



## NOVO SISTEMA DE REFORÇO À FLEXÃO DE VIGAS DE BETÃO ARMADO COM ARMADURAS DE AÇO INOXIDÁVEL APLICADAS PELO EXTERIOR

Noel Franco<sup>1</sup>, Carlos Chastre<sup>2</sup>, Hugo Biscaia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>DEC, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, noel.franco@gmail.com,

<sup>2</sup>ICIST, CERIS, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, chastre@fct.unl.pt,

<sup>3</sup>FSE, UNIDEMI, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, hb@fct.unl.pt

### RESUMO

O reforço à flexão de vigas de betão armado tem apresentado uma evolução com tendência para soluções onde são utilizadas armaduras à base de materiais compósitos de fibras de Carbono, Vidro, Basalto ou Aramida, aplicadas com as técnicas Externally Bonded Reinforcement (EBR) ou Near Surface Mounted (NSM). No entanto, o comportamento elástico-linear destes materiais e as roturas tendencialmente frágeis das soluções condicionam a sua utilização em estruturas onde se pretende alguma ductilidade. Por conseguinte, procurou-se desenvolver um sistema de reforço estrutural alternativo e inovador em que os materiais de reforço aplicados, conjuntamente com a solução de reforço, conseguissem minimizar ou eliminar os riscos de roturas prematuras e ao mesmo tempo aumentassem a ductilidade dos elementos reforçados. Neste trabalho, apresenta-se em pormenor este novo sistema inovador de reforço à flexão de vigas de betão armado com armaduras de aço inoxidável ancoradas internamente por aderência. Neste sistema de reforço as armaduras são contínuas e pós-instaladas pelo exterior, ficando as extremidades ancoradas, por aderência, no interior do elemento estrutural.

Apresentam-se e discutem-se os resultados dos ensaios realizados para avaliar o desempenho das vigas de betão armado reforçadas com esta nova técnica. Os modos de rotura observados são também motivo de análise. Evidenciam-se alguns benefícios na utilização deste sistema de reforço, nomeadamente ao nível da capacidade resistente última das vigas de betão armado e fazem-se algumas recomendações para a sua aplicação e utilização na reabilitação de elementos estruturais degradados.

Palavras-chave: Reforço de Estruturas/ Betão Armado / Aço Inoxidável / Amarração por Aderência



## IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

### CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido permitiu obter as seguintes conclusões principais:

As técnicas NSM e EBR, nas condições em que foram executadas, tendem a apresentar roturas prematuras e, por isso, não permitem tirar o total desempenho dos materiais utilizados. Em ambos os casos as roturas foram frágeis e, apenas no caso do modelo  $V_{NSM}$ , foi possível antever a rotura devido ao aparecimento de fendas de corte bastante pronunciadas nas zonas junto às extremidades do reforço (Franco, Chastre *et al.* 2016);

A técnica de reforço CREatE nos dois modos de aplicação experimentados, com armaduras coladas pelo exterior e com armaduras inseridas no recobrimento, apresentou globalmente um desempenho bastante superior ao das técnicas EBR e NSM pois, ao contrário destas, apresentou roturas clássicas, aumentou a rigidez elástica de flexão, permitiu aumentar a capacidade de carga e demonstrou elevada ductilidade pós-cedência; Face à viga não reforçada ( $V_{ref}$ ), a técnica CREatE com armaduras coladas pelo exterior permitiu aumentar os valores da carga na cedência e na rotura em cerca de 34% e 50%, respectivamente. Também permitiu um aumento significativo da ductilidade em deslocamento, para valores superiores a 200%.

A técnica CREatE com armaduras inseridas no recobrimento destacou-se das outras por apresentar aumentos da carga de cedência e rotura superiores a 53% e 105%, respetivamente, face à viga de referência. Quando comparada com a técnica CREatE com armaduras coladas pelo exterior, o aumento observado nos valores das cargas de cedência e de rotura na técnica CREatE com armaduras inseridas no recobrimento deveu-se essencialmente às características mecânicas das armaduras de reforço;

Uma análise detalhada do comportamento à flexão dos quatro modelos reforçados com a técnica CREatE permite constatar que o ângulo de desvio e raio da curva de concordância influenciaram ligeiramente o desempenho dos modelos ensaiados após a cedência das armaduras.

### REFERÊNCIAS

- Biscaia, H., Chastre, C., Cruz, D.e Franco, N. 2016. "Flexural Strengthening of Old Timber Floors with Laminated Carbon Fiber Reinforced Polymers." *Journal of Composites for Construction*.
- Biscaia, H. C., Chastre, C., Cruz, D.e Franco, N. 2016. "Flexural Strengthening of Old Timber Floors with Laminated Carbon Fiber-Reinforced Polymers." *Journal of Composites for Construction* 0(0): 04016073.
- Buyukozturk, O., Gunes, O.e Karaca, E. 2004. "Progress on understanding debonding problems in reinforced concrete and steel members strengthened using FRP composites." *Construction and Building Materials* 18(1): 9-19.
- CEN 2009. EN ISO 6892-1:2009 - Metallic materials. Tensile testing - Part 1: Method of test at ambient temperature, CEN.
- Chastre, C., Biscaia, H.e Franco, N. 2015. *Novas Soluções de Reforço Estrutural*. SILE 2015 - Seminário Internacional sobre Ligações Estruturais. Universidade NOVA de Lisboa, Portugal.
- Chastre Rodrigues, C., Biscaia, H. C., Franco, N.e Monteiro, A. J. 2015. Structural strengthening system with internally anchored reinforcements by adherence WIPO. Portugal. PCT/IB2015/055208.
- Faustino, P.e Chastre, C. 2016. "Flexural Strengthening of Columns with CFRP Composites and Stainless Steel: Cyclic Behavior." *Journal of Structural Engineering* 142(2): 04015136.
- fib -Task Group 9.3 2001. Bulletin 14: Externally FRP for RC structures. technical report, fib - International Federation for Structural Concrete.
- Franco, N., Chastre, C.e Biscaia, H. 2016. Análise experimental do comportamento à flexão de vigas de betão armado reforçadas com armaduras pós-instaladas de aço inoxidável. TEST&E 2016 - 1º Congresso de Ensaios e Experimentação em Engenharia Civil. IST, Lisbon, Portugal.
- Franco, N., Chastre, C.e Biscaia, H. C. 2014. Análise do desempenho à flexão de vigas de betão armado reforçadas com armaduras de aço inoxidável. JPTEE2014 – 5ª Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, Encontro Nacional Betão Estrutural 2014. LNEC, Lisboa.: 15p.
- Matthys, S.e Taerwe, L. 2006. "Evaluation of ductility requirements in current design guidelines for FRP strengthening." *Cement and Concrete Composites* 28(10): 845-856.
- Teng, J.e Chen, J. 2007. Debonding failures of rc beams strengthened with externally bonded frp reinforcement: Behaviour and modelling Asia-Pacific Conference on FRP in Structures Hong Kong, China.