

4º Encontro Nacional sobre Sismologia e Engenharia Sísmica, EST- Faro, Outubro 1999



Ana Carreira  
Eng<sup>a</sup> Civil  
Aluna do Mestrado  
em Estruturas,IST



Augusto Gomes  
Professor Auxiliar  
Departamento de  
Eng<sup>a</sup> Civil do IST

## Concepção do Reforço sísmico de Edifícios de Betão Armado

### *Resumo*

Neste artigo apresentam-se algumas técnicas de reforço e os critérios de avaliação da resistência para a acção dos sismos de edifícios existentes com estrutura em betão armado. Exemplifica-se a sua aplicação a um caso real, para o qual são ensaiadas várias soluções de reforço. Apresentam-se as principais conclusões em termos de melhoria do comportamento sísmico e refere-se, também, as estimativas de custos associadas às intervenções proposta.

### *Abstract*

In this paper some strengthening techniques and the criteria's to access the seismic structural strength capacity of existing buildings with reinforced concrete structures are presented. A real building is used as a case study to compare the efficiency and the costs of the different strengthening techniques and conceptions.

## **INTRODUÇÃO**

Nas últimas décadas, tem havido uma actividade bastante intensa de investigação no domínio das estruturas, materiais e sismologia, a qual se tem traduzido numa significativa evolução das normas regulamentares para as acções sísmicas. Neste contexto, as associações de defesa civil defendem a ideia de verificar e, se necessário, reforçar todo o parque de edifícios existente, por forma a garantir a segurança prescrita na nova regulamentação, em particular no que se refere à acção dos sismos.

O projecto de reforço de um edifício para a acção sísmica deve ser sempre encarado como um reforço global de toda a estrutura, pois só assim é possível garantir um melhor comportamento sísmico da mesma. Com o reforço isolado de alguns elementos numa determinada zona do edifício, surgem concentrações de esforços nas zonas de transição que por vezes provocam um agravamento do comportamento sísmico global do edifício. A concepção do reforço deve ter como objectivo dotar todos os elementos resistentes de ductilidade suficiente para absorver a acção sísmica, assim como aumentar, sempre que possível, a hiperestaticidade da estrutura. Devem ainda, ter-se cuidados especiais nas ligações entre os materiais existentes e os materiais novos por forma a garantir um funcionamento monolítico do elemento reforçado mesmo sob acções cíclicas.

## **TÉCNICAS DE REFORÇO DE EDIFÍCIOS PARA A ACÇÃO SÍSMICA**

As técnicas de reforço de edifícios utilizadas para aumentar a sua capacidade resistente à acção sísmica podem resumir-se em duas situações: introdução de novos elementos resistentes e reforço dos elementos estruturais existentes.

Na escolha de uma determinada solução de reforço devem ser tidos simultaneamente em consideração os seguintes aspectos: o comportamento sísmico da estrutura em particular a resistência e ductilidade, os custos directos associados à intervenção e os custos funcionais que resultam da utilização do edifício estar parcialmente ou mesmo totalmente impedida durante a execução dos trabalhos de reforço.

### **a) Introdução de Novos Elementos Resistentes**

O reforço de um edifício através da introdução de novos elementos resistentes é especialmente adequado quando a distribuição dos elementos estruturais existentes não cumpre as regras de boa concepção sísmica ou, quando existe insuficiência no número de elementos resistentes verticais.

Os elementos de reforço devem ser colocados de forma a que a nova estrutura cumpra os princípios de uma boa concepção sísmica, de que é exemplo a simetria e a regularidade, quer em termos de massa quer em termos de rigidez, por forma a minimizar os efeitos de torção. A definição das dimensões dos novos elementos deve ser realizada tendo em consideração o objectivo de que as rótulas plásticas devem formar-se preferencialmente nos elementos horizontais.

Esta técnica de reforço permite uma melhoria significativa do comportamento da estrutura face às acções horizontais, uma vez que permite reduzir drasticamente os esforços nos elementos existentes que por transmissão destes aos novos elementos estruturais.

Os elementos resistentes de reforço podem ser:

- Pórticos de betão armado

A utilização de elementos de reforço em pórtico é vantajosa sob o ponto de vista do comportamento sísmico, pois permite uniformizar a distribuição de resistência e são elementos com boas características de ductilidade. Em relação às fundações, os pórticos também são aconselháveis na medida que não acarretam qualquer tipo de problema na sua concepção e dimensionamento. A sua maior desvantagem reside no facto de obrigar a uma intervenção num maior número de zonas da estrutura, dificultando o seu funcionamento.

- Paredes de betão armado

Em relação aos pórticos estes elementos apresentam como vantagens a redução da deformabilidade horizontal do edifício e o facto de se conseguir a mesma resistência com um menor número de novos elementos. Os elementos em parede também são vantajosos quando colocados na periferia do edifício pois aumentam a rigidez e resistência à torção. O problema da introdução destes elementos está na concepção, dimensionamento e execução das suas fundações, sobretudo quando o edifício não possui caves.

- Elementos metálicos

O reforço com elementos resistentes metálicos é constituído, normalmente, por dois ou mais montantes ligados entre si por travessas, colocadas ao nível dos pisos e contraventados por elementos metálicos diagonais em forma de cruz de Santo André. Uma outra solução é considerar os pórticos de betão existentes em substituição dos montantes e das travessas e colocar contraventamentos diagonais com elementos metálicos. Esta solução tem como vantagens a rapidez de execução e o facto de não provocar grande aumento de massa da estrutura, conferindo-lhe uma elevada ductilidade e resistência

horizontal. O problema reside, como para as paredes de betão, nas fundações destes elementos o qual se torna mais delicado quando o edifício não possui caves.

#### **b) Reforço dos Elementos Existentes**

O recurso à solução de reforço dos elementos resistentes é adequado quando a estrutura apresenta uma boa concepção sísmica tanto em planta como em alçado (simetria, uniformidade e regularidade em planta e em altura).

As técnicas de reforço de elementos existentes de betão armado mais utilizadas são:

- Reforço por encamisamento;
- Reforço por adição de chapas ou perfis metálicos;
- Reforço por adição de fibras de carbono (de aplicação muito recente).

### **CASO DE ESTUDO**

Para se efectuar um estudo comparativo de diversas soluções de reforço para a acção sísmica utilizou-se um exemplo real de um edifício existente com estrutura em betão armado. Foram discutidas e estudadas as possíveis técnicas de avaliação da capacidade resistente de um edifício existente face à acção sísmica. Tendo-se constatado que o edifício existente não verificava a segurança regulamentar, foi efectuada uma análise de um conjunto de soluções de reforço, estabelecendo-se a comparação entre as diversas respostas obtidas em termos de frequência, esforços e deslocamentos horizontais.

Neste estudo, em que o objectivo fundamental é a melhoria do comportamento sísmico das estruturas, foi tida também em consideração a vertente económica de cada solução analisada.

#### **Descrição do edifício existente**

O edifício utilizado como exemplo de aplicação foi construído em 1958 em Faro, tem 4 pisos elevados e é destinado a habitação. A estrutura é de betão armado com um sistema estrutural em pórtico. As lajes são maciças de 0.13 m de espessura nos pisos intermédios e de 0.12 m de espessura na cobertura. As vigas apresentam secções transversais compreendidas entre 0.25mx0.25m e 0.25mx0.65m e estão apoiadas em pilares com comprimentos de 3.6 m entre as fundações e a primeira laje de 2.8 m entre as restantes lajes. Estes por sua vez assentam em fundações directas constituídas por sapatas.

Os materiais utilizados na construção correspondem ao betão B20 e ao aço A235. Na figura 1 apresenta-se uma planta da estrutura do edifício e na figura 2 resumem-se as dimensões das secções transversais dos elementos estruturais.

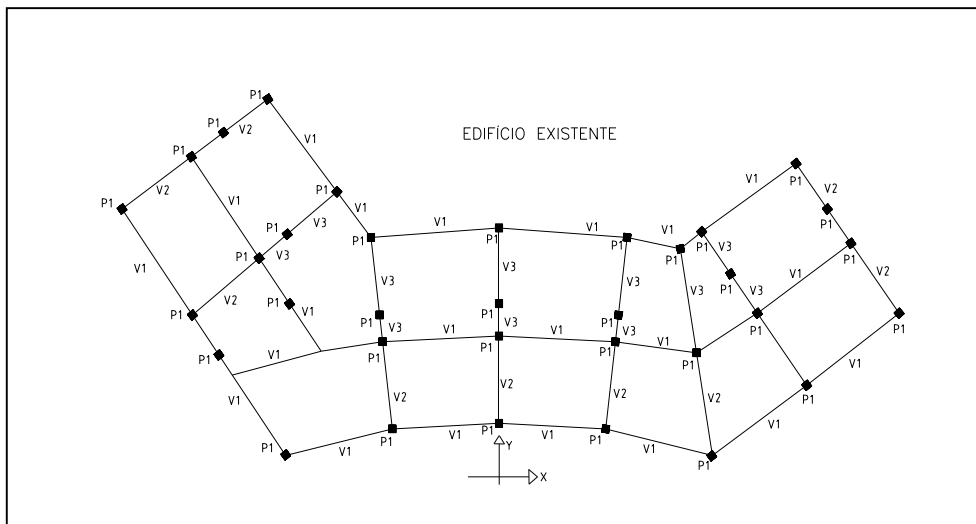


Fig.1: Planta estrutural do edifício utilizado como exemplo.

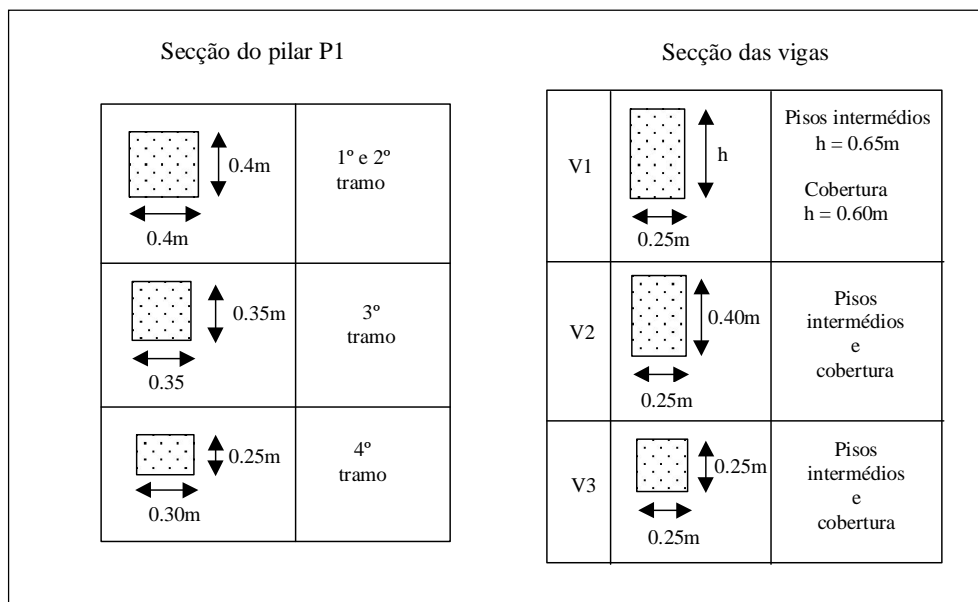


Fig.2: Secções transversais dos pilares e das vigas.

## Avaliação da capacidade resistente do edifício existente

A metodologia adoptada para a avaliação do nível de segurança de edifícios existentes face à acção sísmica consiste na comparação, em termos de força de corte basal, dos valores actuantes com as capacidades resistentes disponíveis.

Os esforços actuantes, causados pela acção sísmica regulamentar, são determinados através de uma análise dinâmica de um modelo tridimensional da estrutura tendo-se admitido um comportamento linear. A acção sísmica é quantificada através dos espectros de resposta regulamentares. A partir dos esforços assim obtidos determinam-se as resultantes das forças de corte dos elementos verticais ao nível do piso térreo em cada uma das direcções ortogonais que constituem as forças de corte basal.

A capacidade resistente de corte basal é quantificada a partir da resistência dos elementos existentes com base na geometria, nas quantidades de armaduras efectivas das secções e nas características resistentes dos materiais podendo ser considerados valores muito próximos das reais no caso de se realizarem ensaios de avaliação.

A comparação das forças de corte basal actuantes com as capacidades resistentes permitem definir em termos de percentagem e em cada uma das direcções ortogonais a resistência da estrutura em relação à acção sísmica regulamentar. Em face deste resultado é possível decidir sobre a necessidade ou não de proceder ao reforço da estrutura.

Na tabela 1 apresentam-se os resultado obtidos através da aplicação do procedimento acima referido à estrutura em estudo. É de salientar que os valores apresentados são referentes à acção sísmica tipo 2 que é a mais gravosa para a estrutura estudada.

Combinação com acção sísmica tipo 2		
	Direcção x	Direcção y
$V_{sd}$ (KN)	2038	2453
$V_{Rd}$ (KN)	1395	1395
Resistência ao sismo (%)	68%	57%

Tab.1: Resistência global da estrutura existente à acção sísmica de projecto.

Verifica-se que a resistência do edifício à acção sísmica é inferior à regulamentar (68% segundo a direcção X e 57% segundo a direcção Y). A avaliação da capacidade resistente do edifício constituiu a primeira fase do projecto de reforço do mesmo.

## **Reforço do edifício existente**

Neste parágrafo são apresentados várias soluções de reforço, para o edifício existente. Com o objectivo de definir a solução mais eficaz é realizada uma análise comparativa em termos de frequências, deslocamentos e esforços das várias soluções de reforço. Neste estudo, ter-se-à também em conta a solução mais benéfica em termos de custos directos e de utilização do edifício.

As intervenções de reforço propostas para esta análise comparativa são três: introdução de paredes de betão armado, introdução de elementos metálicos e encamisamento dos pilares existentes. O procedimento adoptado para a concepção de cada uma das intervenções de reforço envolveu um processo iterativo, com o objectivo de se atingirem níveis de resistência à acção sísmica da ordem dos 100% (iguais ao exigido regulamentarmente) em todas as soluções de reforço.

## **Descrição das soluções de reforço**

- Reforço por introdução de paredes de betão armado

Esta intervenção de reforço consiste na introdução de paredes de betão armado, com 0.20 m de espessura, nas empenas do edifício. A introdução dos novos elementos resistentes provoca uma redistribuição de esforços na estrutura, reduzindo significativamente o nível dos esforços nos pilares existentes.

Na concepção desta solução houve a preocupação de distribuir os elementos de reforço de modo que a estrutura apresente um bom comportamento face à acção sísmica, isto é, que se cumpram as regras associadas a uma boa concepção sísmica. Desta forma, as paredes foram colocadas simetricamente em planta e na periferia do edifício, de modo a diminuir os efeitos de torção causados pela acção sísmica.

Na fig.3 apresenta-se em planta, uma representação esquemática da estrutura reforçada com a introdução de paredes de betão armado.

- Reforço por introdução de elementos metálicos

Esta solução de reforço consiste na introdução de contraventamentos diagonais constituídos por elementos metálicos em três pórticos de betão existentes (perfis LNP80.8). Estes elementos de reforço vão absorver parte dos esforços sísmicos diminuindo, desta forma, os esforços nos elementos verticais existentes.

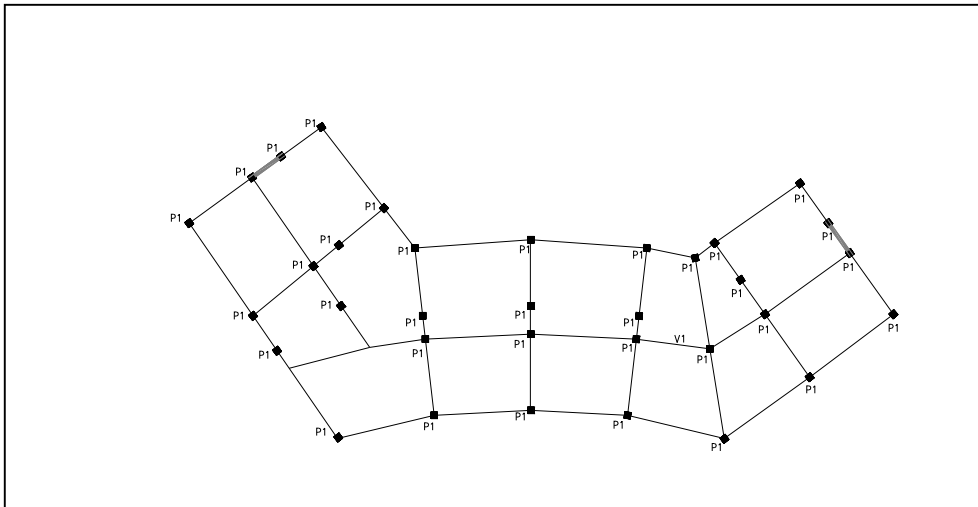


Fig.3:Edifício reforçado com introdução de paredes de betão

Analogamente ao referido na intervenção de reforço anterior, ao conceber este projecto procurou-se satisfazer os requisitos necessários para um bom comportamento sísmico. Desta forma, dois dos pórticos contraventados foram colocados na periferia do edifício, garantindo assim, um melhor comportamento da estrutura à torção. Por motivos arquitectónicos não foi possível a colocação do terceiro contraventamento na periferia do edifício, o que seria favorável sob o ponto de vista de efeitos da torção.

Na figura 4 apresenta-se esquematicamente a planta desta solução de reforço, com a localização dos novos elementos resistentes.

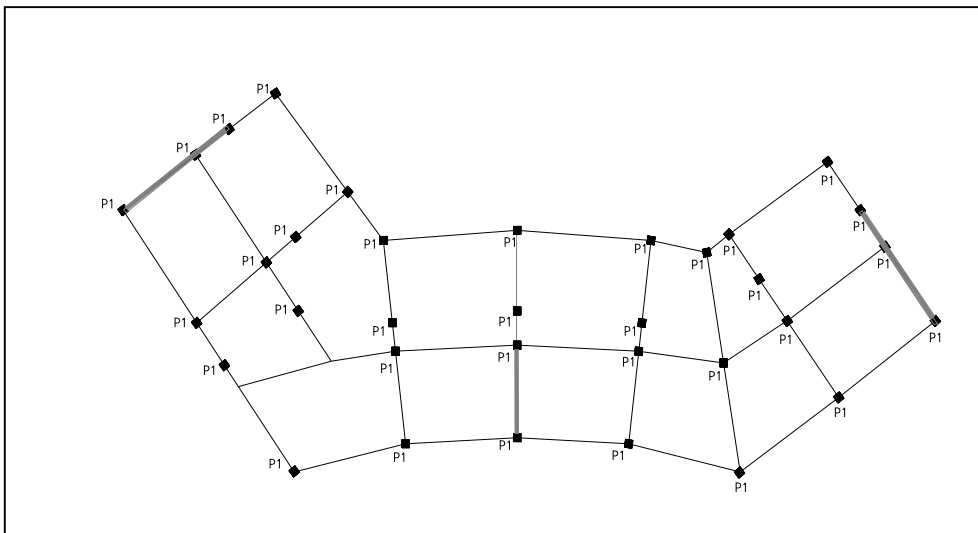


Fig.4: Edifício reforçado com introdução de elementos metálicos



- Reforço por encamisamento dos pilares existentes

Esta solução de reforço consiste em aumentar as secções de alguns dos pilares existentes através da técnica de encamisamento. Desta forma provoca-se uma redistribuição de esforços na estrutura, passando os elementos reforçados a absorver grande parte dos mesmos.

Os pilares reforçados passam a ter secções de 0.80m x 0.40m (fundações ao piso 1), 0.75m x 0.35m (piso 1 ao piso 3) e 0.65m x 0.25m (piso 3 à cobertura), as quais foram definidas tendo em conta a arquitectura do edifício.

Na fig. 4 apresenta-se esquematicamente a planta estrutural deste projecto de reforço, onde se indicam os elementos reforçados.

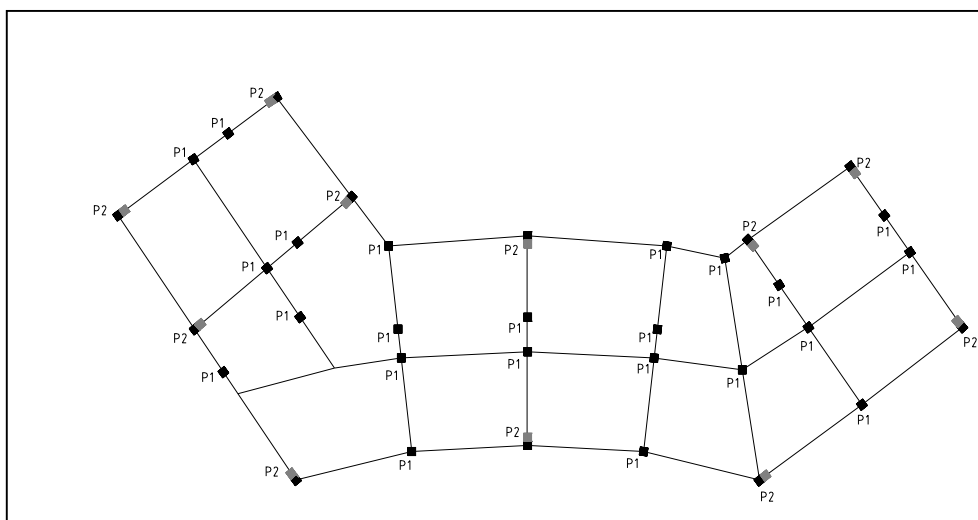


Fig. 5: Reforço por encamisamento dos pilares existentes.

### **Análise dos resultados obtidos**

Na tabela 2 resumem-se os resultados de uma análise comparativa das consequências no comportamento estrutural das soluções de reforço descritas na secção anterior. Por observação da tabela 2 verifica-se que todas as soluções de reforço estudadas apresentam uma resistência para a acção sísmica superior à exigida regulamentarmente. Consta-se

que a solução de reforço com introdução de paredes de betão para além de ser a que envolve um menor número de zonas de intervenção da estrutura, é a que acarreta menores custos.

	Estrutura existente	Encamisamento dos pilares existentes	Introdução de elementos metálicos	Introdução de paredes de betão
Frequência própria	1,32 HZ	1,61 HZ	1,58 HZ	1,68 HZ
Resistência da estrutura ao sismo	Dir x:68% Dir y:57%	Dir x:100% Dir y:98%	Dir x:105% Dir y:104%	Dir x:99% Dir y:100%
Deslocamento máximo (pisos 4)	Dir x: 33mm Dir y: 55 mm	Dir x: 26mm Dir y: 41 mm	Dir x: 31mm Dir y: 35 mm	Dir x: 28mm Dir y: 33 mm
Orçamento	-----	10.900 cts	8.900 cts	7.700 cts

Tab.2: Quadro resumo comparativo das intervenções de reforço estudadas

## CONCLUSÕES

Neste artigo apresentaram-se soluções de reforço e critérios de avaliação da resistência para a acção dos sismos de edifícios existentes com estrutura em betão armado. Aplicaram-se algumas técnicas de reforço – introdução de paredes de betão armado, de contraventamentos metálicos e encamisamento de pilares – a um edifício existente utilizado como exemplo. Apresentaram-se as principais conclusões em termos de melhoria do comportamento sísmico e as estimativas de custos associadas às intervenções proposta. Verificou-se que a solução de reforço com introdução de paredes de betão para além de ser a que envolve um menor número de zonas de intervenção da estrutura, é a que acarreta menores custos.

## Referências

- RSA – Regulamento de Segurança e Acções em Edifícios e Pontes  
 REBAP – Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado