

# 27\_30

## INOVAÇÃO E REABILITAÇÃO

### TÉCNICA NSM — UMA NOVA ABORDAGEM NO REFORÇO DE ESTRUTURAS COM MATERIAIS COMPÓSITOS

#### RESUMO

Nos últimos anos, a técnica baseada na inserção de FRP's no interior de elementos estruturais tem sido utilizada no reforço de estruturas. Esta técnica consiste na introdução de FRP's em ranhuras pré-executadas nos elementos a reforçar. Geralmente os FRP's são fixos ao elemento por intermédio de um adesivo epoxy. Esta técnica, em alguns casos, apresenta vantagens substanciais comparativamente com a técnica que recorre à colagem externa. No presente trabalho pretende dar-se a conhecer as principais virtudes desta técnica, bem como, os resultados mais significativos obtidos pela comunidade científica.

José Sena Cruz  
Professor Auxiliar  
Departamento de Engenharia Civil  
Universidade do Minho  
jsena@civil.uminho.pt

#### 1. INTRODUÇÃO

Por reforço entende-se como uma acção que incide sobre o comportamento da estrutura, visando o aumento da resistência e/ou ductilidade dos seus elementos, melhorando assim o desempenho da estrutura relativamente ao seu estado inicial.

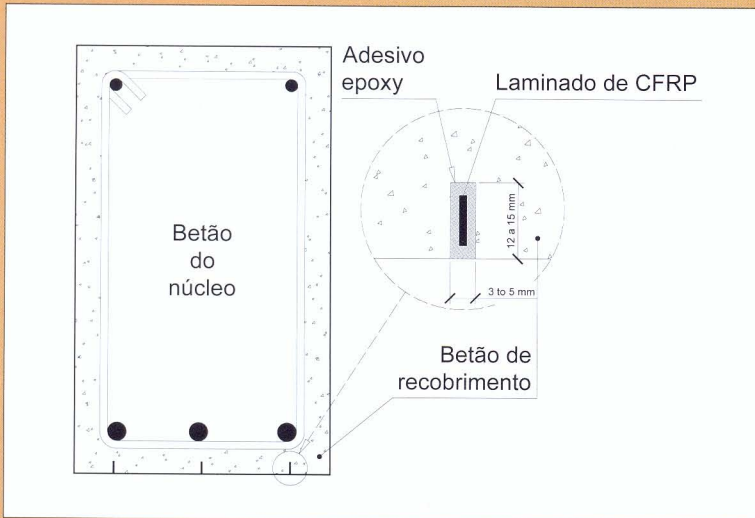
A necessidade de reforçar parcial ou totalmente uma estrutura poderá dever-se: (i) eliminação de danos em elementos estruturais; (ii) a alterações do valor da sobrecarga de utilização; (iii) à necessidade de conformidade da estrutura para com uma regulamentação específica; (iv) a exigências específicas. A existência de danos em elementos estruturais poderá dever-se a diversos factores, destacando-se pela sua importância, a ocorrência de acidentes naturais como são o caso dos sismos, aplicação de sobrecargas excessivas, erros grosseiros na elaboração do Projecto de Estabilidade, uma má qualidade de execução da estrutura ou ainda a deterioração dos materiais estruturais. Nas estruturas de betão ar-

mado, deterioração dos materiais estruturais (betão e armaduras), tem aumentado fruto, essencialmente, de um aumento significativo dos níveis de CO<sub>2</sub> no meio ambiente, aumento da temperatura ambiente e aumento do nível médio das águas do mar.

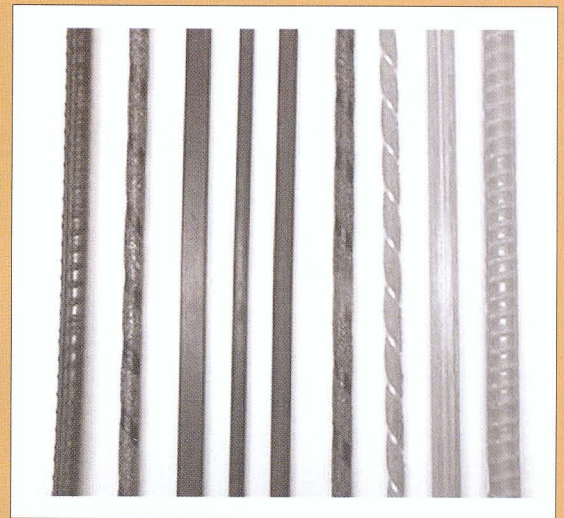
É habitual classificar as técnicas de reforço em dois grupos distintos, recorrendo à adição de novos elementos resistentes, ou através do reforço de elementos resistentes já existentes. O reforço dos elementos existentes normalmente é conseguido através do alargamento da secção, realização de uma construção compósita (com adição de outros materiais) ou aplicação de pós-tensão.

Nas duas últimas décadas tem-se assistido a um aumento significativo do reforço de estruturas com recurso a polímeros reforçados com fibras (FRP - "Fiber Reinforced Polymer" na nomenclatura inglesa). A utilização "massiva" deste material na indústria da construção civil deve-se ao facto destes apresentarem elevada resistência, baixo peso específico, elevada resistência à corrosão, boa resistência à fadiga, bom amor-

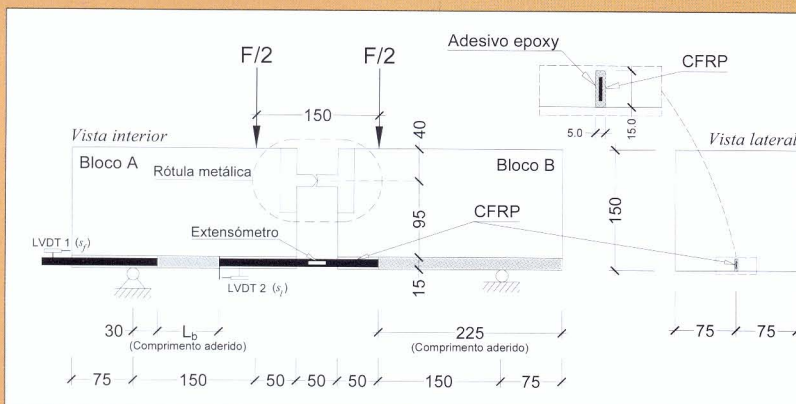
tecimento ao choque e facilidade de aplicação. Dentro dos FRP's, os sistemas mais usados na construção civil são os que recorrem às soluções de fibras de vidro (GFRP) e carbono (CFRP). O reforço de estruturas com compósitos de FRP tem sido frequentemente efectuado através da aplicação destes materiais nas faces dos elementos a reforçar. Esta técnica de reforço é correntemente designada de reforço por colagem externa (EBR - "Externally Bonded Reinforcement" na nomenclatura inglesa). Consequentemente, em diversos países foi surgindo regulamentação específica para o reforço de estruturas com estes materiais destacando-se pela sua importância as referências [1-5]. Da investigação que tem sido efectuada, no âmbito da técnica EBR, tem-se verificado que esta técnica não permite mobilizar a resistência máxima dos FRP's, dado ocorrer o seu descolamento precoce em relação ao elemento a reforçar. Adicionalmente, os reforços aplicados ficam expostos directamente à acção do fogo, às condições ambientais e a actos de vandalismo.



> 1



> 2



a)  
> 3



b)

## 2. TÉCNICA DE REFORÇO NSM

### 2.1 Aspectos gerais

Assim, na tentativa de evitar estes inconvenientes tem vindo a ser desenvolvida uma técnica baseada na inserção de FRP's no interior das peças a reforçar. No caso particular de estruturas de betão, estes FRP's são inseridos no betão de recobrimento. Esta técnica é designada na nomenclatura inglesa pela técnica NSM (Near Surface Mounted), e que quando comparada com a técnica EBR permite uma maior mobilização da resistência à tracção dos FRP's, uma melhor ligação com o elemento

a reforçar [ligação menos propícia a descolagem], maior facilidade de ligação dos FRP em elementos adjacentes [prevenindo problemas de ancoragem], maior protecção à acção de agentes externos [acções mecânicas, actos de vandalismo, fogo e meio ambiente]. Na Fig. 1 apresenta-se, a título ilustrativo, a aplicação da técnica NSM no reforço à flexão de uma viga de betão armado. Assim, a aplicação desta técnica consiste em efectuar ranhuras de pequenas dimensões no betão de recobrimento, nas quais são inseridos os FRP's. A fixação destes compósitos ao betão é habitualmente efectuada com recurso a adesivos epoxy. Embora o uso desta técnica ainda seja relati-

vamente recente, já no final da década de 40 do século passado, esta técnica era usada com recurso à aplicação de varões de aço no betão de recobrimento [6].

A comunidade científica tem dedicado particular interesse a este assunto. As principais contribuições para o estado do conhecimento actual provem dos Estados Unidos, Canadá, Austrália, China, Itália, Suécia e Portugal. A nível nacional a maior contribuição resulta da investigação desenvolvida pela Universidade do Minho ([www.civil.uminho.pt/composites](http://www.civil.uminho.pt/composites)). Uma publicação que faz o ponto situação do estado do conhecimento da técnica NSM poderá ser encontrada em [7]. Como resultado

> Figura 1: Técnica NSM aplicada no reforço de uma viga aos esforços de flexão.

> Figura 2: Diferentes configurações de FRP's usados na técnica NSM.

> Figura 3: (a) Ensaio de arranque [8]; (b) Comportamento micro-mecânico da técnica NSM.

da investigação desenvolvida, quer o ACI [Comité 440] quer a FIB, estão em vias de publicar normativas relativas à técnica NSM.

Os FRP's que têm sido usados com esta técnica de reforço apresentam uma variedade considerável de formas, podendo a sua secção transversal ser redonda, quadrada, rectangular, oval, bem como laminada, como se ilustra na Fig. 2.

Relativamente à geometria da secção transversal da ranhura esta ou é quadrada ou rectangular. A geometria desta é definida de tal forma a que a espessura da camada de adesivo entre o FRP e a fase da ranhura varie entre 1 a 3 mm.

O material de enchimento das ranhuras – responsável pela transferência de tensões entre o elemento a reforçar e o FRP – é habitualmente o adesivo epoxy devido às excelentes propriedades de fixação entre outras. Contudo, devido ao elevado preço destes materiais, alguns investigadores têm procurado estudar materiais alternativos, destacando-se as argamassas de origem cimentícia.

## 2.2 Comportamento da ligação entre o FRP e o elemento a reforçar

Muita da preocupação da comunidade científica centra-se na compreensão dos mecanismos de transferência de tensões entre o elemento a reforçar e o FRP. Habitualmente, estes estudos são realizados com recurso a ensaios de aderência. Na Fig. 3(a) apresenta-se, a título exemplificativo, um ensaio de arranque em flexão, a partir do qual é possível extrair informação relativamente ao comportamento da ligação quer com vista à obtenção de leis analíticas, quer com o objectivo de analisar comportamento micro-mecânico (ver Fig. 3(b)). Estes ensaios de arranque tem revelado que as tensões média de corte alcançadas são significativamente superiores às registadas com a técnica EBR (em alguns casos o valor poderá quadruplicar).

## 2.3 Reforço à flexão

No reforço aos esforços de flexão, os estudos têm incidido essencialmente no reforço de vigas e lajes e pilares de betão armado. Dos resultados obtidos verifica-se que a técnica NSM é mais eficaz que as baseadas na colagem externa (EBR), dado que a precocidade da descolagem do FRP é retardada, sendo mesmo evitada em muitos casos, resultando níveis de deformação mais elevados nos FRP's e aumentos mais significativos na capacidade de carga dos elementos reforçados. Com a aplicação desta técnica tem-se verificado que os índices de ductilidade são consideráveis. Na Fig. 4 apresenta-se uma fotografia de ensaio de uma viga reforçada à flexão recorrendo à técnica NSM, em que é visível a eficiência da técnica.

## 2.4 Reforço ao corte

No que respeita ao reforço ao corte, tem vindo a ser estudadas

diferentes configurações de reforço (ver exemplo da Fig. 5). Dos resultados obtidos, verifica-se que a técnica NSM é a mais efectiva não só em termos da capacidade última de carga, mas também em termos de ductilidade. Usando a técnica NSM obtêm-se modos de rotura mais dúcteis. De acordo com vários investigadores esta técnica é mais simples e rápida, quando comparada com a técnica EBR.

## 2.5 Simulações numéricas

Adicionalmente à caracterização experimental, a modelação numérica da técnica NSM, também tem vindo a ser desenvolvida. Nesta fase esta visa, fundamentalmente, a calibração dos modelos numéricos. Assim, têm sido efectuadas simulações ao nível quer da caracterização da ligação FRP/elemento de reforço, quer de elementos estruturais reforçados de acordo com a técnica NSM recorrendo principalmente ao método dos elementos finitos. Na Fig. 6 apresenta-se um exemplo da simulação de uma viga com rotura à flexão reforçada de acordo com a técnica NSM.

PUB



# Sistemas Avançados de Reabilitação, reparação e reforço de estruturas



**DRIZORO, S.A.U.**  
C/ Primavera 50-52.  
P. I. Las Monjas 28850  
Torrejón de Ardos - Madrid (Spain)  
Tel.: (34) 91 676 66 76  
91 677 61 75  
Fax: (34) 91 675 78 13  
info@drizoro.com  
www.drizoro.com

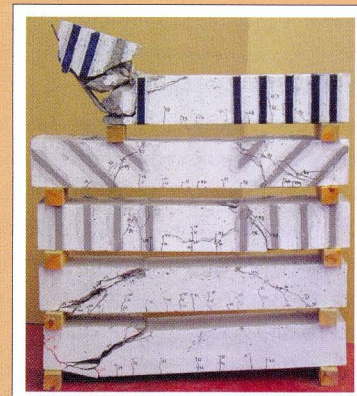


**EcoSpring**  
Estudos e Representações Técnicas, Lda

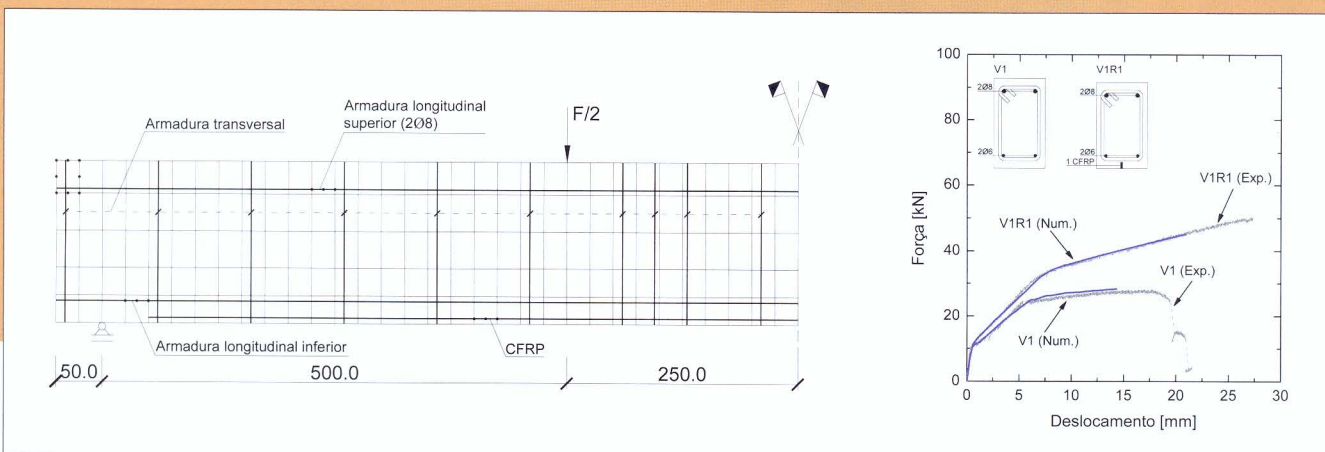
**Ecospring Estudos e Representações Técnicas, Lda.**  
Rua de Areias, Lt. 2, 116 S. Pedro D'Este  
4715 – 563 Braga (Portugal)  
Tel.: 253 338 040  
Fax: 253 338 039  
ecospring@ecospring.eu  
www.ecospring.eu



> 4



> 5



a)  
> 6

b)

### 3. CONCLUSÕES

Na presente comunicação foi dada a conhecer a técnica de reforço NSM (“Near Surface Mounted” da nomenclatura inglesa). Esta consiste na aplicação de FRP’s no interior dos elementos a fixar, por intermédio da realização de ranhuras nas suas faces. O uso desta técnica tem-se centrado fundamentalmente em estruturas de betão, apesar de também ter sido aplicado em estruturas de alvenaria e madeira, no reforço à flexão e corte. Quando comparada com a técnica que recorre à colagem externa de FRP’s, a técnica NSM apresenta significativas vantagens resultantes de uma melhor ligação com o elemento a reforçar, em alguns casos maior facilidade na sua aplicação, e uma maior protecção à acção de agentes externos [acções mecânicas, actos de vandalismo, fogo e meio ambiente].

### REFERÊNCIAS

- [1] “Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures.” Boletim de Informação n.º 14, Federação Internacional do Betão (FIB), Outubro, 2001.
- [2] “Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures.” *Technical committee document 440.2R-02*, American Concrete Institute (ACI), Committee 440, 2002.
- [3] Manual n.º 4 – “Strengthening Reinforced Concrete Structures with Externally-Bonded Fibre Reinforced Polymers (FRP)” – Intelligent Sensing for Innovative Structures Canada Research Network, Canada, .
- [4] “Design Guidelines of FRP Reinforced Concrete Building Structures.” Building Research Institute, Japan, 1993.
- [5] “Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures” – CNR (National Research Council): Advisory Committee on Technical Recommendations for Construction – Italy, 2004.
- [6] Asplund S.O. “Strengthening bridge slabs with grouted reinforcement”, *ACI Journal, Proceedings V. 20, N° 6, 1949*, 397-406.
- [7] De Lorenzis, L.; Teng, J.G. “Near-surface mounted FRP reinforcement: An emerging technique for strengthening structures.” *Composites: Part B*, 38, 2007, 119–143.
- [8] Sena-Cruz, J.M.; Barros, J.A.O.; Gettu, R.; Azevedo, A.F.M. “Bond behavior of near surface mounted CFRP laminate strips under monotonic and cyclic loading.” *Journal of Composites for Construction*, ASCE, 10(4), 2006, 295-303.
- [9] Barros, J.A.O.; Fortes, A.S. “Concrete beams reinforced with carbon laminates bonded into slits.” *5º Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería*, Madrid, Espanha, 2002, 16 pp.
- [10] Barros, J.A.O.; Dias, S.J.E. “Shear strengthening of reinforced concrete beams with laminate strips of CFRP.” *International Conference on Composites in Construction*, Cosenza, Itália, 2003, 289-294.
- [11] Sena-Cruz, J.M. “Strengthening of concrete structures with near-surface mounted CFRP laminate strips.” Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Universidade do Minho, 2004, 198 pp.

> Figura 4: Ensaio à flexão de uma viga reforçada com a técnica NSM [9].

> Figura 5: Reforço ao corte recorrendo à técnica NSM [10].

> Figura 6: Simulação numérica de uma viga com rotura à flexão reforçada de acordo com a técnica NSM [11].