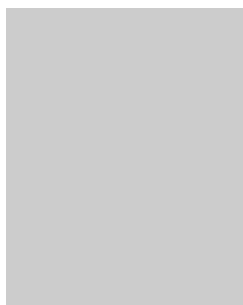
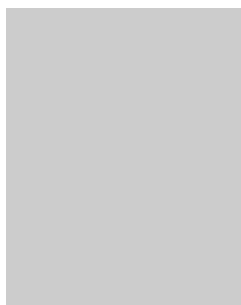


## **Comparação dos efeitos da acção sísmica do EC 8 e do RSA**



**Mara Andrade<sup>1</sup>**



**Xavier Romão<sup>2</sup>**



**Raimundo  
Delgado<sup>3</sup>**

### **RESUMO**

O Eurocódigo 8 faz parte de um conjunto de Normas Europeias que substituirão a regulamentação nacional vigente (o RSA), introduzindo alterações significativas no dimensionamento estrutural no que se refere à acção sísmica, sendo, por isso, importante avaliar o impacto que a nova regulamentação terá no dimensionamento de estruturas.

Neste trabalho procura-se abordar as linhas gerais de projecto sísmo-resistente pelo EC8 e RSA fazendo uma análise comparativa dos seus fundamentos, nomeadamente no que se refere às exigências fundamentais e à forma de definição da acção sísmica e seus valores. Aborda-se o desenvolvimento de ambos os regulamentos a respeito de zonamento sísmico, período de retorno da acção sísmica de projecto, configuração dos espectros de resposta respectivos e efeito dos solos nessa mesma configuração. Adicionalmente são analisadas as disposições específicas a cumprir e referem-se os métodos de referência utilizados por cada um dos regulamentos.

A acção sísmica prevista em cada um dos regulamentos é aplicada a cinco edifícios porticados de betão armado com configurações estruturais distintas, sendo consideradas as zonas de Lisboa e do Porto, para os dois cenários sísmicos e para os vários tipos de terreno. A referida análise é levada a efeito por comparação de resultados obtidos em termos de deslocamentos, forças de corte e de armadura requerida.

Relativamente a um dos edifícios analisados efectua-se uma análise pushover com o objectivo de comparar os resultados obtidos com os das análises lineares. Procura-se, ainda, avaliar se estruturas dimensionadas com a acção sísmica prevista no RSA ainda dispõem de segurança adequada, quando analisados com esta análise mais rigorosa, para a acção sísmica prevista no EC8 que é em geral mais elevada.

### **PALAVRAS-CHAVE**

acção sísmica, , regulamentação estrutural, análise pushover, engenharia sísmica, estruturas de betão armado.

<sup>1</sup> Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, [ec02147@fe.up.pt](mailto:ec02147@fe.up.pt)

<sup>2</sup> Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, [xnr@fe.up.pt](mailto:xnr@fe.up.pt)

<sup>3</sup> Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, [rdelgado@fe.up.pt](mailto:rdelgado@fe.up.pt)

## **1. INTRODUÇÃO**

A futura entrada em vigor no País dos Eurocódigos Estruturais acarreta alterações na prática de projecto, daí a importância de analisar a aplicação destes novos regulamentos e estudar o seu impacto relativamente ao disposto na regulamentação em vigor. De entre estes, um dos que irá causar mais alterações na prática de projecto é o Eurocódigo 8 [1] (EC8), referente ao projecto de estruturas em regiões sísmicas.

O presente trabalho estuda a acção dos sismos em edifícios, comparando os procedimentos e os esforços gerados do Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA) com os do Eurocódigo 8 (EC8) que na sua parte 1 possui disposições de dimensionamento e pormenorização de estruturas resistentes à acção sísmica, aperfeiçoando a definição da acção sísmica em cada local e a sua aplicação a cada tipo de estruturas. São focados os principais aspectos da quantificação e forma de aplicação da acção em estruturas e do zonamento do território e confrontados os aspectos que validam tais análises.

O impacto da acção sísmica foi avaliado através da determinação dos seus efeitos em cinco estruturas regulares porticadas de betão armado com diferentes configurações estruturais. Para cada uma destas configurações estruturais foram considerados dois cenários de localização geográfica, diferentes tipos de terreno de fundação e diferentes classes de ductilidade. O dimensionamento à acção sísmica destas estruturas foi efectuado em termos da actual regulamentação nacional (RSA) e da futura regulamentação europeia (EC8). Os resultados desta análise são apresentados em termos comparativos de forças sísmicas e armadura total requerida para o seu adequado dimensionamento.

Para uma das estruturas estudadas foi ainda efectuada uma análise estática com consideração do comportamento não linear dos elementos estruturais, com o objectivo de evidenciar as possibilidades desta nova metodologia de análise.

## **3. ASPECTOS REGULAMENTARES DO DIMENSIONAMENTO SÍSMICO**

### **3.1 Exigências de desempenho**

Com base no disposto na parte 1 do EC8 o objectivo do projecto sismo-resistente é o de, na eventualidade de ocorrência de sismos, proteger vidas humanas, limitar as perdas económicas e assegurar a manutenção em funcionamento das instalações de protecção civil importantes. Este objectivo traduz-se no estabelecimento de duas exigências fundamentais, a de não colapso e a de limitação dos danos, que devem ser garantidas para dois níveis diferentes de acção sísmica.

Segundo a exigência de não colapso a estrutura deve ser dimensionada e construída de forma a suportar a acção sísmica de projecto sem ocorrência de colapso local ou global, e mantendo a sua integridade estrutural com uma capacidade residual de suporte das cargas gravíticas. Esta acção sísmica é determinada tendo em conta: a probabilidade de excedência de referência em 50 anos  $P_{NCR}$  de 10% definida no Anexo Nacional ou um período de retorno de referência  $T_{NCR}$  de 475 anos; e o factor de importância,  $\gamma_I$  para considerar diferentes níveis de confiança (introduzido para poder diferenciar a fiabilidade do comportamento sísmico de diferentes tipos de construções).

Segundo a exigência de limitação dos danos a estrutura deve ser dimensionada e construída de forma a suportar uma acção sísmica com maior probabilidade de ocorrência que a acção sísmica de projecto sem ocorrência de danos e a consequente limitação de uso, cujo custo de reparação seja desproporcionalmente elevado em relação ao custo da estrutura. Esta acção sísmica está associada a uma probabilidade de excedência  $P_{DLR}$  de 10% em 10 anos e a um período de retorno  $T_{DLR}$  de 95 anos.

Na abordagem do RSA a acção sísmica é considerada como uma acção variável e como tal tem implicitamente uma probabilidade de excedência de 5% em 50 anos, ou seja corresponde-lhe um período de retorno de 975 anos (superior ao considerado no EC8) e a sua majoração por um coeficiente parcial de segurança de 1,5 quando combinada com as restantes acções para efeito de verificação do estado limite último, o que implica um período de retorno ainda maior quando comparado com o do EC8 em que não é prevista tal majoração, tal como referido por Carvalho, E.C. (2007) [2].

### 3.2 Zonamento sísmico

Tanto o EC8 como o RSA apresentam dois tipos de acção sísmica com diferente sismo-génese, uma para situações em que o evento sísmico condicionante tem Magnitude superior a 5,5 (sismo de maior Magnitude a uma maior distância focal) associado ao cenário de sismo afastado, e outra para situações em que o evento sísmico condicionante tem Magnitude inferior a 5,5 (sismo de Magnitude moderada a pequena distância focal) associado ao cenário de sismo próximo. No entanto apenas o EC8 apresenta um zonamento sísmico diferenciado para os dois tipos de acção sísmica que foi idealizado com vista a ser o mais adequado a cada um dos cenários.

De acordo com o EC8 o zonamento sísmico de cada país é definido pelo respectivo Anexo Nacional e é função da aceleração máxima de projecto de referência para um terreno do tipo A,  $a_{gR}$ , Fig 1 a).

O zonamento patente no RSA foi realizado com base em estudos realizados à data da elaboração do RSA, Fig 1 b).

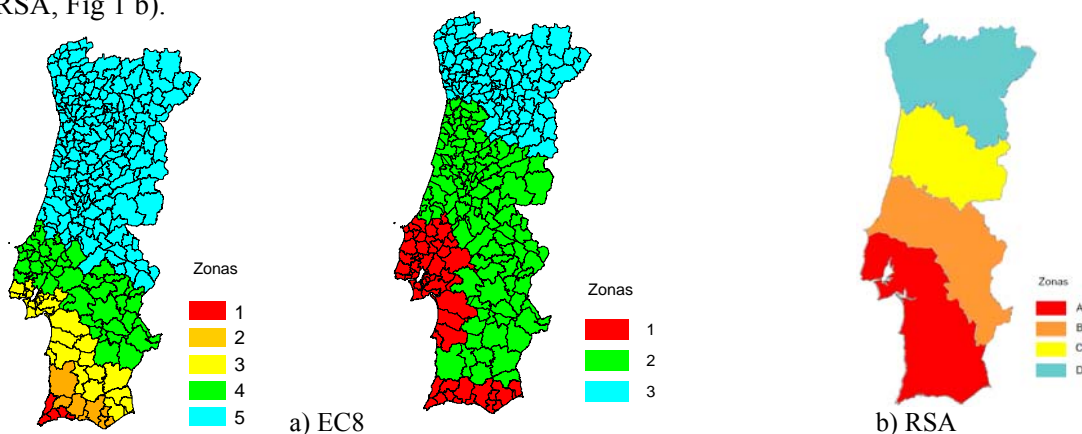


Figura 1. a) Zonamento sísmico do Anexo Nacional da EN 1998-1 (EC8) para o cenário de sismo afastado/interplacas (à esquerda) e para o cenário de sismo próximo/intraplaca (à direita), Carvalho, E.C. (2007) [2]; b) Zonamento sísmico do território Nacional segundo o RSA.

### 3.3 Definição da acção sísmica

Com vista a considerar o efeito da variação das características do terreno em que está implantada a estrutura, na acção sísmica à superfície, o Eurocódigo 8 faz a divisão dos terrenos em sete tipos. Os tipos A, B, C, D e E têm perfis geológicos e parâmetros de identificação distintos, tendo a sua densidade diminuída do solo A para o solo E.

No EC8 o movimento sísmico num dado ponto à superfície é representado por um espectro de resposta elástico da aceleração designado por espectro de resposta elástico. A forma deste espectro é igual para qualquer dos níveis de acção sísmica correspondente às exigências de não colapso ou de limitação de danos mas distinta para os dois tipos de acção sísmica, cuja forma genérica é ilustrada na Fig. 2. A configuração do espectro de resposta correspondente a cada terreno é estabelecida pelo Anexo Nacional, pela diferenciação dos valores dos parâmetros definidores do espectro ( $S$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$  e factor de terreno).

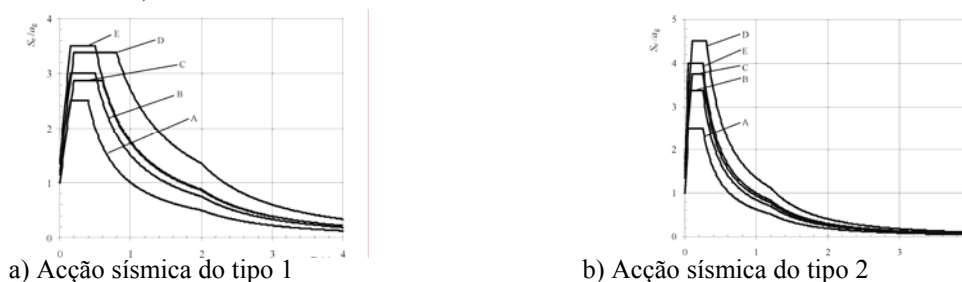


Figura 2. Espectros de resposta elásticos do EC8 para terrenos do tipo A e E ( $\eta = 5\%$ ).

Na abordagem do RSA, no que diz respeito à natureza dos terrenos no local de implantação são considerados três tipos de I a III, do mais rijo para o mais brando, respectivamente. A acção dos

sismos sobre as estruturas é representada por um conjunto de movimentos do terreno, traduzidos por densidades espectrais de potência segundo cada uma das direcções principais de actuação do sismo. Estes espectros, relativamente às componentes horizontais de translação, são fornecidos pelo regulamento para a zona A e para os diferentes tipos de terreno e de acção sísmica. Para as restantes zonas basta multiplicar o valor obtido no espectro pelo respectivo coeficiente de sismicidade

### **3.4 Ductilidade**

A resistência e capacidade de dissipação de energia a atribuir à estrutura estão relacionadas com a maior ou menor exploração do comportamento não-linear que se pretenda obter, em termos práticos caracterizado pelo valor do coeficiente de comportamento  $q$  e pela escolha da classe de ductilidade.

No EC8, de uma maneira geral para os vários tipos de materiais prevêem-se três classes de ductilidade designadas por: classe de ductilidade baixa (DCL), classe de ductilidade média (DCM) e classe de ductilidade alta (DCH). Segundo os preceitos do REBAP podem considerar-se dois tipos de estruturas relativamente às suas características de ductilidade: estruturas de ductilidade normal e melhorada.

### **3.5 Métodos de análise**

O EC8 admite várias opções para proceder à análise estrutural de edifícios sob o efeito da acção sísmica. Dependendo das características do edifício são definidas duas metodologias de análise, ambas com base num comportamento elástico linear da estrutura e num espectro de resposta: método de análise baseado na aplicação de forças estáticas horizontais (“lateral force method of analysis”) ou método de análise dinâmica modal com espectros de resposta (“modal response spectrum analysis”).

Pelo método de análise dinâmica modal com espectros de resposta todos os modos de vibração que contribuam de forma significativa para a resposta global da estrutura devem ser considerados.

Para além dos métodos lineares, o EC8 aceita, como alternativa, a utilização de métodos de análise não linear, designadamente métodos estáticos com aplicação progressiva de cargas laterais e métodos dinâmicos de avaliação da resposta estrutural ao longo do tempo (integração passo a passo). Deste modo podem ser utilizados um dos dois seguintes métodos de análise não-linear: análise estática não linear (análise pushover) ou análise não linear variável no tempo (análise dinâmica ao longo do tempo).

## **4. COMPARAÇÃO DOS EFEITOS DA ACÇÃO SÍSMICA DE ACORDO COM O EC8 E O RSA**

### **4.1 Descrição das estruturas**

Para o desenvolvimento deste estudo foram seleccionadas cinco estruturas regulares porticadas de betão armado (sendo que uma delas possui um núcleo em betão armado), que diferem entre si no número de pisos (4, 8 e 12 pisos) ou na configuração estrutural, considerando para cada estrutura diferentes classes de ductilidade. Foram consideradas duas zonas bem distintas, em termos de sismicidade, do território Português (tendo sido escolhidas as zonas de Lisboa e do Porto por serem zonas de sismicidade bem distinta) e para cada uma dessas zonas diferentes tipos de terreno.

As estruturas estudadas foram as Configurações 1, 2, 3, 5 e 6 do projecto de investigação denominado “Prenormative Research in Support of Eurocode 8” (PREC8). As configurações 1, 2 e 3, são estruturas porticadas de betão armado, regulares, com 4, 8 e 12 pisos elevados (e sem pisos enterrados), tendo cada um dos pisos uma altura de 3m, e tendo em planta uma configuração rectangular de 15x20m<sup>2</sup>, representada na Fig. 3 a). A configuração 5 difere das anteriores por possuir um núcleo central constituído por paredes em betão armado com 8 pisos elevados. A configuração 6 é muito semelhante em planta e em altura com a configuração 2 (Fig 3 b)) apenas com duas diferenças que se traduzem numa irregularidade em altura, uma pela supressão de um dos pilares externos, que passa a existir apenas a partir do 1º piso, e a outra na altura do primeiro piso que passa de 3m para 4,5m.

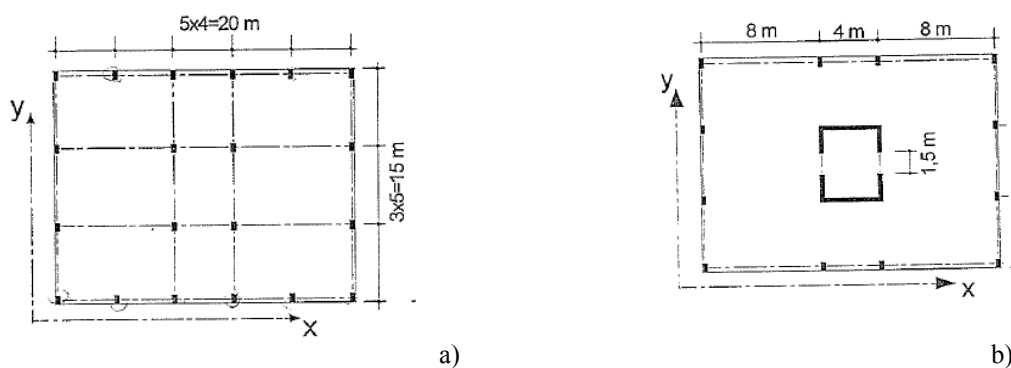


Figura 3. Desenvolvimento em planta da configuração 1, 2 3 e 6 (a) e da configuração 5 (b).

As dimensões dos elementos estruturais variam com a classe de ductilidade considerada e com a zona do território em que se encontra a estrutura.

Segundo a classificação do EC8 a zona do Porto pertence à Zona 5 para o sismo afastado e à Zona 3 para o sismo próximo. A zona de Lisboa pertence para o sismo afastado à Zona 3 e para o sismo próximo à Zona 1, com as acelerações máxima de referência  $a_{gR}$  apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. - Aceleração máxima de referência  $a_{gR}$  (cm/s<sup>2</sup>) nas duas zonas sísmicas em estudo.

Zona Sísmica	Sismo	Sismo
	afastado/interplacas	próximo/intraplaca
Porto	50 cm/s <sup>2</sup> (Zona 5)	80 cm/s <sup>2</sup> (Zona 3)
Lisboa	150 cm/s <sup>2</sup> (Zona 3)	170 cm/s <sup>2</sup> (Zona 1)

Segundo a classificação do RSA o Porto pertence à Zona D e Lisboa pertence à zona A. A influência da diferença de sismicidade entre as duas zonas segundo a abordagem deste regulamento é traduzida por um coeficiente de sismicidade  $\alpha$  que tem o valor de 1 para a Zona A e de 0,3 para a Zona D.

Para o caso em estudo, consideraram-se as três classes de ductilidade para Lisboa e apenas as classes de ductilidade baixa e média para o Porto (por apresentar uma baixa sismicidade).

O método de análise aplicado foi o método de análise dinâmica modal com espectros de resposta (“modal response spectrum analysis”).

## 4.2 Análise comparativa de forças sísmicas

Do ponto de vista do efeito do dimensionamento estrutural, o facto de a acção sísmica no RSA ser majorada, quando se considera a combinação sísmica, é um aspecto determinante para a comparação entre regulamentos, uma vez que essa majoração utiliza um coeficiente de segurança parcial relativamente elevado, com o valor de 1,5. Logo, na determinação dos resultados da acção sísmica pelo RSA apresentar-se-ão os resultados afectados deste coeficiente de segurança.

Após aplicação da acção sísmica definida por cada um dos regulamentos em análise às cinco estruturas estudadas pode concluir-se que apesar de se obterem valores distintos para cada configuração, resultado das suas características próprias, as relações entre estes valores seguem em regra um padrão. Na Figura 4 é ilustrado um diagrama de corte basal relativa à configuração 2, representativo de todas as outras configurações estruturais.

Relativamente às estruturas analisadas, e por observação da Fig. 4 pode concluir-se genericamente o seguinte no respeitante à relação entre os regulamentos em análise:

- para uma determinada classe de ductilidade a razão entre os resultados obtidos no Porto e em Lisboa é de 0,3 para o RSA, correspondendo ao valor do coeficiente de sismicidade;
- para o EC8 a variação é mais acentuada, os seus valores para o caso de sismo afastado variam entre 0,33 e 0,37 e para o sismo próximo entre 0,47 e 0,53, isto é, a acção sísmica prevista pelo EC8 para a zona do Porto não é tão reduzida quando comparada com a mesma acção para a zona de Lisboa como o que acontece no RSA. Tal facto implica que as diferenças EC8 / RSA sejam maiores para a zona do Porto;

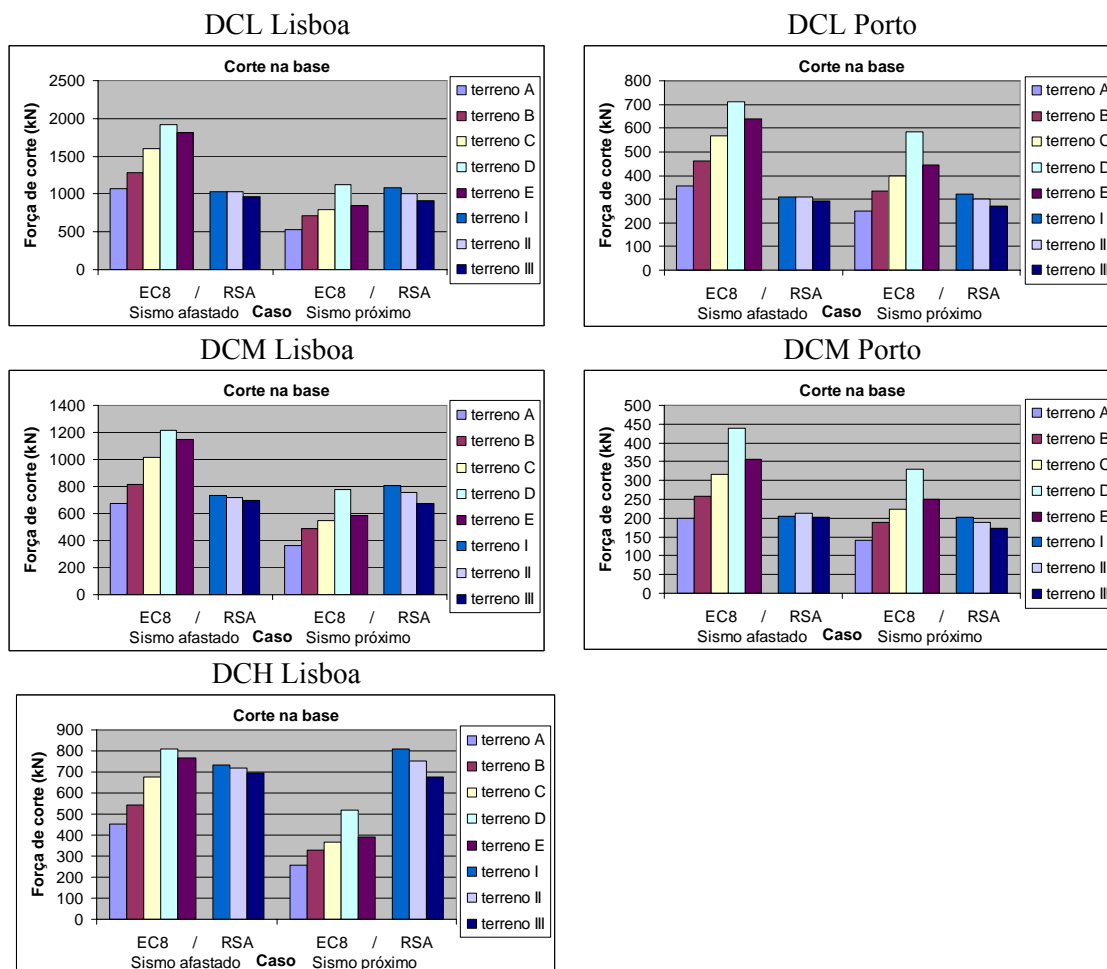


Figura 4. Corte basal para a configuração 2, nas duas zonas estudadas para todas as classes de ductilidade consideradas.

- para a acção sísmica do RSA existe grande equilíbrio entre as forças geradas pelos dois tipos de acção sísmica;
- para o caso de sismo afastado os valores do EC8 são superiores aos do RSA com excepção da classe de ductilidade alta (por esta existir em termos conceptuais apenas no EC8 e por isso ser comparada com a ductilidade melhorada no RSA que utiliza um coeficiente de comportamento bem inferior);
- a classe de ductilidade é um factor preponderante para as forças sísmicas;
- as diferenças entre o caso de sismo afastado e próximo em Lisboa são mais demarcadas do que no Porto, apenas para a acção do EC8;
- as diferenças entre os vários tipos de terreno é mais obvia para a acção do EC8.

Comparando o corte basal obtido com a acção sísmica do EC8 com o obtido com a do RSA, Fig. 5, algumas das conclusões anteriormente expostas tornam-se mais evidentes (não se apresentam os gráficos para a classe de ductilidade média por serem muito semelhantes com os da classe baixa):

- é especialmente evidente que o tipo de sismo mais condicionante, na generalidade dos casos e em especial para a acção do EC8, é o sismo afastado (quando não é o mais condicionante os dois casos não diferem muito), sendo este sismo o que apresenta maiores diferenças no EC8 relativamente ao RSA. O que se reflecte num dimensionamento mais exigente quando se considera a acção do EC8 em vez do RSA;
- para terrenos mais brandos verificam-se as maiores diferenças entre os dois regulamentos;
- a zona do Porto apresenta claramente maiores diferenças entre os dois regulamentos que a zona de Lisboa;

- as variações entre regulamentos são fortemente afectadas pelo tipo de terreno considerado e tipo de acção sísmica.

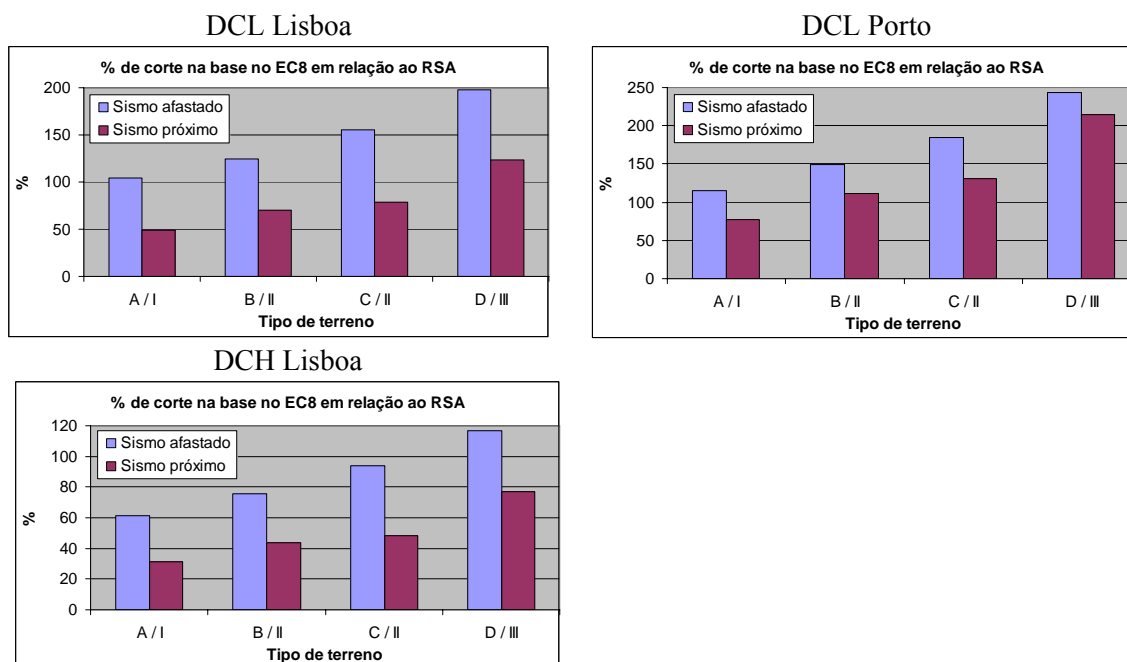


Figura 4. Relação percentual entre o corte basal obtidos com a acção sísmica do EC8 em relação ao RSA para a configuração 2, nas duas zonas estudadas para todas as classes de ductilidade consideradas.

#### 4.3 Análise da influência dos vários parâmetros

Na Figura 6 apresentam-se os resultados do corte basal para a zona de Lisboa e do Porto para as classes de ductilidade consideradas em ambos os regulamentos, para a configuração 2 pelas razões já expostas.

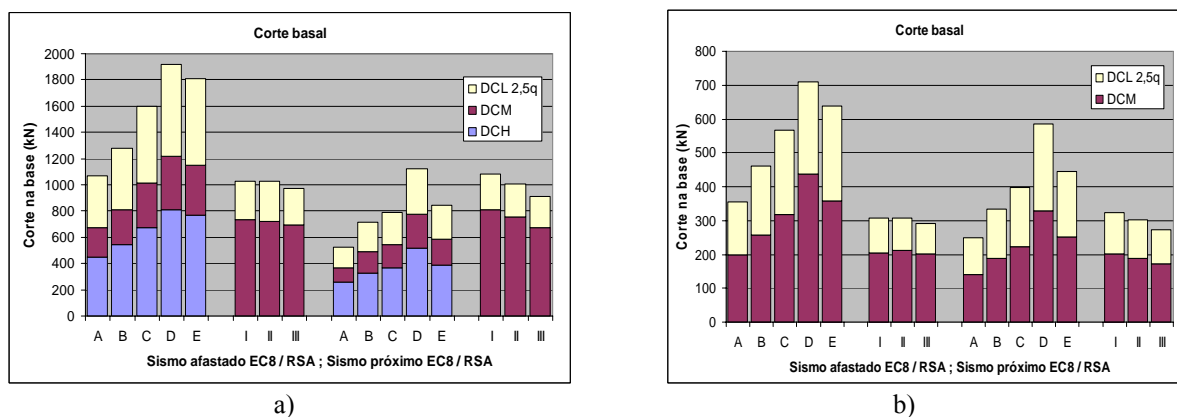


Figura 6. Corte basal para a configuração 2, na zona de Lisboa (a) e do Porto (b) considerando as várias classes de ductilidade.

Conforme se pode observar na Fig. 6, a classe de ductilidade considerada tem grande influência nos valores de corte na base obtidos para os dois regulamentos estudados. Foi também possível concluir, através da análise de edifícios com diferentes alturas, que a influência da ductilidade diminui com o aumento da altura do edifício. Para a zona do Porto verifica-se que a classe de ductilidade tem maior influência para a acção sísmica do EC8 do que para o RSA. Para a zona de Lisboa e para a acção do EC8 é claramente mais gravosa a acção do sismo do tipo afastado; para o RSA a diferença entre os dois tipos de sismo é muito reduzida. Para a zona do Porto verifica-se o mesmo com excepção da configuração 1 quando sujeita à acção do EC8.

Na Fig. 6 verifica-se que para a acção do EC8 a acção sísmica se torna mais gravosa à medida que os terrenos passam de mais rijos a mais brandos, excepção feita para o terreno do tipo E que por possuir uma classificação especial apresenta redução relativamente ao terreno tipo D, sendo que as diferenças são mais notórias do que no RSA (em que a acção sísmica diminui quando os terrenos se tornam mais brandos, excepto quando a frequência própria de vibração da estrutura tem um valor pequeno, encontrando-se no ramo crescente do espectro de resposta).

#### 4.5 Quantidades de armadura requerida

Para além dos parâmetros referidos anteriormente foram ainda analisadas as quantidades de armadura requeridas por cada um dos regulamentos para as várias situações estudadas. No entanto, em termos de armaduras, não são tão claras as tendências verificadas para os outros dois parâmetros estudados uma vez que a armadura a dispor não depende apenas da acção sísmica em si, depende antes da combinação sísmica que é ligeiramente diferente entre os dois regulamentos. Além disso, em alguns dos casos considerados, a armadura calculada corresponde ao valor mínimo necessário sendo por isso superior à obtida com consideração da combinação sísmica, não reflectindo a distinção das acções consideradas. De facto, o que se verifica é que nestes edifícios, dimensionados com secções muito robustas, as diferenças de armadura obtidas com os dois regulamentos encontram-se atenuadas.

### 5. APLICAÇÃO DA ANÁLISE PUSHOVER

A análise pushover foi aplicada à configuração 2 com o propósito de verificar se a utilização do coeficiente de comportamento traduz com uma boa aproximação o comportamento não linear da estrutura e se as estruturas dimensionadas segundo o RSA ainda terão segurança suficiente nos casos em que o EC8 põe níveis de acção sísmica mais elevados. O tipo de terreno seleccionado foi o tipo II e o sismo afastado por apresentar maiores diferenças. Estudou-se a zona do Porto e de Lisboa para a classe de ductilidade baixa, de acordo com um dimensionamento para a combinação sísmica do RSA. Para tratamento dos resultados obtidos foi utilizado o Método N2 (Fajfar, 1999) que é um dos métodos mais correntes, sendo o método recomendado pelo Anexo B do EC8 para a avaliação do deslocamento de desempenho envolvendo análise “pushover”.

Na Figura 7 a), apresenta-se a curva de capacidade obtida para a zona do Porto e o diagrama bilinear de relação força deslocamento idealizada. Verifica-se que tanto a análise pushover com a acção do RSA como com a do EC8 conduzem a pontos de desempenho na zona de regime linear, já que para esta zona a armadura colocada é condicionada essencialmente pelas dimensões dos seus elementos estruturais.

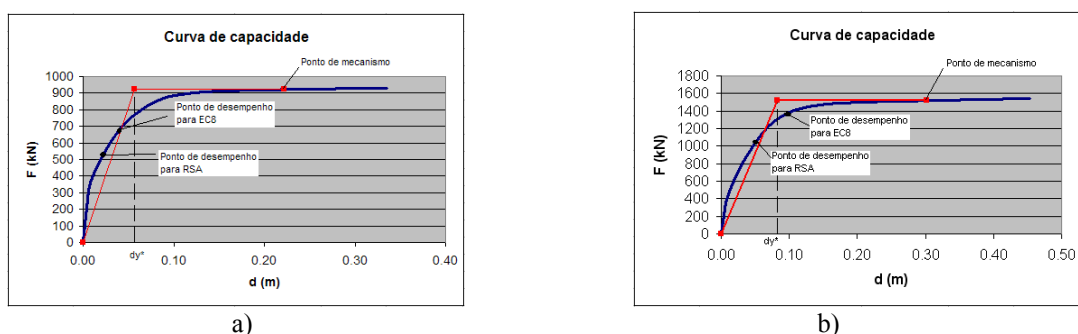


Figura 7. Curva de capacidade e deslocamentos de mecanismo e desempenho para o EC8 e RSA, na zona do Porto (a) e de Lisboa (b), para a configuração estrutural 2 dimensionada pelo RSA.

Na análise efectuada para a zona de Lisboa, ilustrada na Fig. 7 b), o deslocamento de desempenho é ligeiramente superior ao deslocamento de cedência para a acção do EC8 e inferior a este para a acção do RSA. Assim, pode concluir-se que esta estrutura, dimensionada de acordo com a acção sísmica prevista no RSA, ainda dispõe de uma segurança adequada para a nova acção, com intensidade superior, prevista no EC8.

Os resultados dos deslocamentos e das forças de corte foram comparados com os obtidos pela análise elástica linear, e são apresentados na Fig. 8, para a configuração 2 na zona do Porto e de Lisboa. Conforme se pode observar na figura anterior, os resultados em termos de deslocamentos de uma análise pushover com a acção do RSA são ligeiramente superiores aos resultados obtidos para a análise dinâmica sem considerar os efeitos de não linearidade material, já para a acção do EC8 os resultados são bastante superiores. A disparidade dos deslocamentos obtidos para o EC8 pode ser explicada pelo facto de a estrutura não estar dimensionada para resistir a um nível de acção tão elevada (superior à acção do RSA para o qual foi dimensionada a estrutura). Não obstante, a forma do perfil de deslocamentos em altura é semelhante para ambos os tipos de análise.

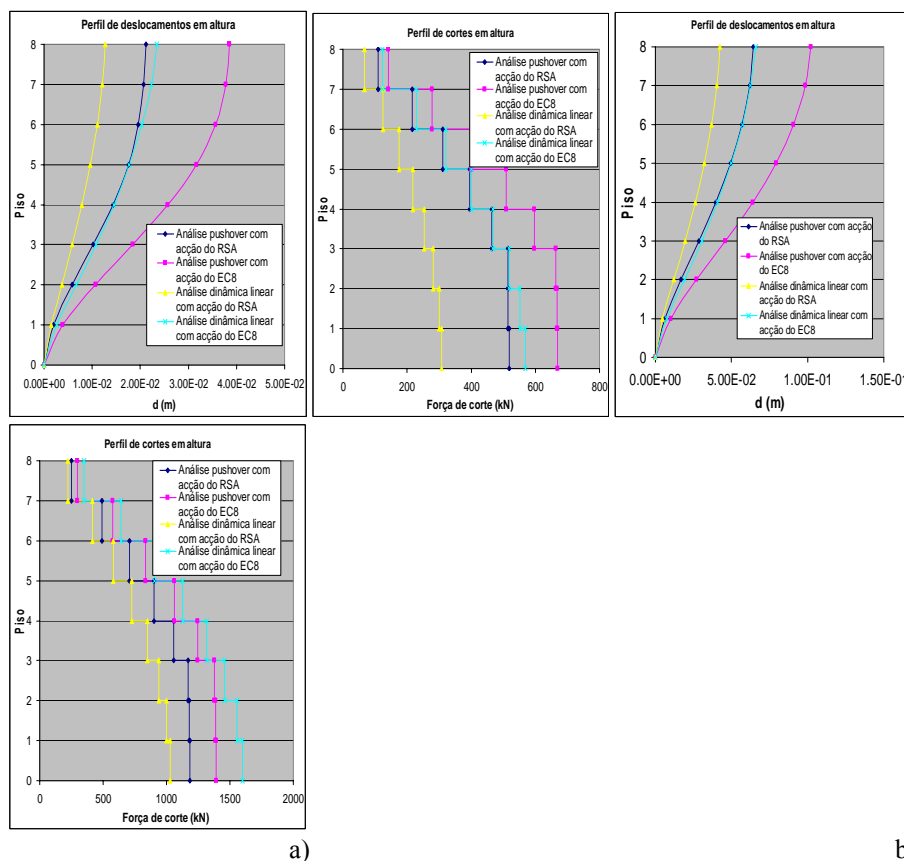


Figura 8. Perfis de deslocamentos e cortes em altura da configuração 2 para as análises dinâmica linear e pushover, para a zona do Porto (a) e de Lisboa (b).

Para a zona do Porto o perfil de cortes em altura apresenta, para a acção sísmica do RSA, valores superiores para a análise pushover relativamente aos obtidos para a análise dinâmica linear, enquanto que para o EC8 são relativamente próximos.

Dado que nas análises pushover os esforços estão directamente relacionados com a armadura existente, a razão entre os valores da análise pushover e da análise dinâmica depende das quantidades de armaduras que vierem a ser adoptadas. Estando as armaduras sobredimensionadas justifica-se que através da análise pushover, quando se considera a acção sísmica do RSA, se obtenham forças sísmicas mais elevadas devido à sobrerresistência que a análise não linear explora após o esforço de cedência nas secções da estrutura. Para a zona do Porto quando se considera na análise pushover a acção sísmica do EC8 esta sobrerresistência atenua-se e os resultados aproximam-se (agravamento dos esforços proporcional ao agravamento da acção sísmica do RSA, para o EC8).

No perfil referente à zona de Lisboa verifica-se que quando se considera a acção do EC8, em termos de análise linear verifica-se um agravamento dos esforços proporcional ao agravamento da acção sísmica do RSA, para o EC8, e em termos de análise pushover, como se considerou a armadura obtida

com o RSA, o agravamento das forças de corte deve-se apenas ao aumento dos esforços resistentes após cedência, nas barras da estrutura, devido a uma maior incursão no regime não linear.

## **6. CONCLUSÕES**

Globalmente dos vários parâmetros estudados pode concluir-se que a acção sísmica é mais gravosa na zona de Lisboa do que na zona do Porto, apresentando diferenças mais acentuadas entre as duas zonas segundo o RSA do que segundo o EC8. Por conseguinte a acção sísmica na zona do Porto apresenta maiores diferenças entre os dois regulamentos do que a zona de Lisboa. Na generalidade dos casos a acção sísmica do tipo afastado é mais determinante que a do tipo próximo (especialmente na zona de Lisboa e para o EC8) e quando não o é os resultados para os dois tipos de acção são muito próximos. Em geral a acção sísmica do EC8 é mais elevada relativamente à do RSA, sendo mais evidente essa diferença para o caso de sismo afastado e nos terrenos mais brandos.

Verifica-se que quanto mais alta a classe de ductilidade menores são as forças sísmicas associadas e armaduras requeridas, uma vez que variam na proporção inversa do coeficiente considerado.

As diferenças entre os dois regulamentos são progressivamente maiores à medida que os terrenos passam de mais rijos a mais brandos.

Relativamente aos resultados obtidos da análise pushover para a zona do Porto, a aplicação das acções sísmicas do RSA e do EC8 conduziu, em termos de forças para a acção do RSA, a valores superiores para a análise pushover relativamente à análise dinâmica linear e a valores muito próximos para a acção do EC8. Uma vez que as quantidades de armadura estão de acordo com a armadura mínima requerida em alguns dos casos, justifica-se que através da análise pushover, quando se considera a acção sísmica do RSA, se obtenham forças sísmicas mais elevadas devido à sobrerresistência da estrutura, sendo esta sobrerresistência menor para a acção do EC8 por motivo da acção ser mais elevada.

Em termos de deslocamentos e para a acção do RSA verificou-se que a análise pushover conduz a deslocamentos ligeiramente superiores aos da análise dinâmica linear para a acção do RSA e bastante superiores para a acção do EC8.

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho foi parcialmente suportado pelo Projecto da FCT PTDC/ECM/72596/2006, “Seismic Safety Assessment and Retrofitting of Bridges”.

## **REFERÊNCIAS**

- [1] CARVALHO, E.C. e COELHO, E. (1997) - Numerical investigations on the seismic response of R.C. frames designed in accordance with eurocode 8. Report nº7, ECOEST e PREC8.
- [2] CARVALHO, E.C. (2007). Anexo Nacional do Eurocódigo 8 – Consequências para o dimensionamento sísmico em Portugal. 7º Congresso de sismologia e engenharia sísmica, 26 a 28 de Setembro de 2007, FEUP, Porto.
- [3] CEN (2004). European Standard ENV1998-1-1: Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic action and rules for buildings. (EN 1998-1:2004), Dezembro 2004, Brussels.
- [5] RSA (1993), Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifício e Pontes. Decreto-Lei nº 235/83, Imprensa Nacional – Casa da Moeda, Lisboa.