

## ANÁLISE EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO À FLEXÃO DE VIGAS DE BETÃO ARMADO REFORÇADAS COM ARMADURAS PÓS- INSTALADAS DE AÇO INOXIDÁVEL



**Noel Franco**  
DEC,  
Univ. NOVA de Lisboa  
Caparica; Portugal  
noel.franco@gmail.com



**Carlos Chastre**  
ICIST, CERIS,  
Univ. NOVA de Lisboa  
Caparica; Portugal  
chastre@fct.unl.pt



**Hugo Biscaia**  
FSE, UNIDEMI,  
Univ. NOVA de Lisboa  
Caparica; Portugal  
hb@fct.unl.pt

### RESUMO

A procura de soluções de reforço mais eficientes que permitam aumentar a capacidade resistente de elementos estruturais sujeitos a flexão levou ao desenvolvimento de um sistema inovador de aplicação de armaduras de reforço coladas pelo exterior. Neste artigo descrevem-se os ensaios experimentais realizados e analisam-se os resultados obtidos com vigas de betão armado reforçadas com armaduras pós-instaladas de aço inoxidável com diferentes técnicas: *Externally Bonded Reinforcement (EBR)*, *Near Surface Mounted (NSM)* e com o novo sistema de reforço desenvolvido - *Continuous Reinforcement Embedded at Ends (CREatE)*. No novo sistema de reforço as armaduras são ancoradas por aderência no interior do elemento estrutural, o que associado à utilização de armaduras em aço inoxidável, possibilita aumentos de resistência e ductilidade consideráveis face às técnicas tradicionais de colagem pelo exterior.

## CONCLUSÕES

Da análise dos resultados experimentais, enumeraram-se as seguintes conclusões mais relevantes:

- As técnicas NSM e EBR sem ancoragem nas extremidades das armaduras de reforço, nas condições em que foram executadas, tendem a apresentar roturas prematuras e, por isso, não permitem tirar pleno partido dos materiais utilizados. No modelo reforçado com a técnica EBR a rotura foi frágil e não ocorreram sinais de que a rotura estava na iminência de acontecer. A rotura do modelo reforçado com a técnica NSM também foi frágil mas, neste caso, surgiram algumas fendas bastante pronunciadas nas zonas extremas do reforço, o que possibilitou antever a rotura;
- A técnica de reforço EBR com ancoragens mecânicas nas extremidades revelou-se bastante eficaz em termos de capacidade de carga e ductilidade. Apesar de a rotura neste modelo ter-se iniciado pelo esmagamento do betão, verificou-se que a abertura dos furos nas barras de reforço originou uma concentração de tensões nessa zona que culminou com a rotura do reforço;
- O sistema de reforço CREAtE foi, de entre as técnicas estudadas, o que apresentou globalmente melhores resultados. Destaca-se, sobretudo, a ausência de descolamento, a elevada ductilidade pós cedência das armaduras e o aumento da capacidade de carga;
- A técnica CREAtE permitiu um aumento de cerca de 34%, relativamente ao valor da carga de cedência da viga de referência (não reforçada), enquanto as técnicas de reforço NSM e EBR com ancoragens mecânicas permitiram aumentar a capacidade resistente em 29%. A técnica EBR, sem adição de qualquer ancoragem mecânica, não permitiu qualquer aumento da carga de cedência quando comparada com a carga homóloga da viga de referência;
- Ficou ainda patente que a utilização de armaduras de aço inoxidável é viável no campo do reforço com armaduras pós-instaladas pelo exterior.

## REFERÊNCIAS

- [1] Chen, J., and Teng, J., “Anchorage Strength Models for FRP and Steel Plates Bonded to Concrete,” *Journal of Structural Engineering*, vol. 127, no. 7, 2001, pp. 784-791.
- [2] Franco, N., Chastre Rodrigues, C., and Biscaia, H. C., “Análise do desempenho à flexão de vigas de betão armado reforçadas com armaduras de aço inoxidável,” in *JPEE2014 – 5ª Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, Encontro Nacional Betão Estrutural 2014*, Lisboa, 2014.
- [3] Matthys, S., and Taerwe, L., “Evaluation of ductility requirements in current design guidelines for FRP strengthening,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 28, no. 10, 2006, pp. 845-856.
- [4] Macdonald, M. D., and Calder, A. J. J., “Bonded steel plating for strengthening concrete structures,” *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 2, no. 2, 1982, pp. 119-127.
- [5] Theillout, J., “Reinforcement et reparation des ouvrages d'art par la technique des toles collees,” *A L'ecole Nationale Des Ponts Et Chaussees*, 1983.
- [6] Oehlers, D., and Moran, J., “Premature failure of externally plated reinforced concrete beams,” *Journal of Structural Engineering*, vol. 116, 1990, pp. 17.
- [7] Chastre Rodrigues, C., “Comportamento da Ligação Aço-Resina-Betão em Elementos Estruturais,” MSc, Engenharia Civil - IST, Instituto Superior Técnico, 1993.
- [8] Oehlers, D., and Ali, M., “Debonding of steel plates glued to RC flexural members,” *Structural Engineering and Materials*, vol. 11, 1998, pp. 7.
- [9] Focacci, F., Nanni, A., and Bakis, C., “Local bond-slip relationship for FRP reinforcement in concrete,” *Journal of Composites for Construction*, vol. 4, no. 1, 2000, pp. 24-31.
- [10] Smith, S. T., and Teng, J. G., “Interfacial stresses in plated beams,” *Engineering Structures*, vol. 23, no. 7, 2001, pp. 857-871.
- [11] Chen, J. F., Yuan, H., and Teng, J. G., “Debonding failure along a softening FRP-to-concrete interface between two adjacent cracks in concrete members,” *Engineering Structures*, vol. 29, no. 2, 2007, pp. 259-270.
- [12] Chen, F., and Qiao, P., “Debonding analysis of FRP-concrete interface between two balanced adjacent flexural cracks in plated beams,” *International Journal of Solids and Structures*, vol. 46, no. 13, 2009, pp. 2618-2628.
- [13] Biscaia, H. E. C. C., “Comportamento e modelação da ligação GFRP/Betão em elementos de betão expostos a ambientes agressivos,” PhD, Engenharia Civil - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2012.

- [14] Houachine, H. R. E., Sereir, Z., Kerboua, B., and Hadjazi, K., "Combined cohesive-bridging zone model for prediction of the debonding between the FRP and concrete beam interface with effect of adherend shear deformations," *Composites Part B: Engineering*, vol. 45, no. 1, 2013, pp. 871-880.
- [15] Biscaia, H., Silva, M. G., and Chastre, C., "Factors influencing the performance of externally bonded reinforcement systems of GFRP-to-concrete interfaces," *Materials and Structures* 2014, pp. 1-21.
- [16] Biscaia, H. C., Chastre, C., and Silva, M. A. G., "Modelling GFRP-to-concrete joints with interface finite elements with rupture based on the Mohr-Coulomb criterion," *Construction and Building Materials*, vol. 47, no. October 2013, pp. 261-273.
- [17] Biscaia, H. C., Chastre, C., and Silva, M. A. G., "A smeared crack analysis of reinforced concrete T-beams strengthened with GFRP composites," *Engineering Structures*, vol. 56, no. November 2013, pp. 1346-1361.
- [18] Biscaia, H. C., Chastre, C., and Silva, M. A. G., "Nonlinear numerical analysis of the debonding failure process of FRP-to-concrete interfaces," *Composites Part B: Engineering*, vol. 50, no. July, 2013, pp. 210-223.
- [19] Biscaia, H. C., Chastre, C., and Silva, M. A. G., "Linear and nonlinear analysis of bond-slip models for interfaces between FRP composites and concrete," *Composites Part B: Engineering*, vol. 45, no. 1, 2013, pp. 1554-1568.
- [20] Biscaia, H. C., Chastre, C., and Silva, M. A. G., "Double shear tests to evaluate the bond strength between GFRP/concrete elements," *Composite Structures*, vol. 94, no. 2, 2012, pp. 681-694.
- [21] EuroInox, *Stainless Steel: Tables of Technical Properties*, vol. 5, 2007.
- [22] EuroInox, *Design Manual for Structural Stainless Steel - Commentary* vol. 11, 2007.
- [23] Smith, F. N., "Stainless steel reinforcement for concrete construction," in *12th Middle East Corrosion Conference & Exhibition*, Bahrain, 2008.
- [24] Cunat, P.-J., "Corrosion Resistance of Stainless Steels in Soils and in Concrete," in *Plenary Days of the Committee on the Study of Pipe Corrosion and Protection*, Ceacor, Biarritz, 2001.
- [25] McGurn, J. F., "Satinless Steel Reinforcing bars in concrete," 1999.
- [26] Outokumpu Stainless, A., "Handbook of Stainless Steel," O. Oyj, ed., 2013.
- [27] Chastre Rodrigues, C., Biscaia, H. C., Franco, N., and Monteiro, A. J., *Structural strengthening system with internally anchored reinforcements by adherence Portugal*, WIPO, 2015.