Edifícios de betão armado

Reforço sísmico

Até inícios dos anos 80, a regulamentação em vigor para o dimensionamento de edifícios correntes, considerava a acção sísmica de uma forma muito simplificada. Muitos dos edifícios existentes em países do Sul da Europa possuem, assim, fraca capacidade face à acção sísmica, representando fonte de risco para a sociedade. Aqui são descritas as causas mais frequentes de dano e colapso de edifícios de betão armado quando sujeitos a sismos.

1 Introdução

Sismos recentes confirmam que muitas cidades ou regiões na Europa poderão sofrer, em futuros eventos, perdas económicas significativas e um elevado número de vítimas, devido à vulnerabilidade estrutural associada ao parque de edifícios existentes em betão armado.

Até à década de 60, a regulamentação estrutural não refere qualquer critério específico para o dimensionamento sísmico. Desde então, e apenas para alguns edifícios de maior envergadura, foram empregues no dimensionamento de edifícios metodologias e regras simplificadas para a consideração da acção sísmica, com recurso a cargas horizontais equivalentes. Em Portugal, a primeira norma que contempla o cálculo sísmico, bem como a concepção e pormenorização estrutural, na linha da actual filosofia de análise sísmica surge no início dos anos 80 (por exemplo: [25]).

Sismos recentes têm evidenciado que os edifícios de betão armado não dimensionados ao sismo e com pormenorização deficiente constituem uma das tipologias estruturais mais vulneráveis, tendo assim associado um enorme potencial risco económico e para as vidas humanas em sismos futuros.

As estruturas de betão armado têm sido a opção mais adoptada na construção de edifícios nos países do Sul da Europa. Um estudo recente [15] indica que 56% dos edifícios residenciais em Portugal foram construídos entre 1961 e 1991, e 75% tem menos de 50 anos. Em 1991, revela o mesmo estudo, 45% das famílias residiam em edifícios de betão armado. Silva-Araya et al. [27] também referem que a maioria dos edifícios nas Américas são de betão armado. Assim, a nível mundial, a predominância dos edifícios existentes em betão armado constitui uma grande fonte de risco sísmico para as populações e para a sociedade, como demonstrado no estudo conduzido pelo LNEC [4, 15].

Em trabalhos de campo de reconhecimento pós-sismo, a análise da resposta, comportamento e dano das estruturas têm evidenciado que a existência de regulamentação sísmica actual não garante o bom desempenho dos edifícios e das suas partes [7].

2 Aspectos estruturais que condicionam o adequado comportamento de edifícios de betão armado

Para se garantir o bom desempenho de uma estrutura face a um sismo é necessário garantir a qualidade quer do projecto, quer da construção. Nas zonas afectadas pelo sismo de 17 de Agosto de 1999, na Turquia, a maioria dos edifícios recentes em betão armado foram dimensionados de acordo com a actual regulamentação sísmica em vigor. No entanto,

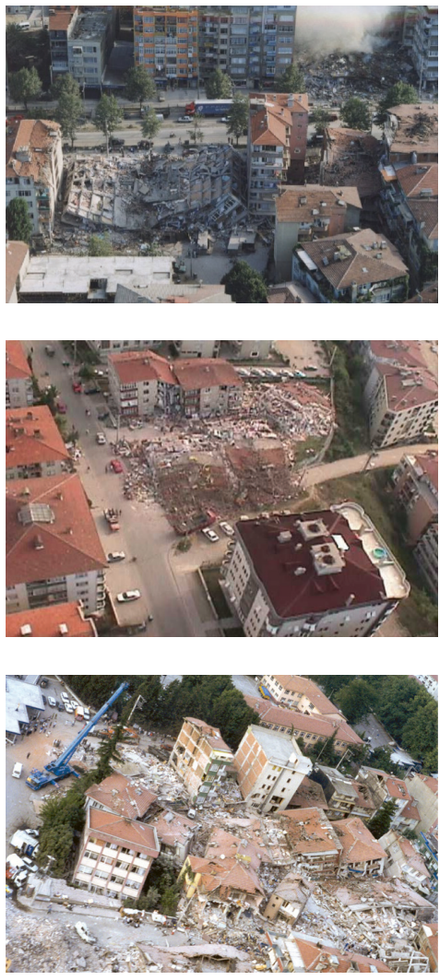

Fig. 1 - Danos provocados pelo sismo de Izmit, Kocaeli, Turquia, a 17 de Agosto de 1999

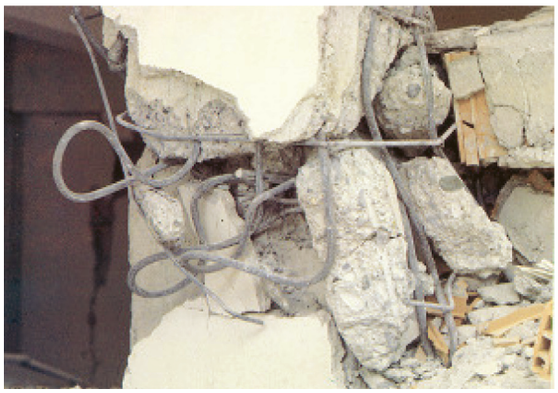

Fig. 2 - Pilares de betão armado com inadequado confinamento [26]

deficiências construtivas ditaram o colapso de um número significativo de edifícios e a instalação de danos severos em muitos outros (Fig. 1).

As causas mais frequentes de dano severo e/ou colapso de edifícios de betão armado quando sujeitos à acção sísmica surgem associadas aos seguintes efeitos/mecanismos [30, 31]: i) confinamento inadequado; ii) ductilidade inadequada; iii) mecanismos de aderência aço-betão; iv) incorrecta amarração e sobreposição da armadura principal; v) inadequada capacidade resistente ao corte de vigas e pilares; vi) inadequada capacidade resistente à flexão de vigas e pilares; vii) inadequada capacidade resistente dos nós viga-pilar; viii) mecanismo tipo viga forte-pilar fraco; ix) não consideração da influência das paredes de alvenaria na determinação da resposta sísmica dos edifícios; x) irregularidades estruturais em planta ou em altura; e xi) influência dos modos superiores.

2.1. Confinamento inadequado

O betão em compressão apresenta um modo de rotura frágil, perpendicular à direcção das tensões principais de compressão. Confinando os elementos de betão armado nas zonas mais esforçadas, com recurso a estribos, este tipo de rotura pode ser impedida, ou pelo

Fig. 3 - Vigas com comportamento não dúctil

menos retardada, melhorando-se de forma significativa a resistência e a ductilidade dos elementos estruturais. Como o princípio do confinamento e a sua importância na resposta das estruturas de betão armado não eram claramente entendidos, a maioria das estruturas existentes de betão armado apresentam deficiências a este nível e exibem um mau comportamento quando submetidas a acções sísmicas (Fig. 2).

2.2. Ductilidade inadequada

A ductilidade pode ser definida como a capacidade que um dado material, elemento estrutural ou estrutura, possui para suportar exigências de deformação em regime inelástico, sem rotura ou colapso [5]. Esta propriedade tem implicações directas na capacidade de dissipação de energia de uma estrutura, sendo fundamental para evitar, ou diminuir a probabilidade, de colapso face à ocorrência de um sismo de determinada intensidade. A maioria das estruturas de edifícios existentes de betão armado não estão dotadas de ductilidade adequada, exibindo um comportamento não-dúctil quando solicitadas por acções cíclicas, o que faz com que edifícios com estas características também contribuam para o elevado risco sísmico das nossas cidades (Fig. 3).

2.3. Mecanismos de aderência aço-betão

O desempenho das estruturas de betão armado depende, em muito, dos mecanismos de transferência de tensões entre o aço e o betão, sobretudo em situações de carregamento cíclico.

A aderência aço-betão é desenvolvida por atrito, mas sobretudo pelo imbricamento entre o betão e a armadura, que garante a necessária transferência de tensões do betão para a superfície das armaduras. A análise de estruturas de betão armado é geralmente feita assumindo uma aderência perfeita entre o betão e a armadura, o que implica, em cada ponto ou secção, uma total compatibilidade de deformações entre os dois materiais. Esta hipótese normalmente só é válida nos estados iniciais de carregamento e para valores reduzidos de tensão. Para valores significativos do carregamento, simultaneamente com a formação de eventuais fendas, ocorrem roturas na ligação aço-betão, dando origem ao escorregamento das armaduras (Fig. 4). No caso de estruturas existentes, este mecanismo de transferência de tensões é ainda mais frágil, pois para muitas destas estruturas a armadura é constituída por varões lisos [11].

2.4. Incorrecta amarração e sobreposição da armadura principal

A incorrecta pormenorização em projecto ou a má execução em obra das zonas de

Fig. 4 - Pormenorização deficiente da armadura [14]

Fig. 5 - Rotura por corte de pilares

Fig. 6 - Colapso de pilares por insuficiente capacidade em flexão [1]

amarração e de sobreposição da armadura longitudinal constituem uma deficiência frequente nas estruturas existentes de betão armado. Seguem regras básicas para a sua boa realização:

- Evitar a sobreposição e amarração em locais onde o betão tende a fissurar de modo;
- Dar especial atenção ao confinamento em locais com amarrações embebidas e sobrepostas, de forma a impedir o arranque das armaduras;
- Sempre que possível, executar a sobreposição na direcção perpendicular aos esforços principais de compressão;
- Para garantir uma melhor amarração, deve-se optar por usar um maior número de varões e com menor diâmetro.

2.5. Inadequada capacidade resistente ao corte de vigas e pilares

Muitas estruturas existentes apresentam uma capacidade resistente ao corte reduzida, por erros de projecto ou de execução (ver exemplos na Fig. 5).

Existem várias técnicas que permitem melhorar a capacidade resistente ao corte dos elementos estruturais, nomeadamente: a) adoptar uma quantidade apropriada de estribos e de cintas para assegurar a integridade do betão, melhorando o funcionamento conjunto; b) evitar a combinação de esforços de corte com esforços axiais de tracção; c) usar betões de melhor qualidade [5].

2.6. Inadequada capacidade resistente à flexão de vigas e pilares

O tipo de aço adoptado, a sua quantidade e os detalhes de pormenorização tem um papel fundamental na resposta sísmica das estruturas de betão armado [2]. Em regiões de risco sísmico moderado a elevado é crucial realizar uma pormenorização adequada da armadura de flexão (Fig. 6). O bom comportamento sísmico de elementos estruturais de betão armado sujeitos fundamentalmente à flexão pode ser conseguido:

- Limitando o esforço axial de compressão ou aumentando a área da secção transversal;
- Limitando a quantidade de armadura longitudinal. Quanto maior for a área da armadura longitudinal e a tensão de cedência do aço, maiores serão as exigências de compressão no betão;
- A capacidade em flexão pode ser melhorada com um betão de melhor qualidade, com a adopção de armadura de compressão e, fundamentalmente, com um confinamento adequado.

2.7. Inadequada capacidade resistente dos nós viga-pilar

Para o bom desempenho das estruturas de betão armado não basta garantir que as vigas e pilares tenham a resistência, rigidez e ductilidade exigidas pelas acções em causa. É necessário garantir que estes elementos estruturais estejam devidamente ligados entre si [2]. Os nós viga-pilar podem sofrer uma perda significativa de rigidez devido à insuficiente resistência ao corte e à inadequada ancoragem da armadura longitudinal das vigas e pilares que concorrem no próprio nó. Os mecanismos mais frequentes de rotura dos nós viga-pilar estão relacionados com: i) a ausência ou inadequada adopção de armadura de confinamento nos nós; e, ii) a inadequada ancoragem da armadura longitudinal dos elementos estruturais nos nós [10]. O colapso e a instalação de danos severos em edifícios de betão armado devido a deficiências associadas aos nós viga-pilar são comuns durante a ocorrência de sismos (Fig. 7).

Fig. 7 - Resistência inadequada dos nós viga-pilar [1]

Fig. 8 - Mecanismo tipo viga forte-pilar fraco

Fig. 9 - Danos em edifícios associados às paredes de alvenaria de enchimento

Fig. 10 - Mecanismos tipo pilar curto causados por: aberturas de janela, colapso parcial das paredes de alvenaria e pela ligação de patamares intermédios de escadas

2.8. Mecanismo tipo viga forte-pilar fraco

A regulamentação [6, 22] actual indica que para se obter uma resposta sísmica dúctil das estruturas, as exigências de deformação em regime não-linear devem concentrar-se ao nível das vigas, e não nos pilares. Para cada nó viga-pilar devem adoptar-se pilares com maior resistência do que as correspondentes vigas. Em sismos recentes tem-se verificado frequentemente o colapso ou dano severo de inúmeras estruturas de betão armado devido ao desenvolvimento de mecanismos tipo viga-forte pilar-fraco (veja-se o exemplo da Fig. 8).

2.9. Alteração do comportamento estrutural devido às paredes de alvenaria de enchimento

A resposta global dos edifícios face a acções verticais não é afectada significativamente com a consideração ou não dos painéis de alvenaria de enchimento. O mesmo não é verdade quando se trata de acções horizontais cíclicas, como as induzidas pelos sismos.

As paredes de alvenaria não são consideradas no dimensionamento das estruturas porticadas, podem ser consideradas como um material composto. A sua resposta a solicitações horizontais é muito complexa e dependente de inúmeros factores, tais como: propriedades dos materiais, qualidade da mão-de-obra usada na execução das alvenarias, geometria das paredes, dimensões e posição das aberturas, ligação entre o painel de alvenaria e o pórtico envolvente, rigidez e resistência relativa entre os pilares e os painéis de alvenaria, entre outros. Mesmo sendo elementos relativamente frágeis, as paredes de alvenaria de enchimento podem modificar drasticamente a resposta estrutural, atraindo forças para partes da estrutura que não foram projectadas para resistir a estas solicitações [20]. É incorrecto assumir que os painéis de alvenaria são sempre benéficos para a resposta global das estruturas de edifícios. A contribuição das paredes na resposta sísmica dos edifícios pode ser positiva ou negativa, dependendo de um elevado número de parâmetros, como anteriormente referido. Em muitos casos, os danos observados e colapso de

Fig. 11 - Edifício com pronunciada irregularidade estrutural em altura (mecanismo tipo soft-storey ao nível do rés-do-chão)

Fig. 12 - Influência dos modos superiores durante o sismo de 1985 na cidade de México [5]

Fig. 13 - Adição de paredes resistentes de betão armado

Fig. 14 - Sistemas de contraventamento metálico como reforço de edifícios existentes

Fig. 15 - Isolamento de base em edifícios

edifícios podem ser atribuídos à modificação da resposta estrutural induzida pelo efeito dos painéis de alvenaria não estrutural, tal como tem sido observado em sismos recentes (por exemplo: Izmit, na Turquia, 1999; Fig. 9).

Em muitas situações, as paredes de alvenaria desenvolvem-se apenas até certa altura dos andares, deixando uma parte do pilar exposta, o que tradicionalmente produz um mecanismo de comportamento tipo short-column. Este tipo de mecanismo não é geralmente considerado no dimensionamento das estruturas (Fig. 10).

O desenvolvimento de macro-modelos numéricos não-lineares globais e simplificados, como o proposto em [23, 24], associado ao aumento das capacidades computacionais, torna viável a consideração da influência dos painéis de alvenaria no dimensionamento e verificação de segurança de estruturas de edifícios sujeitas a cargas horizontais, como as induzidas pelos sismos.

2.10. Irregularidades estruturais (em planta ou em altura)

A correcta concepção de uma estrutura é essencial para o seu bom comportamento face a qualquer tipo de solicitação, quer seja ela estática ou dinâmica. As variações bruscas de rigidez, resistência ou massa da estrutura e/ou propriedades dos elementos de um edifício, quer em planta, quer em altura (ver exemplo representado na Fig. 11), podem resultar em distribuições de forças horizontais e deformações muito diferentes daquelas que surgem em estruturas regulares [18]. Uma irregularidade estrutural muito comum em edifícios existentes surge ao nível dos pisos inferiores, resultante da ausência de paredes de alvenaria para instalação de estacionamentos, lojas ou por opção arquitectónica. Outra descontinuidade frequente resulta da redução de secção dos pilares e paredes resistentes em altura, ou até da alteração de dimensões de elementos não estruturais. Estas são causas frequentes de colapso de edifícios com alvenaria de enchimento, produzindo os chamados mecanismos tipo soft-storey.

2.11. Influência dos modos superiores

Muitas estruturas existentes foram dimensionadas com recurso a procedimentos simplificados, baseados na representação da sua resposta sísmica por um único modo equivalente, que nem sempre representa adequadamente a resposta sísmica real. Refira-se o comportamento deficiente de inúmeros edifícios durante a ocorrência do sismo de 1985 na cidade do México (Fig. 12).

3 Ténicas de reforço sísmico de edifícios de betão armado

O comportamento eficiente dos edifícios face à acção sísmica pode ser conseguido com um adequado sistema resistente, com distribuição apropriada de rigidez e massa e com adequada pormenorização e ligação dos seus componentes estruturais e não estruturais.

As estratégias de reforço sísmico das estruturas podem ser classificadas em dois grandes grupos: a) melhoramento do comportamento ou reforço do sistema estrutural global; e, b) reforço de elementos estruturais isolados.

Como é salientado por Fardis [9], qualquer intervenção de reforço não deverá prejudicar a capacidade resistente e a segurança de nenhum elemento estrutural em nenhuma característica. Assim, no dimensionamento de uma solução de reforço, o projectista deverá garantir que: a) o aumento da capacidade resistente de um elemento em flexão não o torna frágil em corte; b) o reforço das vigas não transfere as rótulas plásticas para os pilares; c) a capacidade resistente dos nós viga/pilar; d) a continuidade do "caminho das forças", garantindo a transferência em segurança das forças de inércia dos elementos onde estas surgem, para os elementos do sistema resistente que a estes se ligam, e até às fundações; e) a segurança das ligações entre elementos existentes na estrutural original e

elementos de reforço; f) a estrutura reforçada não propicie a concentração de danos numa zona localizada não preparada para tal.

3.1. Técnicas de reforço global do sistema estrutural

A resposta inadequada dos edifícios face acções sísmicas é, em muitos casos, devido à presença de irregularidades estruturais em altura em termos de massa, rigidez ou resistência, tais como soft ou weak-storeys, e irregularidades estruturais em planta, que tendem a induzir a torção global dos edifícios. Estratégias de reforço eficientes e económicas para a correcção ou redução destas irregularidades estruturais poderão passar por: a) demolição parcial do edifício; b) adição de sistemas de contraventamento ou paredes resistentes de betão armado no soft/weak-storey, para correcção da distribuição de rigidez e resistência nos pisos; c) correcção da distribuição de massa nos pisos; e, d) introdução de juntas de dilatação, transformando o edifício irregular em várias estruturas regulares.

Nos anos 90 verificou-se um aumento significativo do investimento no desenvolvimento e na utilização de sistemas de dissipação de energia para a protecção de edifícios face aos sismos.

Outras técnicas baseadas em sistemas especiais de protecção sísmica, como controlo activo, dispositivos híbridos activo/passivo de dissipação de energia, tuned mass dampers e tuned liquid dampers, poderão também revelar-se, em certos casos, soluções eficientes e económicas de reforço sísmico de edifícios existentes de betão armado.

3.1.1. Adição de paredes resistentes de betão armado

Uma das técnicas mais usadas no reforço de edifícios com deficiente comportamento sísmico baseia-se na aplicação de novas paredes resistentes de betão armado, adequadamente distribuídas na estrutura (Fig. 13) [8, 9, 21]. As novas paredes protegem os elementos existentes, limitando a deformação lateral dos pisos. Estas paredes resistentes não só aumentam a rigidez lateral significativamente, como também, normalmente, aliviam os pórticos originais das forças sísmicas. Com esta solução e reforço, as novas paredes resistentes recebem a maior parte das cargas laterais. Se as paredes resistentes tiverem rigidez e resistência adequada para suportar a totalidade das cargas laterais, as debilidades da estrutura original, normalmente, não conduzirão a um mau comportamento. Porém, a adição de novas paredes resistentes diminuirá o período natural da estrutura, o que poderá aumentar o nível de solicitação sísmica.

No reforço de estruturas porticadas, esta técnica poderá passar pelo preenchimento total ou parcial de alguns vãos dos pórticos originais. A adopção da técnica de reforço por adição de paredes resistentes poderá implicar o reforço do sistema de fundações para resistir a maiores acções sísmicas e ao peso próprio da estrutura reforçada. Os trabalhos de reforço das fundações são, normalmente,

Fig. 16 - Reforço de um pilar rectangular com encamisamento metálico elíptico e grout de betão

muito dispendiosos e tecnicamente exigentes, tornando-se assim, por vezes, impraticável, particularmente para edifícios existentes com fundações deficientes.

3.1.2. Contraventamentos metálicos

O reforço global do sistema estrutural pode também ser realizado com contraventamentos metálicos (Fig. 14). Se o objectivo do reforço é melhorar a rigidez da estrutura, o reforço com base em sistemas de contraventamento não é tão eficiente como o reforço com recurso às paredes resistentes. A capacidade de reforçar edifícios em rigidez com contraventamentos é algo limitada, pois a mobilização do funcionamento dos contraventamentos exige a instalação de níveis de deformação lateral consideráveis.

Aos sistemas de contraventamento metálico podem ser acoplados dispositivos de dissipação de energia ou shear-links, aumentando significativamente a capacidade de dissipação de energia e amortecimento do sistema estrutural [16, 19]. No sismo de Michoacán, no México, em 1985, inúmeros edifícios de betão armado previamente reforçados com contraventamentos metálicos tiveram um bom comportamento, e praticamente não se verificou nenhum dano estrutural nestes edifícios reforçados [3, 12, 13].

3.1.3. Isolamento de base

O recurso a sistemas de isolamento de base (Fig. 15), incluindo dispositivos de dissipação de energia, é uma medida muito eficaz para a protecção sísmica das estruturas. As três propriedades básicas que um sistema de isolamento sísmico para edifícios deve respeitar são [10]: a) flexibilidade horizontal para aumentar o período da estrutura e reduzir o valor espectral da solicitação; b) dissipação de energia (amortecimento) para reduzir os deslocamentos e deformações; e, c) rigidez suficiente para pequenos deslocamentos de forma a verificar os estados limites para acções de serviço.

Em condições favoráveis, o isolamento de base poderá reduzir as exigências de drift nas estruturas correntes de um factor que poderá variar entre 2 e 5, em relação ao equivalente numa estrutura não isolada.

O isolamento sísmico é uma técnica muito efectiva no reforço de edifícios muito rígidos, baixos e com massa considerável. Contudo, é uma solução dispendiosa e a sua aplicação em edifícios correntes não é competitiva [21].

Fig. 17 - Reforço de elementos de betão armado por encamisamento com mantas de fibra de carbono

Fig. 18 - Aplicação de betão projectado sobre pilar e parede

3.1.4. Sistemas passivos de dissipação de energia

Nas técnicas de reforço baseadas nos sistemas passivos de dissipação de energia, o melhoramento do desempenho estrutural é garantido pelo aumento da capacidade de dissipação de energia do edifício. Em condições favoráveis, os sistemas passivos de dissipação de energia poderão reduzir as exigências de deformação entre pisos de 2 a 3 vezes, se o sistema de reforço não aumentar a rigidez da estrutura.

3.1.5. Redução de massa nas construções

As forças e deformações induzidas nos elementos estruturais pela acção sísmica são controladas pela distribuição de rigidez e massa na estrutura. Assim, a redução de massa de um edifício pode ser considerada como uma técnica económica e eficiente no melhoramento do comportamento estrutural através de: a) demolição dos pisos elevados e penthouses; b) substituição de paredes divisórias e acabamentos pesados; e, c) remoção de equipamentos pesados.

3.2. Técnicas de intervenção ao nível dos elementos estruturais

Edifícios existentes possuem características globais de resistência e rigidez apropriadas. Em muitas situações, alguns dos seus componentes estruturais não tem uma adequada resistência, rigidez ou capacidade de deformação, para satisfazer os objectivos de desempenho impostos à estrutura. Modificações locais ao nível dos componentes com deficiências podem ser realizadas, mantendo a configuração básica do sistema resistente às acções horizontais.

3.2.1. Injecção de resinas epoxy

A injecção de resinas é a técnica mais amplamente utilizada na reparação de elemen-

tos de betão armado com fissuras de baixa e média abertura.

3.2.2. Encamisamento

A técnica de reforço mais comum para melhorar o desempenho de elementos de betão armado (pilares, paredes, vigas ou nós viga-pilar) é o encamisamento. Esta técnica é particularmente eficiente na correcção de deficiências em resistência ao corte e à flexão e/ou capacidade de deformação, bem como na correcção de elementos estruturais com insuficiente comprimento de sobreposição da armadura longitudinal, nas zonas das emendas.

Encamisamento com betão armado: Para elementos severamente danificados, ou com resistência insuficiente, o encamisamento em betão armado pode ser usado para melhorar a sua rigidez, resistência e ductilidade. Com excepção da necessidade de soldar ligadores metálicos entre a armadura existente e a armadura a aplicar no encamisamento, esta técnica não requer uma particular especialização técnica na sua aplicação.

Encamisamento metálico: Podem ser usados para melhorar o confinamento, a resistência ao corte ou à flexão (Fig. 16). Deve salientar-se que o reforço com elementos metálicos colados aos elementos estruturais existentes de betão armado obriga a cuidados especiais na sua protecção contra o fogo, e, por outro lado, o comportamento a longo prazo do material de ligação não é totalmente conhecido [8].

Encamisamento com recurso a fibras de carbono: O reforço de elementos de betão armado com recurso a fibras de carbono tem encontrado recentemente inúmeras aplicações (Fig. 17) [17, 29]. Destacam-se o reforço e confinamento de pilares nas suas zonas críticas, e o reforço em flexão de vigas e lajes. A eficiência do reforço de pilares com fibras de carbono depende, essencialmente, da capacidade de se aumentar a sua e a sua resistência.

3.2.3. Betão projectado

Esta técnica é frequentemente adoptada em combinação com o encamisamento em betão armado, no reforço dos pilares e paredes (Fig. 18). Consiste na projecção de betão, com elevado conteúdo em cimento e agregados finos, nas superfícies dos elementos danificados ou a reforçar.

4 Comentários Finais

Do trabalho de investigação desenvolvido nos últimos anos no domínio da avaliação, reabilitação e reforço sísmico dos edifícios existentes de betão armado podem-se, em linhas gerias, retirar as seguintes conclusões:

- Uma grande parte dos edifícios existentes são de betão armado, e não foram dimensionados à acção sísmica;
- É evidente a elevada vulnerabilidade destes edifícios existentes, dimensionadas e/ou construídas sem características sismo-resistentes, contribuindo como uma importante fonte de risco para o nosso património edificado e para a nossa sociedade;
- Soluções de reforço adequadamente seleccionadas podem reduzir consideravelmente a vulnerabilidade associada a estes edifícios, e consequentemente o risco, para níveis aceitáveis (de acordo com a filosofia da actual regulamentação em vigor e em desenvolvimento);
- As ferramentas disponíveis (resultados de ensaios experimentais, modelos numéricos e regulamentação internacional específica para a avaliação e reforço das estruturas) são instrumentos fundamentais, que podem e devem ser utilizados como apoio às intervenções de reforço sísmico dos edifícios existentes;
- Num processo de reforço de um edifício é necessário fazer uma prévia avaliação rigorosa do estado de patologia e das deficiências estruturais, bem como um projecto cuidado da intervenção, de forma a garantir a efectiva redução da vulnerabilidade sísmica destas construções existentes.

Humberto Varum
Professor auxiliar da Universidade de Aveiro
Departamento de Engenharia Civil

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Aschheim, M. - The Izmit (Kocaeli) earthquake of 17th August 1999: Preliminary observations - EERI Reconnaissance Team - Mid-America Earthquake Center - University of Illinois at Urbana-Champaign, 2001.
[2] Bertero, V.V. (1982) - State-of-the-art in seismic resistant construction of structures - 3rd International Earthquake Microzonation Conference, University of Washington, Seattle, Washington, Vol. II, pp. 767-805.
[3] Calderón, E.V. - Some lessons from the March 14, 1979 earthquake in Mexico City - 7th WCEE, 1980, Istanbul, Turkey, Vol. 4, pp. 545-552.
[4] Carvalho, E.C.; Coelho, E.; Campos-Costa, A.; Sousa, M.L.; Candeias, P.; Carvalho, A.; Massena, B.; Castro, S. - Seismic risk mitigation in Portugal - Workshop on Mitigation of Seismic Risk: Support to Recently Affected European Countries, JRC, Belgirate, Italy, November 2000.
[5] EASY - (http://www.ikpir.fgg.uni-lj.si/easy/tour.htm) - Earthquake engineering slide information system, 1997.
[6] EC8-Part 3 - Strengthening and repair of buildings, CEN, Brussels, 2003.
[7] EQE - (http://www.eqe.com/revamp/izmitreport/index.html). Report of the M7.4 Izmit earthquake, Turkey, 17th August 1999.
[8] Ersoy, U. - Seismic rehabilitation - Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering: Repair & Strengthening of Existing Buildings - Istanbul, 1998.
[9] Fardis, M.N. - Seismic assessment and retrofit of RC structures - Bisch, Ph.; Labbé, P.; Pecker, A. (eds.), 11th ECEE, Paris, France, Invited lecture, ISBN 90 5809 027 2, A.A. Balkema, Rotterdam, 6th-11th September 1998.
[10] FEMA-274 - NHERP Commentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buildings - Federal Emergency Management Agency, Applied Technology Council, Washington, D.C., October 1997.
[11] Fernandes, C.; Varum, H.; Costa, A. - Concrete-steel bond characterization on RC structural elements built with smooth plain reinforcement bars - 2nd Symposium on Connections between Steel and Concrete, Ed. R. Eligehausen, W. Fuchs, G. Genesio, P. Grosser - ISBN 978-3-89821-807-8, pp. 1171-1180 - Stuttgart, Germany, 4-7 September 2007.
[12] Foutch, D.A.; Hjelmstad, K.D.; Calderón, E.V. - Seismic retrofit of a RC building: A case study - 9th WCEE, Tokyo-Kyoto, Japan, Vol. 7, pp. 451-456, 1988.
[13] Jara, J.M.; Ayala, A.G.; Miranda, E. - Seismic behaviour of structures with energy dissipating systems in Mexico - 12th WCEE, Auckland, New Zealand, January 2000.
[14] KOERI - Izmit earthquake (Turkey) - Kandilli Observatory & Earthquake Research Institute, Boğaziçi University, Istanbul - (http://www.eas.slu.edu/Earthquake_Center/TURKEY/), 1999.
[15] LNEC - Levantamento do parque habitacional de Portugal continental para o estudo da sua vulnerabilidade sísmica com base nos CENSOS-91 - Relatório 260/00 - C3ES, LNEC, Lisbon, October, 2000.
[16] Martinez-Romero, E. - Experiences on the use of supplementary energy dissipators on building structures - Earthquake Spectra, Vol. 9, No. 3, pp. 581-626, 1993.
[17] Meier, U. - Carbon fiber-reinforced polymers: Modern materials in bridge engineering - Structural Engineering International, IABSE, Vol. 1, pp. 7-12, 1992.
[18] Moehle, J.P.; Mahin, S.A. - Observations on the behaviour of reinforced concrete buildings during earthquakes - ACI publication SP-127, Earthquake-Resistant Concrete Structures: Inelastic Response and Design - Ghosh, S.K. (ed.), 1991.
[19] Okada, T.; Nakano, Y.; Kumazawa, F. - Experimental study of 1/10 scaled RC frames retrofitted with steel framed Y-shaped bracing system - International Symposium on Earthquake Disaster Prevention, Mexico City, pp. 200-209, 1992.
[20] Paulay, T.; Priestley, M.J.N. - Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings - John Wiley & Sons, Inc., ISBN 0-471-54915-0, 1992.
[21] Pinho, R. - Selective retrofitting of RC structures in seismic areas, PhD Thesis, Imperial College, London, U.K., 2000.
[22] Pinto, A.V. - Introduction to the European research projects in support of Eurocode 8 - Proceedings of the 11th European Conference on Earthquake Engineering, Paris, France, Rotterdam A.A. Balkema, 1998.
[23] Rodrigues, H. - Desenvolvimento e calibração de modelos numéricos para a análise sísmica de edifícios - Dissertação de mestrado, FEUP, 2005.
[24] Rodrigues, H.; Varum, H.; Costa, A. - Numeric model to account for the influence of infill masonry in the RC Structures Behaviour - Congreso Métodos Numéricos en Ingeniería, Granada, Espanha, 2005.
[25] RSA - Regulamento de segurança e acções para estruturas de edifícios e pontes - Decreto-Lei N.º 235/83, Imprensa Nacional, Casa da Moeda, Lisbon, Portugal, 1983.
[26] Saatcioglu, M.; Gardner, N.J.; Ghobarah, A. - The Kocaeli earthquake of August 17th, 1999 in Turkey (http://www.genie.uottawa.ca/profs/murat/KocaeliEQ.html), 1999.
[27] Silva-Araya, W.F.; Rincón, O.T.; O'Neill, L.P. (eds.) - Repair and rehabilitation of reinforced concrete structures: The state-of-the-art - International Seminar, Workshop and Exhibition, Maracaibo, Venezuela, April 28th-May 1st 1999, Published by ASCE.
[28] Sugano, S. - Seismic rehabilitation of existing concrete buildings in Japan - 12th WCEE, Auckland, New Zealand, January 2000.
[29] Triantafillou, T.C. - Strengthening of structures with advanced FRP's - Progress in Structural Engineering and Materials, Vol. 1, No. 2, pp. 126-134 - Construction Research Communications Limited, ISSN 1365-0556, 1998.
[30] Varum, H. - Seismic assessment, strengthening and repair of existing buildings, Tese de doutoramento, Universidade de Aveiro, 2003, 550 pp.
[31] Varum, H.; Costa, A.G.; Pinto, A.V. - Reforço sísmico do património edificado em betão armado - 2º Seminário "A Intervenção no Património. Práticas de Conservação e Reabilitação", Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 12 a 14 de Outubro de 2005.