sup>a</sup> Início da fendilhação (primeira fenda no betão); <sup>b</sup> Início de cedência das armaduras longitudinais; <sup>c</sup> Em relação às faixas de laje de referência; <sup>d</sup> Comparativamente com as faixas de laje reforçadas com laminado de CFRP; NA: não aplicável.

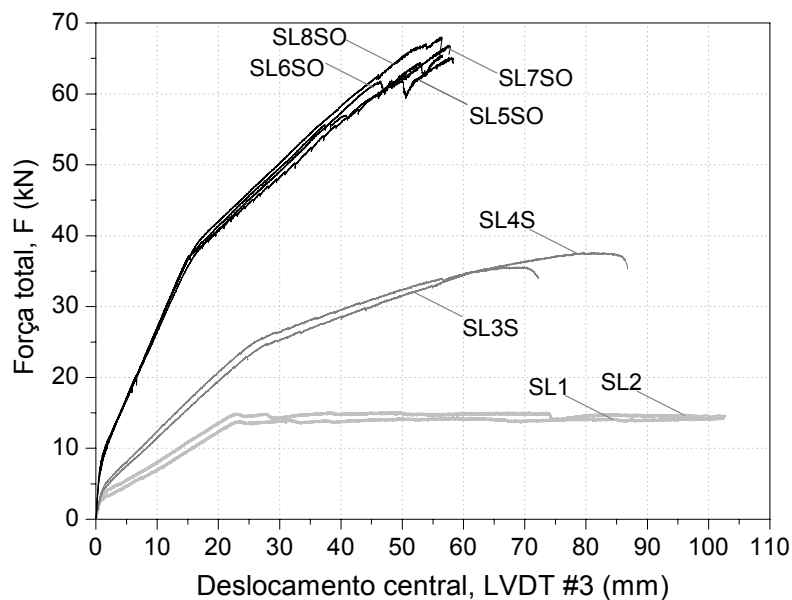


Figura 3: Curvas força total vs deslocamento central

#### 2.4.2 Cálculo da capacidade resistente

No Quadro 4 apresentam-se os resultados dos cálculos das capacidades resistentes das secções, força total última e deslocamento central último registados nas faixas de laje ensaiadas. Para obtenção da capacidade resistente à flexão recorreu-se aos diagramas de distribuição de tensões e de extensões ilustrados na Figura 4, assumindo-se as propriedades dos materiais intervenientes contidas no Quadro 1 e no Quadro 2. Na Figura 4 está representada a distribuição de extensões e de tensões na secção para uma configuração de equilíbrio da secção reforçada com NSM em estado limite último. Admitindo-se para modo de ruína o correspondente à rotura do laminado de CFRP, a resistência à flexão da secção, foi determinada por intermédio da aplicação das equações de compatibilidade de deformações e do equilíbrio das forças internas na secção, recorrendo às seguintes relações:

$$M = A_s \cdot f_s \cdot \left( d_s - \frac{\beta_1}{2} \cdot x \right) + A_f \cdot \varepsilon_f \cdot E_f \cdot \left( d_f - \frac{\beta_1}{2} \cdot x \right) \quad (1)$$

$$x = \frac{A_s \cdot f_s + A_f \cdot \varepsilon_f \cdot E_f}{\beta_1 \cdot \alpha \cdot f_{cm} \cdot b} \quad (2)$$

onde  $A_s$ ,  $f_s$ ,  $d_s$  são a área, a tensão e a altura útil da armadura longitudinal de aço, respectivamente;  $A_f$ ,  $\varepsilon_f$ ,  $E_f$ ,  $d_f$  são a área, a extensão, módulo de elasticidade e a altura útil do laminado de CFRP, respectivamente;  $x$  é a profundidade do eixo neutro;  $\beta_1$  e  $\alpha$  são os parâmetros que definem o diagrama rectangular de tensões de compressão no betão que, segundo a secção 10.2.7.3 do ACI [9],  $\beta_1 = 0,72$  e  $\alpha = 0,85$ ;  $f_{cm}$  é o valor médio da resistência à compressão (em cilindros) do betão;  $b$  é a largura da secção transversal.

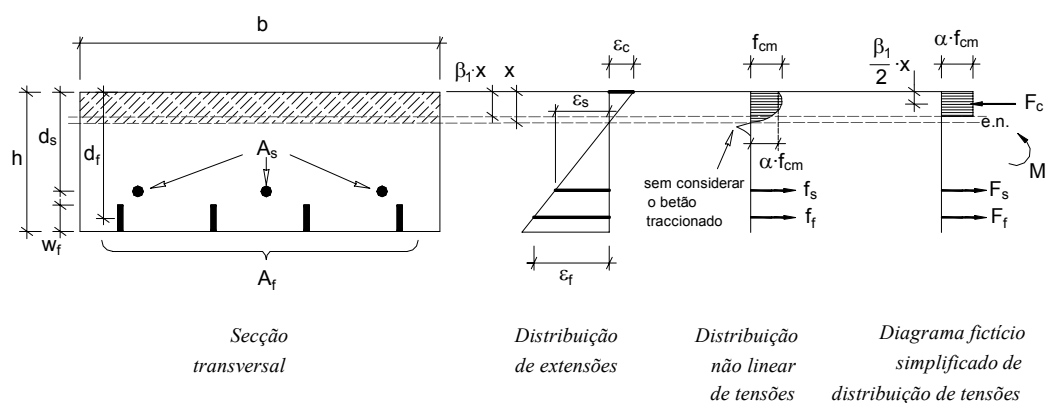


Figura 4: Diagramas das extensões, de tensões e de forças na secção reforçada com camada de BRFA e com laminados de CFRP aplicados segundo a técnica NSM

Da análise dos resultados apresentados no Quadro 4 verifica-se que os valores da capacidade resistente obtidos com o modelo analítico se apresentam bastante aproximados dos valores obtidos experimentalmente, o que comprova a utilidade desse modelo simples para o cálculo do reforço à flexão de elementos laminares de betão armado.

Quadro 4: Valores teóricos e experimentais de capacidade resistente última e deslocamento central máximo experimental

Reforço	Laje	Capacidade resistente teórica (kN)	Capacidade resistente experimental (kN)	Relação experimental/teórica	Deslocamento central máximo <sup>a</sup> (mm)
Referência	SL1	13,84	14,34	1,04	102,52
	SL2	14,01	15,12	1,08	102,74
Reforço com laminado de CFRP	SL3S	37,58	35,60	0,95	73,20
	SL4S	37,58	37,67	1,00	95,32
Reforço com laminado de CFRP + camada de BRFA	SL5SO	66,90	65,13	0,97	56,54
	SL6SO	66,54	65,46	0,98	64,11
	SL7SO	66,36	66,85	1,01	57,84
	SL8SO	68,26	68,04	1,00	56,47

NOTA: <sup>a</sup> Deslocamento registado na carga última nas faixas de laje reforçadas.

### 2.4.3 Extensões e modos de rotura registados

No Quadro 5 apresentam-se os principais valores de extensão registados no betão, na face comprimida da laje, na armadura longitudinal e nos laminados de CFRP na secção central das faixas de laje. Os modos de rotura observados também se encontram indicados no Quadro 5.

Quadro 5: Resumo das extensões máximas registadas nos extensómetros colados nas posições indicadas na Figura 2

Reforço	Laje	Extensão de compressão no betão <sup>a</sup> (‰)	Extensão de tracção na armadura <sup>b</sup> (‰)	Extensão de tracção no laminado <sup>c</sup> (‰)	Modo de rotura
Referência	SL1	3,56 [14,05]	8,35 [14,00]	NA	Flexão
	SL2	3,10 [14,56]	19,86 [14,89]	NA	Flexão
Reforço com laminado de CFRP	SL3S	4,70 [35,49]	NR	11,06 [35,58]	Flexão <sup>e</sup>
	SL4S	5,12 [34,39]	20,82 [25,07]	12,52 [36,91]	Flexão
Reforço com laminado de CFRP + camada de BRFA	SL5SO	3,35 [65,13] <sup>d</sup>	20,91 [39,20]	13,41 [65,13] <sup>d</sup>	Flexão-corte <sup>f</sup>
	SL6SO	3,35 [65,24]	7,48 [44,84]	12,20 [65,46] <sup>d</sup>	Flexão-corte
	SL7SO	2,78 [60,61]	21,48 [41,87]	13,12 [66,85] <sup>d</sup>	Flexão-corte
	SL8SO	3,45 [67,62]	12,12 [45,64]	13,42 [68,04] <sup>d</sup>	Flexão-corte

NOTA: [Força total correspondente]; <sup>a</sup> Valor máximo registado nos SG9 e SG10; <sup>b</sup> Valor máximo registado nos SG1, SG2 e SG3; <sup>c</sup> Valor máximo registado nos SG7 e SG8; <sup>d</sup> O valor de força entre parêntesis rectos corresponde à força total máxima registada; <sup>e</sup> Faixa de laje com severo esmagamento do betão, seguido do desenvolvimento de fendas de corte; <sup>f</sup> O modo de rotura flexão-corte caracterizou-se numa fase inicial pela cedência das armaduras longitudinais, após a qual, se seguiu o desenvolvimento de fendas de corte que conduziram à rotura por corte; NA: não aplicável; NR: não registado.

### 2.4.4 Tensão de corte entre laminado e betão

Na Figura 5 apresentam-se as relações entre a tensão de corte ( $\tau_{bm}^{RL}$ ) e a força total aplicada, obtidas em duas lajes reforçadas segundo a técnica NSM. A tensão de corte obteve-se dividindo a força aplicada no laminado (determinada por intermédio da variação de extensão registada entre extensómetros consecutivos), pela área de aderência do laminado (2×altura do laminado×distância entre extensómetros consecutivos). Segundo este critério admite-se que a tensão de corte no trecho de laminado entre extensómetros é constante. Mais detalhes podem ser encontrados noutra publicação [8]. Relativamente às tensões máximas de corte registadas nos ensaios de arrancamento em flexão (*pullout-bending tests*) com laminados de CFRP [10,11], verificou-se o desenvolvimento de uma tensão tangencial significativamente inferior entre as interfaces laminado de CFRP - adesivo epóxi - betão adjacente, ao longo dos laminados nas faixas de laje em que a técnica NSM foi aplicada.



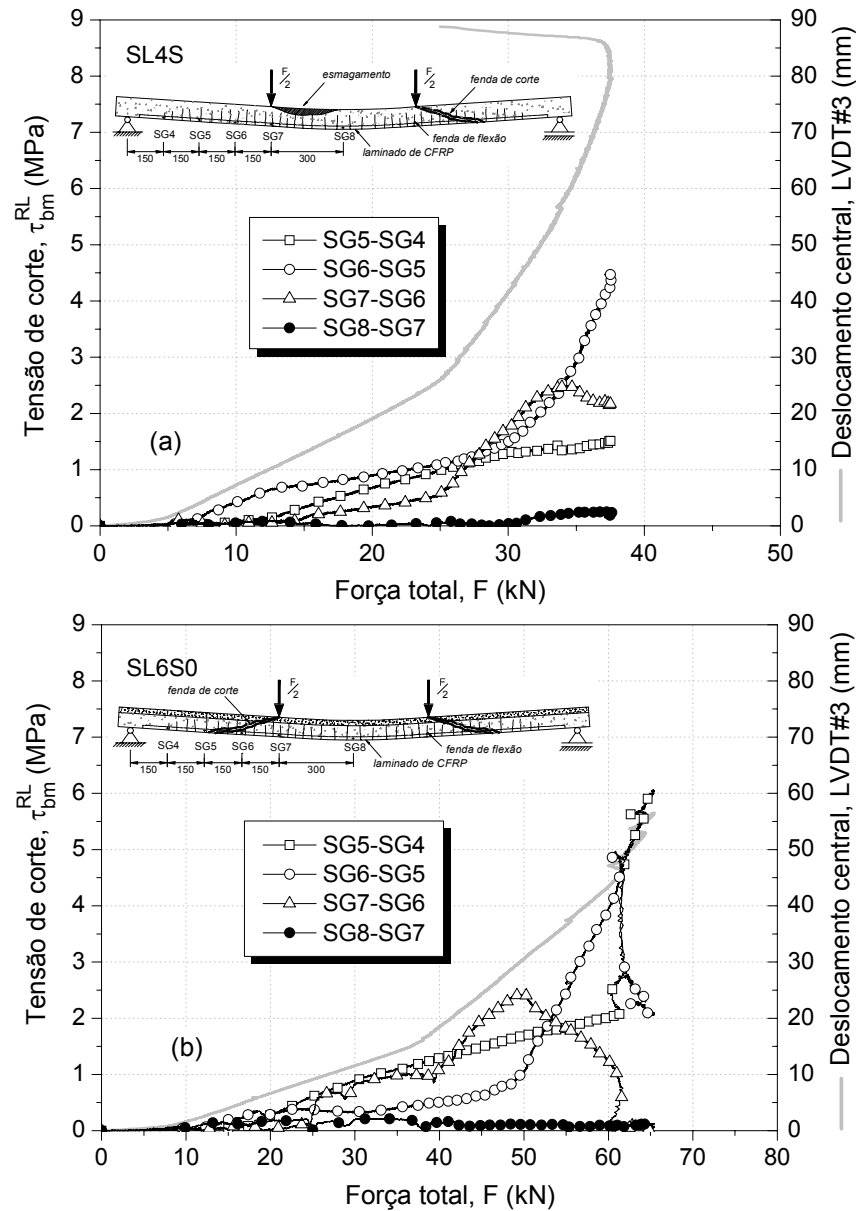


Figura 5: Relação tensão de corte vs força total: (a) laje SL4S e (b) laje SL6S0

#### 2.4.5 Afastamento médio entre fendas

Na Figura 6 apresenta-se o padrão de fendilhação final registado nos modelos ensaiados. No Quadro 6 apresentam-se os valores de espaçamento médio entre fendas tomados no final do ensaio e os valores de afastamento médio entre fendas calculado conforme as recomendações

do FIB [12]. O afastamento médio final entre fendas das faixas de laje ensaiadas foi determinado conforme indicado na Figura 7. Já os valores determinados analiticamente, segundo as indicações do FIB, foram obtidos por intermédio das seguintes equações:

$$s_{rm} = \frac{2 \cdot f_{ctm} \cdot A_{c,eff}}{\tau_{sm} \cdot u_s} \cdot \frac{E_s \cdot A_s}{E_s \cdot A_s + \xi_b \cdot E_f \cdot A_f} \quad (3)$$

e

$$\xi_b = \frac{\tau_{fm} \cdot E_s \cdot \phi_s \cdot u_f}{\tau_{sm} \cdot E_f \cdot 4 \cdot A_f} \quad (4)$$

onde  $A_{c,eff}$  é a área efectiva de betão traccionado que envolve a armadura (e o reforço quando for o caso);  $u_s$ ,  $\phi_s$ ,  $E_s$  é o perímetro de aderência, o diâmetro e o módulo de elasticidade da armadura longitudinal de aço, respectivamente;  $\tau_{sm} = 1.8 \cdot f_{ctm}$  é a tensão média de corte da armadura longitudinal, conforme o CEB-FIP [13];  $\tau_{fm}$  é a tensão média de corte entre o reforço de CFRP e o betão adjacente que, para a técnica EBR é calculada segundo  $\tau_{fm} = 1.25 \cdot f_{ctm}$  [12], enquanto que para a técnica NSM se admitiu poder ser calculada por meio de  $\tau_{fm} = 1.85 \cdot f_{ctm}$ . O coeficiente 1,85 desta última relação foi obtido via análise inversa, utilizando para tal a tensão de corte entre os extensómetros SG7 e SG6 aquando da formação da fenda intermediária de corte no vão de corte;  $u_f$  é o perímetro de aderência do reforço de CFRP para o caso da técnica de EBR. No presente contexto da técnica de NSM, considera-se  $u_f$  como sendo o perímetro de rotura do reforço, admitindo-se ser formado por planos paralelos às faces da secção do laminado, distanciados destes em 1 mm, pelo que [14]:  $u_f = n_f \cdot [(t_f + 2) + 2 \cdot (w_f + 1)]$ , em que  $n_f$  é o número total de laminados na secção;  $w_f$ ,  $t_f$ , é a largura e a espessura do laminado, respectivamente.

Quadro 6: Valores experimentais e analíticos de afastamento médio entre fendas

Reforço	Laje	Afastamento médio final entre fendas, $s_{rm}$ (mm)		
		Experimental <sup>a</sup>		FIB [12]
Referência	SL1	80	(81)	93
	SL2	82		
Reforço com laminado de CFRP	SL3S	45	(45)	42
	SL4S	45		
Reforço com laminado de CFRP + camada de BRFA	SL5SO	53	(52)	52
	SL6SO	51		
	SL7SO	53		
	SL8SO	50		

NOTA: <sup>a</sup> Valor médio das medidas tomadas na lateral das lajes junto a superfície inferior (conforme pormenor da Figura 7); (*Valor médio*).

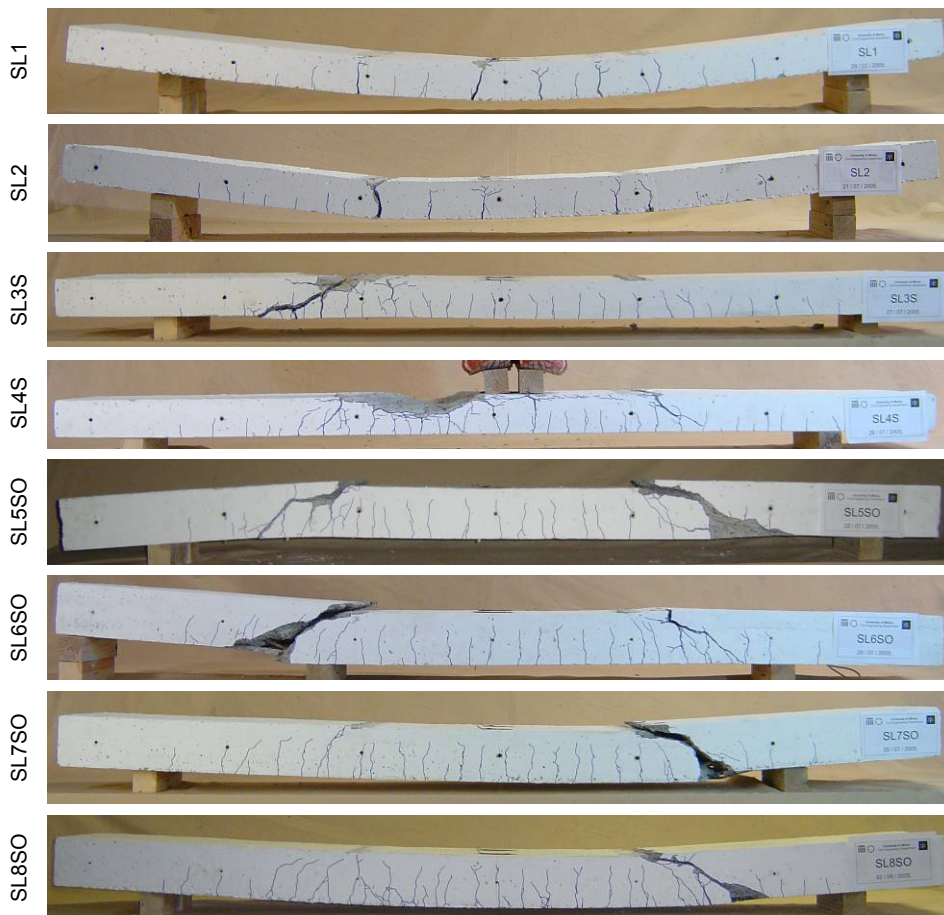


Figura 6: Vista lateral das faixas de laje após o ensaio

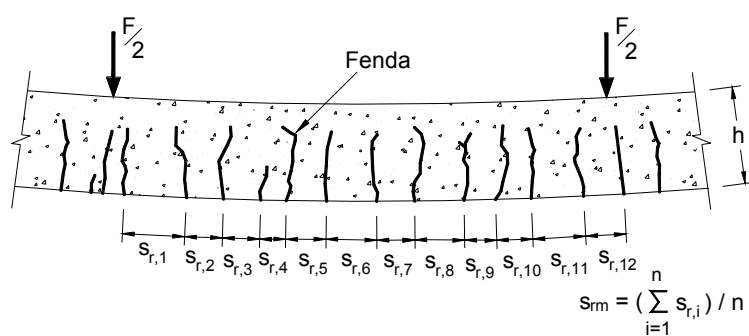


Figura 7: Esquema ilustrativo do procedimento adoptado para medir o afastamento médio entre fendas após a execução do ensaio

Da análise dos valores da distância média entre fendas verifica-se os laminados contribuíram para diminuir o afastamento médio final entre fendas das faixas de laje ensaiadas. As lajes apenas reforçadas com laminados apresentaram afastamento médio entre fendas 45% inferior ao registado nas lajes referência, enquanto nas lajes com reforço híbrido essa redução foi de 36%. Comparando os resultados analíticos com os valores experimentais de afastamento médio entre fendas conclui-se que, introduzindo pequenas alterações na formulação analítica proposta pelo FIB, se consegue uma boa aproximação aos resultados laboratoriais.

### 3. CONCLUSÕES

Da análise dos resultados obtidos do programa experimental realizado conclui-se que:

- A técnica de reforço híbrida, constituída por laminados de fibras de carbono (CFRP) inseridos no betão de recobrimento e por camada de compressão em betão reforçado com fibras de aço (BRFA), tem grandes potencialidades de aplicação no reforço à flexão de lajes existentes em betão, não apenas por aumentar a sua capacidade de carga última, mas também pelo significativo aumento de sua rigidez;
- Para uma taxa de reforço de CFRP da ordem de 0,25% ( $A_f/A_s \approx 40\%$ ) em faixas de laje de referência com 1,80 m e com uma taxa de armadura de 0,63%, verificou-se um aumento de 55% na carga de serviço. As faixas de laje reforçadas segundo a técnica de NSM e com camada de compressão em BRFA apresentaram um aumento de aproximadamente 244% na carga de serviço em relação às lajes de referência (sem reforço). Comparativamente com a técnica de reforço NSM, a estratégia de reforço híbrido conduziu a um aumento de 122% na carga correspondente à flecha para estados limites de utilização por deformação;
- Tendo por base a capacidade de carga das faixas de laje de referência, o sistema de reforço híbrido permitiu um aumento da ordem dos 350% na capacidade resistente. Comparativamente com as faixas de laje apenas reforçadas com a técnica NSM, constata-se que o sistema híbrido proporcionou um aumento de aproximadamente 80% na capacidade de carga. Tomando por base a capacidade resistente das faixas de laje de referência, a técnica de NSM permitiu aumentos de capacidade de carga em cerca de 150%. Além disto, foi obtido um aumento significativo de rigidez, quer para cargas de serviço, quer para cargas de rotura, tendo-se assegurado um elevado nível de ductilidade;
- Os valores de afastamento médio final entre fendas medidos nas lajes após o ensaio indicam que há melhor distribuição da fendilhação, dado que se desenvolveu um maior número de fendas, mas de menor abertura, nas faixas de laje reforçadas com a técnica de NSM;
- Com base na análise das curvas força total vs deslocamento vertical e também das curvas de tensões de corte na ligação laminado-betão vs força total, a largura da ranhura, para aplicação do laminado de CFRP, não tem influência preponderante no comportamento estrutural das faixas de laje reforçadas com a técnica de NSM.

### 4. AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece o apoio financeiro concedido pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), ao abrigo da Bolsa de Doutoramento *SFRH/BD/11232/2002*. Às empresas

S&P® Reinforcement, Companhia Geral de Cal e Cimento S.A. (SECIL), Sika S.A., Central do Pego, Pedreiras Bezerras, Bekaert NV, Bettor MBT Portugal Produtos Químicos para Construção S.A. os autores agradecem os materiais gentilmente oferecidos. Agradece-se a colaboração da Civitest Lda na construção dos modelos, bem como o apoio prestado pelos técnicos do Laboratório de Estruturas da Universidade do Minho.

## 5. REFERÊNCIAS

- [1] Barros, J.A.O.; Fortes, A.S. – “Flexural strengthening of concrete beams with CFRP laminates bonded into slits”, *Journal Cement and Concrete Composites*, 2005, Vol. 27, No. 4, p. 471-480.
- [2] Barros, J.A.O.; Ferreira, D.R.S.M.; Fortes, A.S.; Dias, S.J.E. – “Assessing the effectiveness of embedding CFRP laminates in the near surface for structural strengthening”, *Construction and Building Materials Journal*, 2006, Vol. 20, p. 478-491.
- [3] Barros, J.A.O.; Dias, S.J.E. – “Near surface mounted CFRP laminates for shear strengthening of concrete beams”, *Journal Cement and Concrete Composites*, 2006, Vol. 28, No. 3, p. 276-292, March.
- [4] Barros, J.A.O.; Sena-Cruz, J.M. – “Strengthening a prestressed concrete slab by epoxy-bonded FRP composites and SFRC overlay” em *7th International Conference on Inspection Appraisal Repairs & Maintenance of Buildings & Structures*, 2001, Nottingham Trent University, UK, 11-13 September.
- [5] Chausson, H.; Granju, J.-L. – “Rechargements minces adhérents en béton renforcé de fibres métalliques - Metal fiber reinforced concrete thin bonded overlays” em *Revue Française de Génie Civil*, 1997, No.02, p. 309-326.
- [6] Barros, J.A.O.; Cunha, V.M.C.F.; Ribeiro, A.F.; Antunes, J.A.B. – “Post-cracking behaviour of steel fibre reinforced Concrete”, *Materials and Structures*, 2004, Vol. 38, No. 275, p. 47-56, January.
- [7] Bonaldo, E.; Barros, J.A.O.; Lourenço, P.J.B. – “Bond characterization between concrete substrate and repairing SFRC using pull-off testing”, *International Journal of Adhesives and Adhesion*, Vol. 25, No. 6, p. 463-474.
- [8] Bonaldo, E.; Barros, J.A.O.; Lourenço, P.J.B. – “Efficient strengthening technique to increase the flexural resistance of existing RC slabs: NSM CFRP laminates and compressive thin bonded SFRC overlay”, *Relatório Técnico No. 09-DEC/E-06*, 2006, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, <<http://www.civil.uminho.pt/composites>>.
- [9] American Concrete Institute (ACI) – *Building code requirements for structural concrete and commentary*, ACI 318-04, 2004, Detroit.
- [10] Sena-Cruz, J.M.; Barros, J.A.O. – “Modeling of bond between near-surface mounted CFRP laminate strips and concrete”, *Computer & Structures*, ELSEVIER, Special issue: Computational Mechanics in Portugal, Eds. C. Mota Soares e J. Barbosa, 2004, Vol. 82, No. 17-19, p. 1513-1521.
- [11] Sena-Cruz, J.M.; Barros, J.A.O. – “Bond between near-surface mounted CFRP laminate strips and concrete in structural strengthening”, *Journal of Composites for Construction*, 2004, Vol. 8, No. 6, p. 519-527.

- [12] Fédération Internationale du Béton (FIB) – *Externally bonded FRP reinforcement for RC structures*, Bulletin 14, 2001, Lausanne, Switzerland.
- [13] CEB-FIP Model Code – *Design code*. Comité Euro-International du Béton, Bulletin d'Information No. 213/214, 1993, Lausanne, Switzerland.
- [14] Centre for Infrastructure Diagnosis, Assessment and Rehabilitation (CIDAR) – *Design Guideline for RC structures retrofitted with FRP and metal plates: beams and slabs*, DRAFT 3, Submitted to Standards Australia 02/02/06, 2006, The University of Adelaide (<<http://www.civeng.adelaide.edu.au/index.html>>), pp. 109, February.