



engenharia para a sociedade  
*investigação e inovação*  
cidades e desenvolvimento  
LNEC • Lisboa • 18-20 junho 2012



**ESTUDO COMPARATIVO SOBRE O  
DIMENSIONAMENTO DE EDIFÍCIOS DE  
BETÃO ARMADO: UMA ANÁLISE SOBRE  
A REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA  
EM VIGOR E OS NOVOS EUROCÓDIGOS**

**M.J. Falcão Silva, P. Candeias, E. Coelho**

Trabalho desenvolvido no âmbito de um pós-doutoramento  
cofinanciado pela FCT(SFRH/BPD/73275/2010) e pelo LNEC

## **ENQUADRAMENTO**

- > Atuais estruturas de engenharia civil projetadas de forma a serem capazes de sobreviver às ações mais desfavoráveis expectáveis durante a sua vida útil (analisadas e dimensionadas de forma a dotá-las da capacidade necessária para suportar as exigências que lhe serão colocadas);
- > Relativamente ao panorama legislativo atual, Portugal irá assistir proximamente à entrada em vigor dos novos Eurocódigos (momento apropriado para olhar para trás e rever o que foi feito no passado);
- > Tema de extrema importância para melhor compreender o comportamento e desempenho de estruturas antigas (caso se pretenda empreender ações de reabilitação e reforço de edifícios antigos).

## Regulamentos Nacionais de Segurança e Dimensionamento de Estruturas de Engenharia Civil

Data	Regulamento	Decreto	Observações
1897	Regulamento para projectos, provas e vigilância das pontes metálicas	...	Revogado
1903	Regulamento de Salubridade das Edificações Urbanas (RSEU)	...	Revogado
1918	Regulamento para o emprego do beton armado	Decreto nº 4036 de 28 de Março	Revogado
1929	Regulamento de Pontes Metálicas (RPM)	Decreto nº 16781 de 10 de Abril	Revogado
1935	Regulamento do Betão Armado (RBA)	Decreto nº 25948 de 16 de Outubro	Revogado
1951	Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU)	Decreto nº 38382 de 7 de Agosto	Revogado
1958	Regulamento de Segurança das Construções contra os Sismos (RSCCS)	Decreto nº 41658 de 31 de Maio	Parcialmente revogado
1961	Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes (RSEP)	Decreto nº 44041 de 18 de Novembro	Revogado
1965	Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios (REAE)	Decreto nº 46160 de 19 de Janeiro	Aplicado em conjunto com o RSEP
1967	Regulamento de Estruturas de Betão Armado (REBA)	Decreto nº 47723 de 20 de Maio	Aplicado em conjunto com o RSEP
1983	Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA)	Decreto-Lei nº 235/83 de 31 de Maio	-
1983	Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado (REBAP)	Decreto-Lei nº 349-C/83 de 30 de Julho	Aplicado em conjunto com o RSA
1986	Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios (REAE)	Decreto-Lei nº 21/86 de 31 de Julho	Aplicado em conjunto com o RSA

## **Principais disposições regulamentares relativas à ação sísmica - RSCCS**

- > Carta de delimitação das zonas de risco sísmico elaborada a partir da carta sismológica de Portugal e da carta geológica de Portugal;
- > Utilização de forças estáticas horizontais calculadas a partir de coeficientes sísmicos altos e simultaneamente reduzidos coeficientes de segurança;
- > Utilização simultânea de dois tipos de verificação de segurança, o tradicional com base no cálculo elástico e um novo com base no cálculo à rotura;
- > Dimensionamento de edifícios de pequeno porte simplificado ou até mesmo dispensado;

## **Principais disposições regulamentares relativas à ação sísmica - RSEP**

- > Definição das solicitações a considerar no dimensionamento das estruturas de edifícios e pontes, servindo de base, quer diretamente, quer com os ajustes necessários para o dimensionamento das estruturas de outros tipos de construções;
- > Solicitações divididas em dois tipos:
  - Permanentes;
  - Acidentais (habituais ou excecionais)
- > Relativamente à simultaneidade da atuação de solicitações, devem ser consideradas nas combinações de ações todas as solicitações cuja atuação simultânea seja verosímil;
- > Devem ser tomadas para dimensionamento as combinações formuladas que produzirem os efeitos mais desfavoráveis, tanto relativamente aos diferentes elementos estruturais como ao seu conjunto.

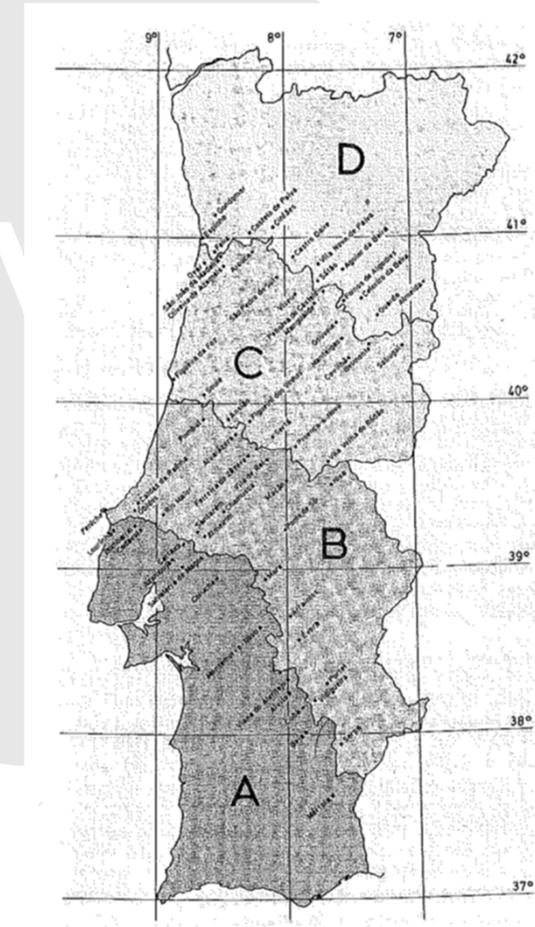
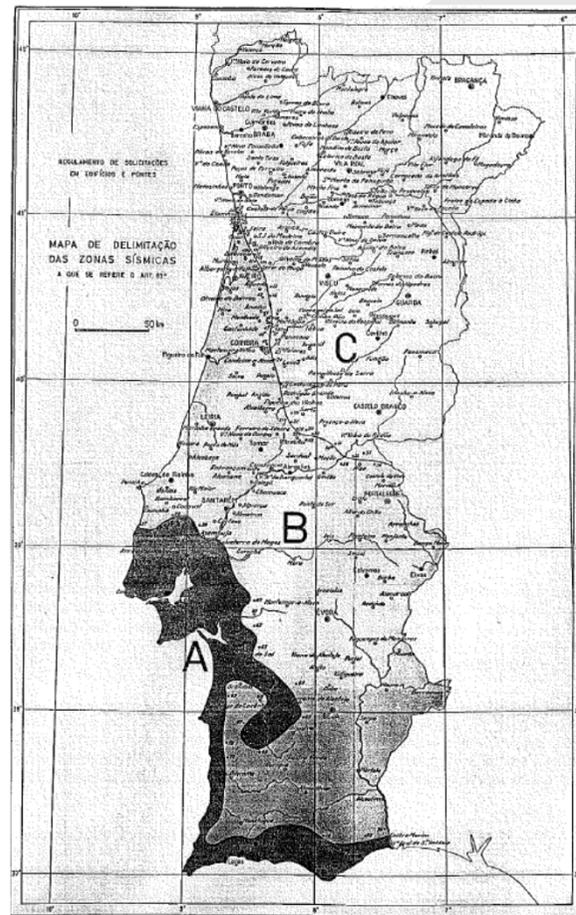
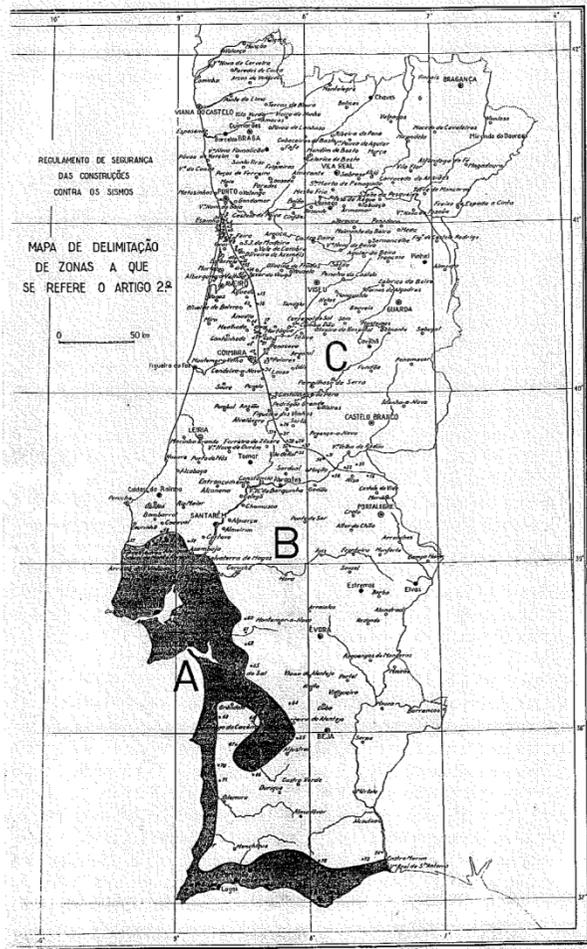
## **Principais disposições regulamentares relativas à ação sísmica - RSA**

- > Distingue pela primeira vez para o território nacional dois tipos de ação sísmica:
  - Ação tipo 1 - sismos de magnitude moderada a pequena distância focal;
  - Ação tipo 2 - sismos de magnitude mais elevada a uma maior distância focal.
- > Os valores característicos da ação dos sismos são quantificados em função da sismicidade da zona em que se situa a construção e da natureza do terreno em que é implantada (coeficiente de sismicidade);
- > Quanto à natureza do terreno são considerados três tipos de solos:
  - rochas e solos incoerentes rijos;
  - solos coerentes muito duros, duros e de consistência média e solos incoerentes compactos;
  - solos coerentes moles e muito moles, solos incoerentes soltos.

## **Principais disposições regulamentares relativas à ação sísmica - RSA**

- > Forças estáticas supõem-se atuando simultaneamente segundo a direção considerada e distribuídas em correspondência com as massas em jogo, sendo o valor de cada uma dessas forças função:
  - do coeficiente sísmico;
  - da massa considerada;
  - da forma como a estrutura se deforma.
- > Introduce na regulamentação portuguesa o coeficiente de comportamento de esforços;
- > Recomenda a determinação dos efeitos das ações sísmicas por meio de análises dinâmicas, sendo para o efeito fornecidos espectros de potência e de resposta no respetivo anexo;
- > Possibilita o recurso a análises estáticas equivalentes em casos particulares de estruturas de edifícios e pontes “correntes”.

# Principais disposições regulamentares relativas à ação sísmica – Zonas de risco sísmico



## **Principais disposições regulamentares relativas à ação sísmica – EC8**

- > Dois tipos de ação sísmica, definidos por espectros de resposta de acelerações, sendo os parâmetros que os definem indicados nos respetivos AN de cada país;
- > No AN português a ação sísmica foi definida para um período de retorno de referência de 3000 anos, que corresponde a acelerações próximas das obtidas por multiplicação das acelerações dos 1000 anos do RSA por 1,5;
- > A versão de pré-norma do EC8 permite ainda representações alternativas da ação sísmica, nomeadamente, por meio de acelerogramas artificiais gerados de forma compatível com o espectro de resposta definido na norma ou por meio de acelerogramas gravados ou simulados fisicamente por mecanismos de origem e trajetória adequados

## **Principais disposições regulamentares relativas à ação sísmica – EC8**

- > Possibilita a exploração do comportamento não-linear dos materiais das estruturas, recorrendo para isso aos coeficientes de comportamento dos esforços variáveis consoante a estrutura, o tipo de sistema estrutural e a ductilidade da estrutura;
- > Na definição da ação sísmica devem ser tidas em conta:
  - exigências de desempenho;
  - tipo de ação sísmica;
  - representação da ação sísmica
  - zonamento do território;
  - classificação dos solos;

## **Principais disposições regulamentares relativas à ação sísmica – EC8**

### **> EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO:**

- Considerados dois níveis de verificação sísmica:
  - *Sem colapso;*
  - *Limitação de danos*
- Sem colapso:
  - *Sob uma ação sísmica rara as estruturas não podem colapsar totalmente ou em parte;*
  - *Requisito fundamental para proteção das vidas humanas dos efeitos do colapso total ou parcial da estrutura;*
- Limitação de danos:
  - *O nível de dano na estrutura deve ser limitado pelas ações sísmicas frequentes;*
  - *Requisito fundamental para redução de perdas de natureza económica;*
- Conceito de classes de importância.

## **Principais disposições regulamentares relativas à ação sísmica – EC8**

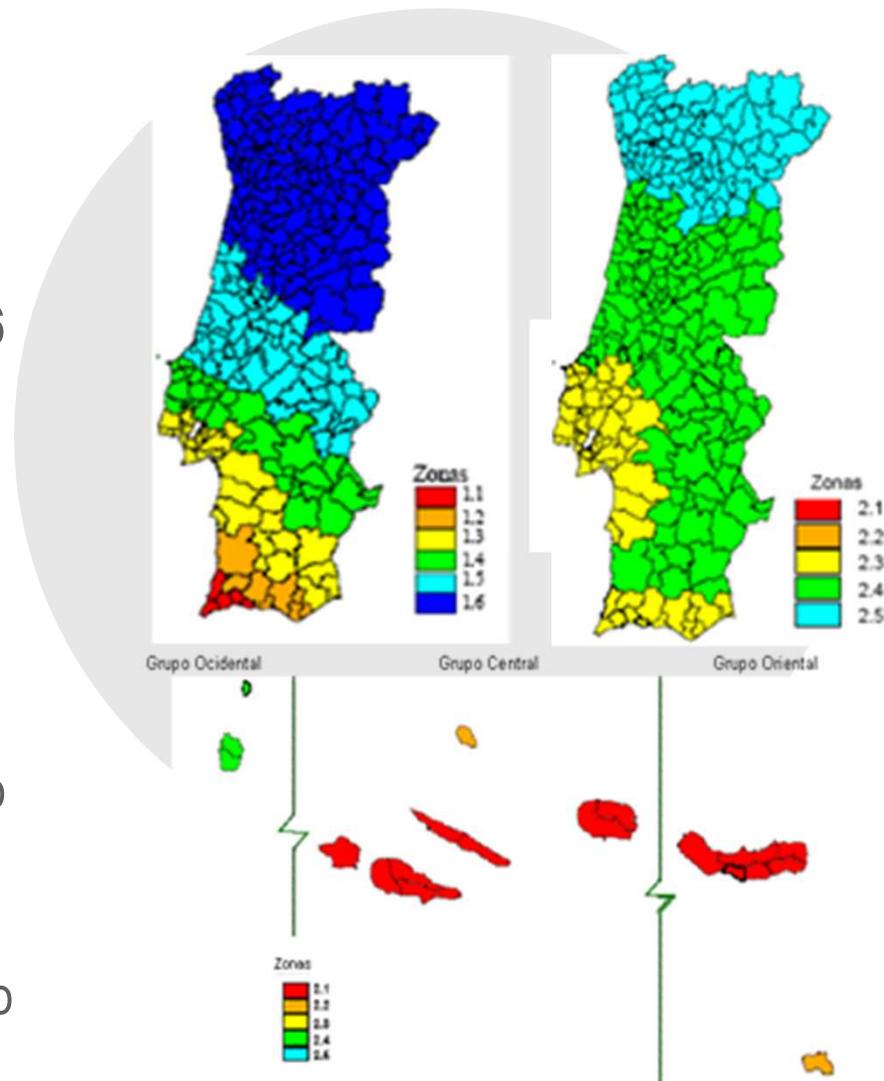
### **> TIPO E REPRESENTAÇÃO DA AÇÃO:**

- Necessidade de se considerar dois tipos de ações sísmicas para Portugal (dois cenários distintos de geração dos sismos que podem afetar o território português);
  - *Cenário “afastado” (sismo interplaca) - geralmente se refere aos sismos com epicentro na região Atlântica, com elevada magnitude e a grande distância focal (ACÇÃO SÍSMICA TIPO 1);*
  - *Cenário “próximo” (sismo intraplaca) - referente, de uma forma geral, aos sismos que tem epicentro no território Continental, ou no Arquipélago dos Açores, com magnitude moderada e a pequena distância focal (ACÇÃO SÍSMICA TIPO 2).*
- Os movimentos sísmicos horizontais ou verticais num determinado ponto à superfície do solo são representados por meio de um espectro de resposta elástico de acelerações, para cada uma das ações sísmicas;
- O amortecimento pode ser ajustado por meio de um factor de correcção.

## Principais disposições regulamentares relativas à ação sísmica – EC8

### > ZONAMENTO DO TERRITÓRIO E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS:

- Para o território continental considera 6 zonas sísmicas para cenário sísmico afastado (AÇÃO SÍSMICA TIPO 1) e 3 zonas sísmicas para cenário sísmico próximo (AÇÃO SÍSMICA TIPO 2);
- Para o Arquipélago dos Açores são consideradas 3 zonas sísmicas mas apenas para o cenário sísmico próximo (AÇÃO SÍSMICA TIPO 2);
- 7 classes de solos, sendo os solos classificados entre A e S2, dependendo da sua rigidez e da sua resistência.



## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

- > A definição da ação sísmica segundo o EC8 apresenta importantes diferenças:
  - zonamento mais seletivo (distinto para cada cenário de ação sísmica);
  - consideração de mais tipos de terreno.
- > O regulamento europeu pretende assegurar regulamentação onde a legislação portuguesa é omissa, diferenciando a ação sísmica mediante os materiais que compõem a estrutura apresentando capítulos específicos para:
  - edifícios de betão;
  - edifícios de aço;
  - edifícios mistos de aço-betão;
  - edifícios de madeira;
  - edifícios de alvenaria.

## **LINHAS DE INVESTIGAÇÃO FUTURAS**

- > Dimensionamento de edifícios representativos de acordo com os Eurocódigos estruturais;
- > Análise sísmica dos edifícios dimensionados;
- > Análise de custos para as situações consideradas;
- > Disseminação e exploração dos resultados obtidos da investigação pelo meio técnico-científico nacional e internacional



engenharia para a sociedade  
*investigação e inovação*  
cidades e desenvolvimento  
LNEC • Lisboa • 18-20 junho 2012



**ESTUDO COMPARATIVO SOBRE O  
DIMENSIONAMENTO DE EDIFÍCIOS DE  
BETÃO ARMADO: UMA ANÁLISE SOBRE  
A REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA  
EM VIGOR E OS NOVOS EUROCÓDIGOS**

**M.J. Falcão Silva, P. Candeias, E. Coelho**

Trabalho desenvolvido no âmbito de um pós-doutoramento  
cofinanciado pela FCT(SFRH/BPD/73275/2010) e pelo LNEC