

MATERIAIS E TECNOLOGIAS DE REFORÇO DE ESTRUTURAS DE BETÃO - POTENCIALIDADE E LIMITAÇÕES

Chastre, Carlos¹

Universidade NOVA de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Engenharia Civil.

1: chastre@fct.unl.pt, web: <http://docentes.fct.unl.pt/cmcr/>

PALAVRAS CHAVE: Reabilitação; Betão armado; Reforço de estruturas; Materiais; FRP

RESUMO

O desenvolvimento da engenharia de estruturas tem tido grandes avanços nas últimas décadas, baseados em novos meios de cálculo e na investigação em novos materiais e tecnologias a eles associadas. Por sua vez, as atividades de reparação e reforço têm vindo a incrementar devido ao envelhecimento e à degradação das estruturas de betão, o que conseqüentemente tem dado origem ao aparecimento de novos materiais e tecnologias de reparação e reforço de estruturas. A utilização destes novos materiais na construção tem vindo a substituir outros materiais e técnicas existentes, requerendo, no entanto, mais estudos sobre o seu real comportamento quer em termos de características mecânicas quer em termos de durabilidade.

Neste artigo, pretende-se apresentar e discutir as potencialidades e limitações de alguns dos materiais e tecnologias de reforço de estruturas de betão. Começar-se-á por fazer uma breve abordagem dos diversos materiais utilizados no reforço de estruturas, tendo em especial atenção o seu comportamento mecânico. Em seguida, descrevem-se algumas das técnicas (adição de argamassas ou de betão, adição de armaduras de aço, de compósitos de FRP, de compósitos de TRM, de pré-esforço ou de novos elementos estruturais) aplicadas ao reforço de estruturas e em particular a alguns elementos estruturais como: pilares, paredes, vigas ou lajes. Por fim, apresentam-se e discutem-se de forma abreviada algumas condicionantes e limitações das soluções atuais de reforço e indicam-se diversas questões em aberto e que têm merecido a atenção da comunidade científica.

1. INTRODUÇÃO

Várias são as causas que, em conjunto ou separadamente, motivam as intervenções de reparação ou de reforço em estruturas de betão, podendo referir-se a deterioração da estrutura por ausência de conservação, a ocorrência de acidentes, de incêndios ou de sismos. Para além destes danos provocados por ações externas há que referir ainda os defeitos de construção ou os erros de conceção ou de projecto. A alteração do tipo de utilização da estrutura dá, adicionalmente, origem a situações de reforço devido ao aumento do nível da sobrecarga ou à eliminação de elementos estruturais. A imposição de um nível de segurança às ações sísmicas mais elevado poderá, e deverá, ser uma realidade cada vez mais frequente, em especial em edifícios e pontes construídos há mais de trinta anos.

De acordo com Helene [1] os sintomas mais comuns de deterioração das estruturas de betão armado são as fendas, as eflorescências, a deformação excessiva, as manchas no betão aparente e a corrosão das armaduras. Das patologias referidas nem todas têm implicações no comportamento estrutural. Contudo, a corrosão das armaduras, a fissuração e as deformações excessivas representam, segundo o autor, mais de cinquenta por cento das patologias detetadas em estruturas de betão armado. Cerca de noventa por cento das patologias detectadas são decorrentes de problemas de conceção e projecto

(44%) ou de execução e qualidade dos materiais (46%) e apenas dez por cento estão relacionadas com a utilização da estrutura.

Existem diversas opções para reforçar uma estrutura. Salientam-se, de entre estas, o reforço utilizando uma ou mais das seguintes técnicas: betão armado, betão projectado, perfis metálicos, pré-esforço, chapas de aço coladas ao betão com resina epoxídica, adicionando ou não buchas metálicas e a utilização de materiais compósitos, tendo por base as fibras de carbono, de vidro ou aramídicas.

O grau de reforço a efectuar deverá estar associado ao nível de segurança pretendido. Especialmente em regiões sísmicas é necessário ter em conta o efeito global da intervenção, devendo-se para tal proceder a uma reanálise da estrutura, dado que o reforço poderá afectar negativamente a sua ductilidade.

O reforço da estrutura pode ir desde a substituição de materiais de pior qualidade por outros mais resistentes, passando pelo aumento das dimensões das secções, pela substituição total ou parcial de elementos ou pela introdução de novos elementos estruturais.

Os materiais compósitos, inicialmente utilizados na indústria aeronáutica, têm vindo, ao longo dos anos, a responder de forma positiva a novos desafios oriundos de outras áreas de interface com a engenharia mecânica, como a indústria naval ou a automóvel. A sua utilização em aplicações de engenharia civil é relativamente recente, mas tem vindo a revelar-se particularmente interessante no reforço e reparação de estruturas de betão armado, de madeira ou até mesmo de alvenaria.

2. MATERIAIS

Tendo em vista a melhoria do desempenho das estruturas a reforçar ou a reparar, podem dividir-se os materiais em termos de comportamento mecânico, em dois grandes grupos: no primeiro, os betões, as argamassas de reparação e as resinas, cujas principais funções são resistir à compressão, envolver e proteger as armaduras e permitir a transferência de tensões entre materiais; e no segundo grupo os materiais cuja principal função é resistirem à tração, como o aço ou os compósitos de FRP. Contudo, a seleção dos materiais para reforço e reparação de estruturas tem de ser baseada não só no desempenho mecânico dos mesmos mas também na facilidade de execução permitida e na sua durabilidade a longo prazo.

Para além dos betões correntes, existem hoje em dia novos tipos de betões que apresentam características que procuram responder a necessidades específicas ou à otimização do desempenho dos elementos estruturais de betão. Surgem neste âmbito os betões: de alta resistência; de alto desempenho; de ultra alto desempenho; com fibras; leves; poliméricos; autocompactáveis, entre outros. Realce-se que um betão polimérico é o resultado da mistura de um agregado mineral com um determinado polímero, em que a resina polimérica substitui o ligante água/cimento Portland do betão convencional. Comparativamente com este, o betão polimérico apresenta diversas vantagens, tais como: elevada resistência mecânica, melhor resistência química e baixa permeabilidade [2]. A utilização de alguns destes betões pode permitir soluções muito competitivas, em particular no reforço e reparação de estruturas de betão armado.

As argamassas de reparação são nos dias de hoje um material fundamental na reparação e reforço de estruturas. Estas argamassas são compostas por diversos produtos a misturar em obra ou são pré-doseadas. Podem ser modificadas com polímeros, terem inertes seleccionados, entre os quais inertes de sílica ou de quartzo, com granulometrias estudadas, ou possuírem fibras acrílicas ou metálicas. As argamassas devem possuir retracção compensada nos primeiros dias de idade, antes de adquirir a resistência à tração necessária para resistir às tensões resultantes da retracção diferencial existente entre a base e a argamassa. A argamassa pode ser tixotrópica para aplicações à colher ou à talocha ou por projecção, ou fluída para aplicação por vazamento e a sua espessura de aplicação ronda em geral 1 a 4 centímetros. Em geral, estas argamassas são resistentes aos agentes químicos, têm resistência à compressão superior a 50MPa aos 28 dias e resistência à tração por flexão superior a 8MPa aos 28 dias e possuem boa aderência ao betão e às armaduras e um tempo de cura entre 1 e 2 horas [3].

Em termos de materiais mais vocacionados para resistir à tração existe um conjunto de produtos que vão desde o aço carbono e do aço inox (em chapa, barra ou perfil), passando pelo aço de pré-esforço, até aos compósitos de FRP.

A resistência à corrosão, o baixo quociente peso/resistência mecânica, a sua moldabilidade, a facilidade de aplicação e a eliminação de estruturas de suporte contribuem para o uso crescente de compósitos de matriz orgânica em reforço estrutural. Os compósitos de FRP (fiber reinforced plastics) são materiais compostos por uma matriz polimérica reforçada com fibras de carbono (CFRP), vidro (GFRP), basalto (BFRP) ou aramida (AFRP).

Os polímeros utilizados nos compósitos de FRP são normalmente as resinas epoxídicas que são mais caras mas apresentam melhores características mecânicas. As fibras têm uma elevada resistência à tração, elevado módulo de elasticidade e são frágeis. A matriz polimérica dos compósitos é dúctil e termoendurecível e tem como função envolver e proteger as fibras das agressões ambientais de forma a garantir uma transferência adequada dos esforços entre estas e impedir os deslocamentos no sentido do alinhamento das fibras ou transversalmente a estas. Nos tecidos e nas mantas, as resinas assumem igualmente a função de colagem, devendo garantir a aderência das fibras à base e entre camadas. A resina influi bastante no comportamento do compósito ao corte e à compressão mas exerce uma influência reduzida na resistência à tração final do mesmo. As características exigíveis às resinas epoxídicas, com função resistente, são: uma boa capacidade de aderência às fibras, um tempo de cura longo, uma baixa retracção durante a cura, um módulo de elasticidade da ordem dos 2 GPa, uma deformação de rotura compatível com as fibras e uma boa estabilidade face aos agentes químicos. Apresenta-se na Tabela 1 uma comparação das propriedades típicas das resinas epoxídicas, das fibras mais correntes, do betão e do aço. Da análise da Tabela 1 constata-se que as matrizes poliméricas têm propriedades que limitam significativamente as tensões a que as fibras podem trabalhar.

Tabela 1: Comparação das Propriedades típicas das resinas epoxídicas do betão e do aço (adaptado de [4]).

Propriedades (20°C)	Resina epoxídica	Carbono HM	Carbono HM	Vidro-E	Betão	Aço
Resistência à Compressão (MPa)	55-110	800-1100	800-1100	~1000	25-150	200-600
Módulo de Elasticidade (GPa)	0,5-20	350-500	215-235	70	20-50	205
Resistência à Tração (MPa)	9-30	2500-3100	3500 - 4800	1900-3000	1-4	200-600
Deformação na rotura por tração (%)	0,5-5	0,5-0,9	1,4 - 2,0	3,0 - 4,5	0,015	25
Coefficiente de Poisson	0,3-0,4	0,26-0,28	0,26-0,28	0,2	0,2	0,3
Peso específico (kN/m ³)	11-17	18,1	17,5	25,5	25	78
Tg (°C)	45-80	--	--	--	--	--
Coefficiente de dilatação térmica	25-100	(-1)-8	(-1)-8	7-8	11-13	10-15

Na Figura 1 é possível comparar um diagrama típico do CFRP (a vermelho) com o de um varão de aço (a azul).

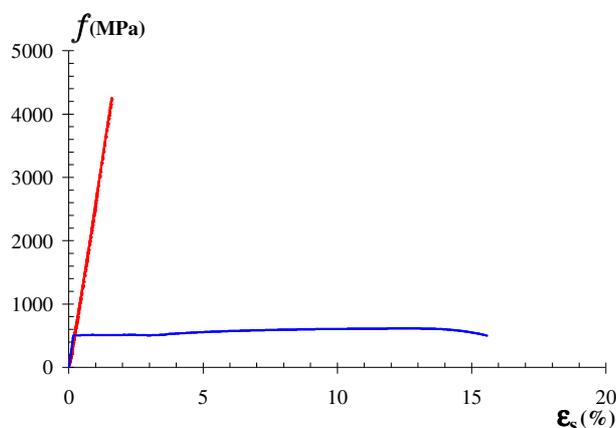


Figura 1: Diagramas tensão – deformação do CFRP (vermelho) e do aço (azul)

Apesar de terem um módulo de elasticidade semelhante, tornam-se evidentes as diferenças de comportamento entre o CFRP e o aço. Enquanto o provete de CFRP apresenta um comportamento elástico linear até à rotura com valores elevados de tensão (4200 MPa) e baixas extensões na rotura (1,6%), o provete de aço apresenta um patamar de cedência e valores bastante inferiores de tensão de rotura, entre os 550 e os 600MPa, mas com uma extensão na rotura superior a 10%.

3. TECNOLOGIAS DE REPARAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS

A fronteira entre o reforço e a reparação de uma estrutura nem sempre é fácil definir. O reforço de uma estrutura tem por objectivo aumentar a capacidade resistente ou a ductilidade dos seus elementos e, desta forma, melhorar o seu desempenho, enquanto a reparação de uma estrutura visa repor o seu desempenho nos níveis iniciais ou protegê-la contra a deterioração futura.

A corrosão ou a insuficiência de armaduras para os esforços existentes ou para os que venham a actuar pode originar a substituição das armaduras ou o reforço da estrutura. O reforço a efectuar depende, em larga medida, das propriedades da estrutura existente. Os elementos pouco armados podem ser substancialmente reforçados, normalmente à custa da ductilidade, enquanto nos elementos muito armados a capacidade resistente não pode ser muito incrementada sem a adição de betão.

Descrevem-se em seguida as principais tecnologias de reparação e reforço de estruturas aplicadas a elementos estruturais de betão armado.

3.1 Reparação de Estruturas

As técnicas mais utilizadas na reparação de estruturas são a injeção das fendas com resinas epoxídicas, a reparação local com argamassas de reparação ou a substituição do betão degradado por um outro de melhores características, vazado ou projectado.

A injeção com resinas epoxídicas é o método mais generalizado para a selagem de pequenas e médias fendas em estruturas de betão. A fendilhação de flexão normalmente não é um problema estrutural, a menos que a estrutura tenha sido carregada com cargas superiores às de serviço e, conseqüentemente, tenha ficado com danos permanentes. A selagem das fendas de flexão poderá restabelecer a rigidez de flexão inicial mas não aumenta a resistência à flexão relativamente à situação inicial. Assim, na maioria das vezes a selagem das fendas destina-se a proteger as armaduras das ações ambientais.

Na fendilhação resultante de esforço transversal ou de problemas de aderência a injeção das fendas restabelece a rigidez da estrutura, mas não soluciona a causa que provocou o seu aparecimento. Nestas situações, além da injeção das fendas, deverá ser efectuado o respectivo reforço com uma técnica adequada.

Quando ocorrem danos localizados na estrutura de betão armado recorre-se, normalmente, à utilização de argamassas de reparação de baixa retracção. Nesta técnica é fundamental uma boa execução para que seja assegurada uma aderência eficiente entre o betão existente e as argamassas resistentes.

Nos casos em que se pretende aumentar o recobrimento das armaduras ou substituir o betão de má qualidade pode utilizar-se o betão projectado, em especial quando o volume de betão a ser substituído é grande ou é difícil a utilização de cofragem.

3.2 Reforço com Adição de Betão e Armaduras

O reforço por encamisamento consiste em aumentar a secção transversal dos elementos de betão armado por adição de betão e de novas armaduras. Esta solução é a indicada quando é necessário aumentar a resistência das zonas de betão comprimido ou a rigidez dos elementos de betão armado.

A necessidade do aumento de resistência das zonas de betão comprimido justifica-se, por exemplo, quando as dimensões da secção de betão são insuficientes, ou quando a qualidade do betão é inferior ao especificado no projecto. Esta situação pode ocorrer em vigas sujeitas a flexão simples com armadura suficiente, mas com pouca altura útil ou com banzo de compressão insuficiente. De igual forma, é necessário aumentar a secção transversal das vigas para resistirem ao esforço transversal quando a

compressão no betão da alma condiciona a sua resistência. O mesmo verifica-se quando a secção ou a qualidade do betão é insuficiente para a resistir aos esforços aplicados em pilares sujeitos a flexão composta ou compressão simples. Na Figura 2 apresentam-se alguns pormenores esquemáticos do reforço com adição de betão e armaduras em pilares, lajes e vigas.

Em vigas, o reforço também pode ser efectuado com adição significativa de armadura de flexão e/ou de esforço transverso.

O reforço com adição de betão requer que a estrutura seja descarregada e que o recobrimento do betão seja retirado. Podem-se adicionar novas armaduras às já existentes através de conectores ou outro tipo de elementos. No caso de se realizarem soldaduras deverá ser tida especial atenção à eventual danificação do betão ou de eventuais adesivos utilizados. De referir que a adição de novas armaduras resulta no encamisamento de parte ou da totalidade do elemento estrutural.

Este método é bastante eficaz no incremento da resistência, rigidez e ductilidade do elemento reforçado e é o mais indicado quando existem danos severos no elemento de betão.

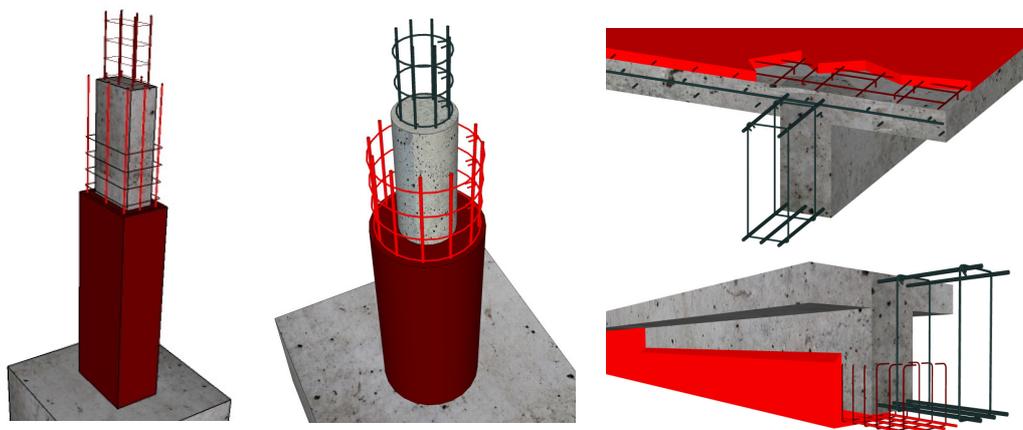


Figura 2: Pormenores do reforço com adição de betão e armaduras em pilares, lajes e vigas

3.3 Reforço com chapas ou perfis de aço colados com resina epoxídica

O reforço com chapas coladas ou perfis de aço consiste na adição de armaduras exteriores ao elemento estrutural existente, ligadas à superfície da estrutura por colagem com resina epoxídica, utilizando ou não buchas metálicas. Este tipo de reforço pode ser utilizado quando existe deficiência de armaduras e desde que as dimensões da secção e a qualidade do betão sejam suficientes para garantir a resistência e a rigidez, exigidas regulamentarmente.

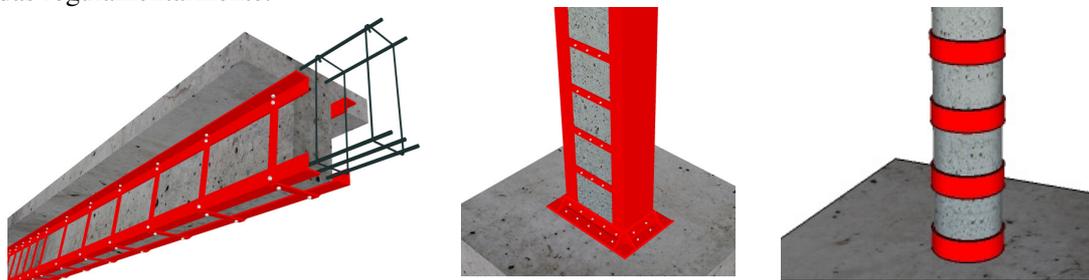


Figura 3: Pormenores do reforço de vigas e pilares com chapas ou perfis de aço colados com resina epoxídica

Em zonas sísmicas ou sujeitas a cargas cíclicas é recomendável a aplicação das chapas ou dos perfis de aço com resina epoxídica complementada com buchas metálicas [5].

Trata-se de uma técnica bastante eficiente na redução da fissuração e da deformação do elemento de betão armado. A sua principal vantagem é o reduzido acréscimo que provoca nas dimensões da secção de betão armado. Contudo, a resistência do betão nas superfícies de intervenção poderá condicionar a utilização desta técnica. Com esta técnica conseguem-se aumentos de rigidez e de resistência à compressão, à flexão e ao corte. Na Figura 3 apresentam-se alguns pormenores esquemáticos do reforço de vigas e pilares com chapas ou perfis de aço colados com resina epoxídica, utilizando ou não buchas metálicas.

3.4 Reforço com compósitos de FRP

O reforço com compósitos de FRP consiste no reforço por adição de armaduras exteriores à estrutura existente, constituídas por laminados de FRP ou tecidos de fibra de carbono, de vidro ou de basalto, coladas à superfície da estrutura com resina epoxídica. Na Figura 4 apresentam-se alguns pormenores esquemáticos do reforço de vigas e pilares com compósitos de FRP.

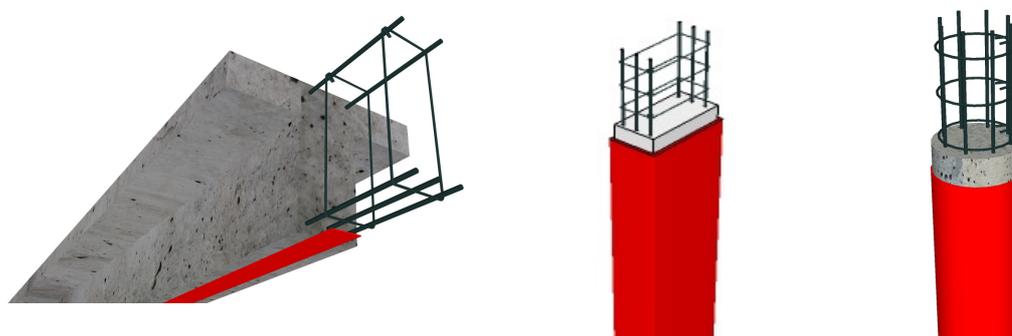


Figura 4: Pormenores do reforço de vigas e pilares com compósitos de FRP

Tal como no reforço com chapas ou perfis de aço, o reforço com compósitos de FRP pode ser utilizado quando existe deficiência de armaduras e desde que as dimensões da secção e a qualidade do betão sejam suficientes para garantir a resistência e a rigidez, exigidas regulamentarmente.

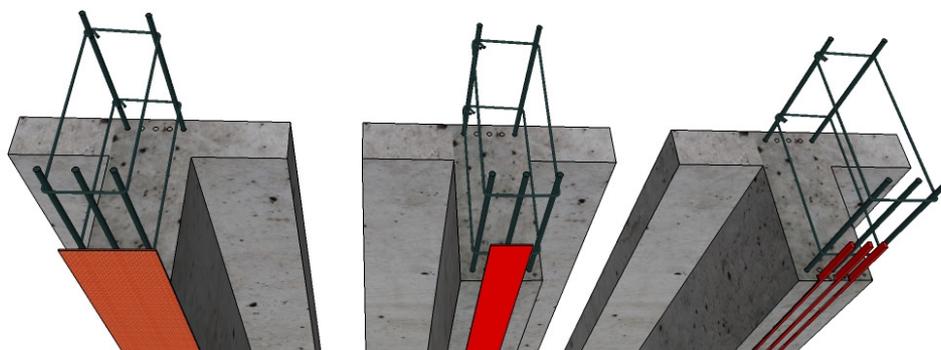
Em função dos materiais constituintes, da forma e da técnica de reforço, existem diversos sistemas exteriores de reforço com compósitos de FRP. Em geral, estes podem subdividir-se em sistemas curados "in situ" e em sistemas pré-curados ou pré-fabricados [2, 4]. Os sistemas saturados e curados "in situ" consistem em impregnar no local os fios, as mantas ou os tecidos (unidireccionais ou multidireccionais) de fibra com uma resina de saturação, que serve também para ligar as fibras de FRP à superfície de betão, normalmente após a aplicação de um primário.

Alguns destes sistemas, vêm por vezes pré-impregnados com uma resina não curada. Os sistemas pré-curados ou pré-fabricados têm diversas formas que vão desde os varões às chapas, aos coletes ou aos estribos que se encontram pré-curados e são colados ao betão utilizando adesivos.

Em vigas existem essencialmente duas técnicas de reforço com compósitos de FRP, a técnica em que o reforço é exterior (EBR – external bonded reinforcement) e a técnica em que os laminados de FRP são inseridos na superfície do betão, na zona de recobrimento (NSM – near surface mounted). Na técnica EBR o reforço pode ser realizado utilizando laminados de FRP pré-fabricados e colados no local com resina epoxídica ou utilizando tecidos de FRP saturados e curados "in situ". Na técnica de NSM inicialmente é necessário fazer um rasgo na superfície do betão para posteriormente serem inseridos e colados os laminados de FRP pré-fabricados em barra ou varão. Na Figura 5 apresentam-se esquematicamente as técnicas de reforço de vigas com compósitos de FRP.

A utilização de compósitos de FRP na cintagem de pilares ou de outros elementos estruturais aumenta significativamente a resistência à compressão do betão confinado e a sua ductilidade. Esta é uma solução possível para o reforço de pilares com deficiência nas dimensões da secção transversal ou na qualidade do betão e é um método bastante eficaz para o reforço de estruturas em regiões sísmicas, uma

vez que permite aumentar a ductilidade e resistência ao corte dos elementos, sendo particularmente eficiente em pilares de secção circular.



a) Tecido de FRP (EBR) b) Laminado de FRP (EBR) c) Laminados de FRP (NSM)

Figura 5: Técnicas de reforço à flexão de vigas com compósitos de FRP

3.5 Reforço com têxteis compósitos sobre base cimentícia (TRM)

A utilização no reforço de elementos estruturais de têxteis compósitos sobre base cimentícia (TRM - textile reinforced mortar) tem as suas vantagens, em especial no reforço de estruturas localizados próximo do mar. Esta técnica tem sido testada e validada no âmbito de diversos projetos de investigação, contudo a sua implementação regular ainda está longe [6]. Na Figura 6 mostra-se um pormenor do reforço de uma viga com TRM.

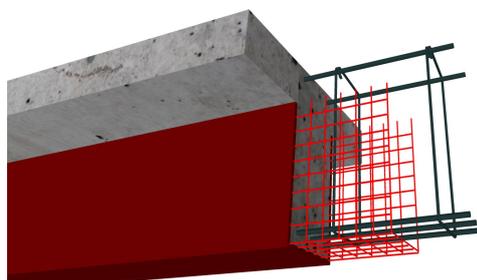


Figura 6: Pormenor do reforço de uma viga com compósitos de base cimentícia (TRM)

3.6 Reforço recorrendo a pré-esforço exterior com aço ou utilizando compósitos de FRP

O reforço de estruturas é uma forma eficiente de utilizar materiais com alta resistência e, desta forma, tirar o melhor proveito das suas propriedades mecânicas. Pode-se efectuar este tipo de reforço recorrendo a cabos de aço de pré-esforço aderente ou não aderente, a barras ou a laminados de FRP. Na Figura 7 mostra-se esquematicamente o reforço pelo exterior de uma viga com aço de pré-esforço.



Figura 7: Pormenor do reforço de uma viga com pré-esforço exterior

A aplicação de pré-esforço exterior na estrutura, introduz compressão e forças de desvio. As forças de compressão só por si aumentam a capacidade resistente e reduzem o nível de fendilhação, enquanto as forças de desvio transferem directamente para os apoios parte das ações aplicadas à estrutura.

O cálculo do reforço por pós-tensão pode ser realizado utilizando os procedimentos habituais para este método. Contudo, é importante limitar o escorregamento das ancoragens e proteger os cabos ou as barras contra a corrosão ou contra o fogo.

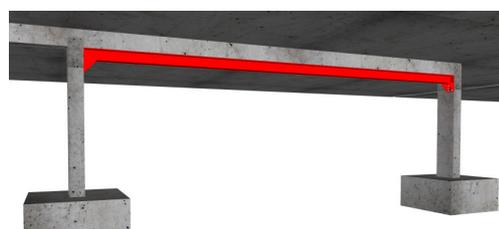
3.7 Reforço por alteração do sistema estrutural

O reforço por alteração do sistema estrutural pode ocorrer por alteração do funcionamento da estrutura ou por modificação das ligações internas ou externas da estrutura, como por exemplo, adição de novos elementos de suporte, eliminação ou criação de articulações ou juntas estruturais.

A nível de exemplo, mostram-se na Figura 8 duas técnicas alternativas de reforço de um vão. Na figura da esquerda optou-se por construir um novo pilar e a respetiva fundação, e por reforçar a viga nessa zona para momentos negativos. Na figura da direita, a opção foi a montagem de uma viga metálica para reforço da viga existente.



a) Construção de pilar incluindo a respetiva fundação e reforço da viga para momentos negativos



b) Montagem de viga metálica para reforço da viga existente

Figura 8: Técnicas alternativas de reforço por alteração estrutural de um vão (adaptado de [3])

Uma técnica muito utilizada no reforço sísmico de edifícios consiste na adição de elementos estruturais para rigidificar zonas da estrutura ou para reduzir os esforços, encaminhando as cargas para os novos elementos estruturais. Na Figura 9 a) pode observar-se a alteração estrutural de um pórtico com a introdução de uma parede de betão armado e reforço da fundação e na Figura 8 b) a utilização do mesmo conceito de rigidificação do pórtico, só que neste caso através da montagem de uma estrutura metálica e construção de uma nova fundação.



a) Construção de parede de betão armado, incluindo o reforço da fundação



b) Construção de fundação e montagem de estrutura metálica

Figura 9: Reforço por alteração estrutural tendo em vista o reforço aos sismos (adaptado de [3])

Tendo por objectivo o reforço sísmico, podem ser acoplados à estrutura existente, aparelhos especiais de dissipação da energia sísmica. Outra técnica alternativa corresponde ao isolamento sísmico na base da estrutura utilizando aparelhos especiais para o efeito.

A alteração do sistema estrutural pode ocorrer através da alteração das ligações entre diferentes corpos da mesma estrutura, ou da estrutura ao exterior, eliminando juntas estruturais existentes ou criando novas juntas, sendo desta forma possível alterar a deformabilidade da estrutura ou a distribuição dos esforços internos [3].

4. CONDICIONANTES E LIMITAÇÕES DAS SOLUÇÕES DE REFORÇO

As soluções a adoptar numa intervenção de reparação ou de reforço de uma estrutura são função de vários factores técnicos e económicos, em particular, da eficiência da intervenção, das condições e custos de realização da obra e da disponibilidade local de mão-de-obra especializada, materiais e equipamento. Outros aspectos importantes são a continuidade ou não da utilização da estrutura durante a obra e a agressividade do meio ambiente durante e após o intervenção.

O incremento da utilização dos betões especiais ou de argamassas poliméricas tem estado condicionado pelo seu elevado custo. Por esse facto a sua aplicação em estruturas tem estado limitada à reparação ou reforço de zonas localizadas dos elementos estruturais.

A resistência à corrosão, o baixo quociente peso/resistência mecânica, a sua moldabilidade, a facilidade de aplicação e a eliminação de estruturas de suporte contribuem para o uso crescente de compósitos de matriz orgânica em reforço estrutural. Considerações económicas têm feito concentrar essas aplicações em compósitos reforçados por fibras de vidro ou de carbono. Os compósitos também têm algumas desvantagens: contrariamente ao aço, que tem um comportamento elastoplástico, os compósitos em geral apresentam um comportamento elástico linear até à rotura sem patamar de cedência ou deformações plásticas o que se traduz numa redução de ductilidade. Em termos de custos a desvantagem também é grande se tivermos por base apenas o peso do material (a comparação será menos desfavorável se tivermos também em linha de conta o factor resistência). Por fim, a exposição destes materiais a altas temperaturas poderá causar degradação prematura e colapso (algumas resinas epoxídicas começam a perder as suas características entre os 45 e os 70°C) [2].

Os limites e as potencialidades oferecidas pelos diferentes materiais e técnicas devem ser avaliados em cada intervenção e a decisão final quanto ao seu uso deve ser tomada considerando factores como os de natureza mecânica, de exequibilidade da solução e de durabilidade a longo prazo.

5. INVESTIGAÇÃO

No âmbito da Engenharia Civil, a área do reforço e reparação de estruturas é uma das áreas com maior desenvolvimento em termos de investigação, devido ao estudo e desenvolvimento de novos materiais e de novas técnicas tendo em vista a melhoria de desempenho das estruturas. Em termos particulares, refira-se que a Universidade Nova de Lisboa tem vindo nos últimas 15 anos a desenvolver ativamente investigação na área do reforço de estruturas, tentando responder a algumas das questões em aberto nesta área. Os trabalhos de investigação têm sido realizados no âmbito de projetos de investigação e de teses de mestrado e de doutoramento, e têm permitido o estudo de novos materiais e do comportamento e modelação de novas técnicas de reforço: à compressão de colunas de secção circular ou de secção rectangular, de pilares e da ligação viga-pilar a ações cíclicas e alternadas, de vigas reforçadas com diferentes tipos de materiais e técnicas, de lajes reforçadas ao punçoamento, da aderência entre os compósitos de FRP e o betão, bem como do comportamento da ligação FRP-betão face a agentes ambientais agressivos [7].

6. CONCLUSÕES

Neste artigo foram apresentadas algumas das potencialidades e limitações dos materiais de reforço de estruturas. Foi dedicada especial atenção às potencialidades das diferentes tecnologias de reparação e reforço de estruturas, bem como às principais condicionantes e limitações das soluções estruturais de reforço. Por fim, foi feita uma breve referência aos trabalhos de investigação desenvolvidos neste âmbito na Universidade Nova de Lisboa.

Em termos de materiais, constata-se a existência de uma grande variedade de betões e argamassas que apresentam características optimizadas tendo em vista a melhoria do desempenho das estruturas e cuja utilização pode permitir soluções muito competitivas, em particular no reforço e reparação de estruturas de betão armado. O aparecimento dos materiais compósitos com resistência à corrosão, baixo quociente peso/resistência mecânica, moldáveis, fáceis de aplicar e com a possibilidade de permitirem a eliminação de estruturas de suporte veio contribuir para o seu uso crescente no reforço estrutural. Contudo, em qualquer dos casos, o desconhecimento das características destes materiais e das suas tecnologias de aplicação por parte da comunidade técnica, a par do seu custo, continua a ser a principal condicionante na aplicação de alguns destes materiais. Mais recentemente, o aparecimento no mercado de armaduras de aço inox a preços cada vez mais em conta poderá potenciar a sua aplicação em futuras reabilitações.

Em termos de tecnologias, o aparecimento dos compósitos de FRP vieram revolucionar a área do reforço de estruturas, sendo uma técnica especialmente eficiente no confinamento de pilares e consequentemente no aumento da sua ductilidade face à ação sísmica. No entanto, em termos de reforço à flexão a capacidade dos laminados de FRP encontra-se subaproveitada uma vez que está muito dependente da aderência do FRP ao betão.

Atendendo ao aparecimento de novos materiais e tecnologias, continuam a existir muitas questões em aberto que os investigadores tentam compreender quer ao nível do comportamento quer da sua modelação. Neste sentido, o estudo do desempenho das estruturas reforçadas à ação sísmica, a sua modelação e cálculo, bem como o comportamento e durabilidade dos materiais e das ligações continua a fazer mexer a investigação e o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias a nível mundial.

7. AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial ao Frederico Abegão pelo apoio na realização das figuras.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Helene, P. Manual para Reparo, Reforço e Protecção de Estruturas de Concreto. Editora PINI, São Paulo, 1992.
- [2] Chastre, C. (2005). Comportamento às acções cíclicas de pilares de betão armado reforçados com materiais compósitos. Tese de Doutoramento, Universidade NOVA de Lisboa.
- [3] Lúcio, V., C. Chastre (2005). Reforço e Reparação de Estruturas. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa.
- [4] fib-bulletin 14. Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures. Task-group 9.3, International Federation of Structural Concrete, 2001.
- [5] Chastre, C. (1993). Comportamento da Ligação Aço-Resina-Betão em Elementos Estruturais. MSc, Universidade Técnica de Lisboa.
- [6] Larrinaga, P., C. Chastre, J. T. San-José and L. Garmendia (2013). "Non-linear analytical model of composites based on basalt textile reinforced mortar under uniaxial tension." Composites Part B: Engineering 55: 518-527.
- [7] Chastre, C. Publicações. <http://docentes.fct.unl.pt/cmcr/publications>