

Nova geração de armaduras em fibra de carbono para reforço à flexão de estruturas de betão armado em balanço

Joaquim A. O. Barros¹, Filipe N.F.M Dourado² Inês G. Costa³

¹ Professor Catedrático, ISISE, Dep. Eng^a Civil, Universidade do Minho, barros@civil.uminho.pt

² Eng^o Civil (Branch manager), S&P Clever Reinforcement Iberica, FDourado@sp-reinforcement.pt

³ PhD em Eng^a Civil, CiviTest, inescosta@civitest.com

Resumo:

No presente trabalho apresenta-se um programa experimental para avaliar a eficiência de uma nova geração de armaduras de polímero reforçado com fibras de carbono (CFRP) para o reforço à flexão de estruturas de betão armado (BA) em balanço, no caso presente protótipos de varanda. A eficácia da técnica de reforço é discutida.

Introdução:

No âmbito do projeto de investigação CutInov que decorreu entre janeiro de 2014 e junho de 2015, envolvendo o grupo de investigação “Structural Composites” da Universidade do Minho e a S&P-Clever Reinforcement Ibérica, da qual resultou uma patente [1], foi desenvolvida uma nova geração de armaduras de matriz polimérica reforçada com de fibras de carbono (CFRP) capazes de lhe ser alterado o seu desenvolvimento retilíneo inicial por aquecimento e repolimerização. Estas armaduras permitem reforçar, em simultâneo, à flexão e corte vigas de BA [2] e à flexão e punçoamento lajes de BA [3]. Este tipo de armadura poder ter a configuração de clip ou de bengala, com uma parte aplicada segundo a técnica NSM (Near Surface Mounted) e a(s) extremidade(s) segundo a técnica ETS (Embedded Through Section) [4].

Sob ação de temperaturas elevadas, como é o caso da ocorrência de fogo, este tipo de armadura garante alguma capacidade de reforço, pois estando as suas extremidades embebidas no interior da secção garante-lhe um funcionamento tipo tendão.

Este artigo resume o programa experimental realizado na CiviTest para avaliar a eficiência da versão tipo bengala deste tipo de armadura no reforço à flexão de protótipos de varanda de BA.

Programa experimental:

As faixas de laje têm uma largura de 300 mm e são compostas por uma porção central que reproduz a laje de piso do edifício (espessura = 200 mm) e uma porção de varanda, em consola, com 1 metro de comprimento (espessura = 120 mm). Foram preparados protótipos utilizando 2 tipos de betão: um betão de resistência média, do tipo C25/30 ($f_{cm,cubo} = 36.7$ MPa) e um betão mais resistente, do tipo C35/45 ($f_{cm,cubo} = 50.2$ MPa). Todas as armaduras instaladas são do tipo A500. A armadura principal de flexão é composta por 2 ϕ 8 mm ($\rho_s = 0.37\%$). No entanto, foram também produzidas algumas faixas de laje em betão C35/45 com 2 ϕ 10 mm ($\rho_s = 0.58\%$). O programa experimental teve como objetivo principal a avaliação da eficácia da aplicação em cada faixa de laje de 2 barras de CFRP com secção circular de 6 mm de diâmetro com 2 ângulos de dobragem: 15° e 30° ($\rho_{f,eq} = 0.17\%$). A porção mais longa deste varão foi instalada como reforço NSM enquanto a porção mais curta (cerca de 200 mm), foi embebida segundo a técnica ETS. Em cada ensaio foi aplicada uma carga de cutelo na extremidade da faixa de laje, tendo-se monitorizado a força e a flecha nesse ponto.

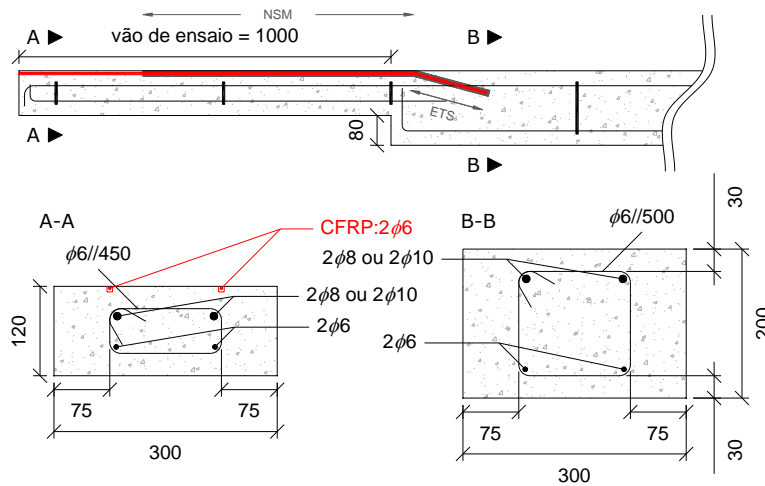
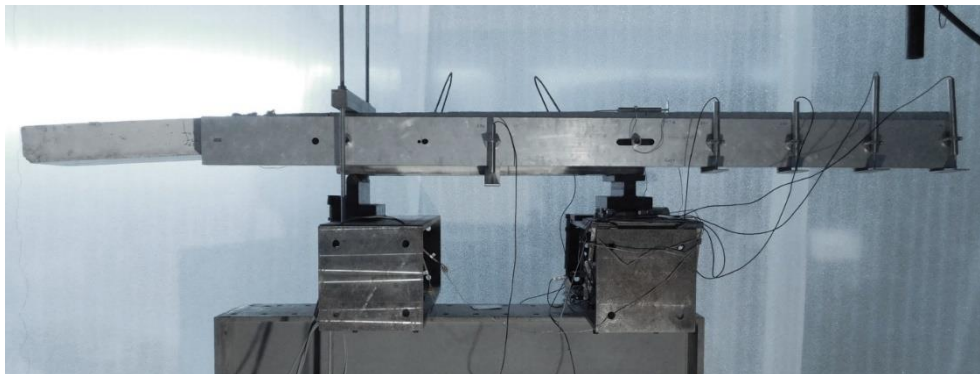
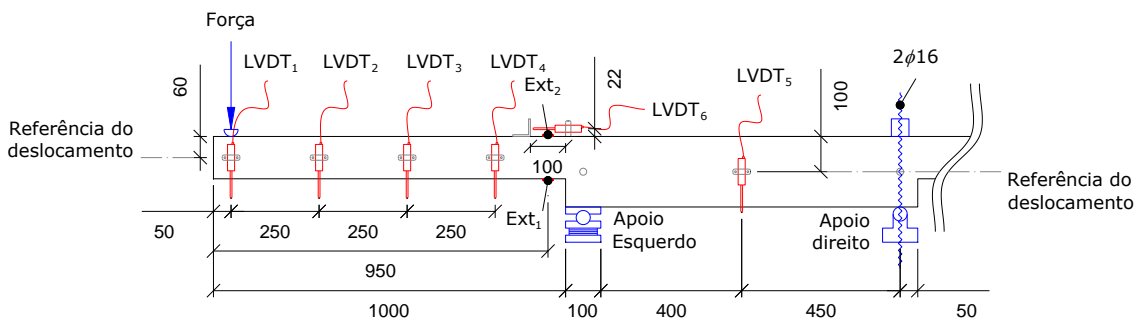
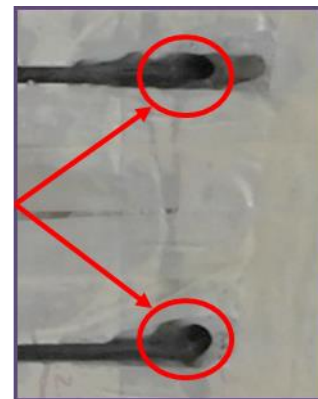


Figura 1 – Geometria das faixas de laje (dimensões em milímetros)



a)



b)

Figura 2 – a) Esquema de ensaio, b) Rasgos e furos para aplicação da nova geração de reforços em CFRP

Na Tabela 1 apresenta-se um sumário dos resultados principais obtidos nos ensaios em termos de capacidade de carga máxima e de capacidade de carga para o nível de deformação correspondente a estados limites de serviço (ELS).

Tabela 1 – Comparação entre lajes reforçadas e lajes de referência.

Tipologia de laje	Lajes de referência		Tipologia de reforço	Lajes reforçadas		ΔP_{max}	Média	$\Delta P_{l/250}$	Média
	P_{max}	$P_{l/250}$		P_{max}	$P_{l/250}$				
	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]				
C25/30 $\rho_s = 0.37\%$	5.223	2.070	15°	10.710	4.068	105.1	83	96.5	89
			30°	8.378	3.745	60.4		80.9	
C35/45 $\rho_s = 0.37\%$	5.390	2.580	15°	10.453	4.418	93.9	93	71.2	68
			30°	10.323	4.273	91.5		65.6	
C35/45 $\rho_s = 0.58\%$	7.518	2.680	15°	14.800	5.445	96.9	72	103.2	96
			30°	11.085	5.043	47.5		88.2	

P_{max} é a força máxima aplicada na consola e $P_{l/250}$ é a carga registada para a flecha correspondente a ELS, ΔP_{max} é o aumento de carga máxima e $\Delta P_{l/250}$ o aumento de carga máxima para ELS, ambos calculados em relação aos correspondentes resultados de referência.

Nota: todos os valores de P_{max} e $P_{l/250}$ apresentados correspondem ao valor médio obtido em 2 protótipos idênticos.

Conclusões:

Nos protótipos de laje com balanço simulando uma varanda, realizados em betão C25/30 reforçados com varões de CFRP dobrados a 15° e 30°, obteve-se um aumento médio da capacidade de carga máxima, de cerca de 83%. Já nos protótipos em betão C35/45, obtiveram-se aumentos de capacidade de carga máxima de 93% e 72% para as tipologias $\rho_s = 0.37\%$ e $\rho_s = 0.58\%$, respetivamente. Relativamente ao aumento de capacidade de carga para estados limites de serviço, os incrementos médios de força aplicada variaram entre os 68% e 96%.

Agradecimentos:

Os dois primeiros autores agradecem o apoio garantido pelo projeto CutInov, nº 38780, QREN, através do Programa Operacional COMPETE.

Referências:

[1] Barros, J.A.O.; Dourado, F., “Laminado de fibra de carbono e respetiva técnica de reforço de estruturas de betão/Carbon fiber laminate and its corresponding technique for the strengthening of concrete structures”, Patente nacional nº 108611, 2015; pedido de patente internacional PCT/IB2016/053897, data do depósito internacional 29/06/2016, data de publicação

05/01/2017 sob o nº WO/2017/002043; pedido de patente europeu nº 3318690, data de depósito 02/01/2018.

[2] Rezazadeh, M.; Baghi, H.; Barros, J.A.O.; Laranjeira, J., “Exploring the potentialities of a new type of CFRP laminate for the simultaneous flexural and shear strengthening of RC beams: numerical research”, The 12th International Symposium on Fiber Reinforced Polymers for Reinforced Concrete Structures (FRPRCS-12) & The 5th Asia-Pacific Conference on Fiber Reinforced Polymers in Structures (APFIS-2015), Joint Conference, Nanjing, China, 2015.

[3] Barros, J.A.O.; Rezazadeh, M.; Laranjeira, J.P.S.; Hosseini, M.R.M.; Mastali, M.; Ramezansfat, H., “Simultaneous Flexural and Punching Strengthening of RC Slabs according to a New Hybrid Technique Using U-Shape CFRP Laminates”, Composite Structures Journal, 159, 600-614, January 2017.

[4] Matthys, S.; Triantafillou, T.; Balázs, G.; Barros, J.A.O.; Bilotta, A.; Bournas D.; Ceroni, F.; Czaderski, C.; D’Antino, T.; Kolyvas C.; Niedermeier, R.; Nigro, E.; Oller, E.; Pantazopoulou, S.; Pecce, M.; Prota, A.; Sena-Cruz, J.; Tastani, S.; Thermou, G.; Zilch, K., “Externally applied FRP reinforcement for concrete structures”, *fib* 90 Bulletin, Technical Report, Task Group 5.1, ISBN 978-2-88394-131-1, May 2019.