

CAPÍTULO VII

Acção dos sismos

Artigo 28.º — Zonamento do território

Para efeitos da quantificação da acção dos sismos considera-se o País dividido em quatro zonas, que, por ordem decrescente de sismicidade, são designadas por A, B, C e D.

A delimitação destas zonas para o continente é feita no anexo III; as ilhas do arquipélago dos Açores são incluídas na zona A, com excepção das ilhas das Flores e do Corvo que, juntamente com as do arquipélago da Madeira, são incluídas na zona D.

O zonamento adoptado foi estabelecido a partir de estudos de sismicidade recentemente efectuados. Para facilitar as aplicações, fez-se coincidir os limites das zonas com limites de concelhos.

Artigo 29.º — Quantificação da acção dos sismos

29.1 — A acção dos sismos resulta de um conjunto de vibrações do solo que são transmitidas às estruturas durante a ocorrência de um sismo.

29.2 — Os valores característicos da acção dos sismos são quantificados no anexo III, em função da sismicidade da zona em que se situa a construção e da natureza do terreno do local em que é implantada.

A influência da sismicidade é traduzida por um coeficiente de sismicidade, α , cujos valores são indicados no quadro I.

Quadro I

Valores do coeficiente de sismicidade, α

Zona sísmica	α
A	1.0
B	0.7
C	0.5
D	0.3

Quanto à natureza do terreno, são considerados os seguintes tipos:

- Tipo I — rochas e solos coerentes rijos;
- Tipo II — solos coerentes muito duros, duros e de consistência média; solos incoerentes compactos;
- Tipo III — solos coerentes moles e muito moles; solos incoerentes soltos.

29.3 — Os valores reduzidos da acção dos sismos são nulos (incluindo o valor raro).

29.4 — Em geral, apenas é necessário considerar direcções de actuação da acção dos sismos no plano horizontal; a consideração na direcção vertical somente se impõe para estruturas que sejam especialmente sensíveis a vibrações nesta direcção.

Na quantificação da acção dos sismos apenas são tidas em conta as acções vibratórias transmitidas pelo terreno à estrutura. Os sismos podem, no entanto, provocar nos terrenos alterações estruturais (roturas, liquefacção de camadas arenosas, movimentos entre bordos de falhas activas) de que resultem deslocamentos importantes, com graves consequências para as construções. Por outro lado, disposições peculiares da estrutura dos terrenos, nomeadamente a existência de camadas horizontais de grande extensão, podem provocar amplificações selectivas da intensidade das vibrações sísmicas em determinadas bandas de frequência; situações deste tipo não foram também tidas em conta na quantificação da acção dos sismos. No que se refere ao disposto em 29.4, como exemplo de casos em que deverá considerar-se a acção sísmica na direcção vertical, podem referir-se as estruturas com modos de vibração caracterizados por frequências próprias inferiores a cerca de 10 Hz, a que correspondam configurações com deslocamentos significativos na direcção vertical.

Artigo 30.º — Determinação dos efeitos da acção dos sismos

30.1 — A determinação dos efeitos da acção dos sismos deve ser efectuada por métodos de análise dinâmica, de acordo com o indicado em 30.2 e 30.3, podendo, no entanto, utilizar-se também os processos simplificados de análise estática apresentados em 30.4 e 30.5.

30.2 — Os métodos de análise dinâmica para a determinação dos efeitos da acção dos sismos devem ter em conta a quantificação das vibrações sísmicas apresentada no artigo 29.º e considerar as massas correspondentes ao valor médio das cargas permanentes e ao valor quase permanente das cargas variáveis que actuam na estrutura; as características de rigidez e amortecimento a adoptar devem corresponder a valores médios das propriedades dos materiais. Os efeitos da interacção solo-estrutura, bem como os efeitos hidrodinâmicos no caso de estruturas total ou parcialmente imersas, devem ser adequadamente considerados.

Em qualquer caso, o quociente δ entre o menor dos valores máximos das componentes horizontais da reacção global da estrutura sobre a fundação nas diversas direcções e o valor das cargas correspondentes as massas consideradas não deve ser inferior a $0,04\alpha$. Se o valor do quociente δ for inferior ao limite indicado, os resultados obtidos pela análise dinâmica deverão ser multiplicados por $0,04 \alpha/\delta$; no caso de o quociente δ ser superior a $0,16 \alpha$ e a estrutura apresentar uma carta ductilidade, os resultados daquela análise poderão ser divididos por $\delta/0,16\alpha$.

30.3 — Na aplicação dos métodos de análise dinâmica pode admitir-se que as estruturas têm comportamento linear e corrigir os resultados assim obtidos, dividindo-os por coeficientes de comportamento que dependem do tipo de estrutura e das suas características de ductilidade.

No caso de estruturas cujos elementos estejam dispostos em malha ortogonal, poderá ainda considerar-se que a acção sísmica actua separadamente segundo as direcções em que a estrutura se desenvolve, devendo-se então proceder a uma análise complementar para ter em conta os efeitos da torção.

A quantificação dos coeficientes de comportamento é feita nos regulamentos relativos aos diferentes tipos de estruturas e de materiais.

30.4 — No caso de edifícios e pontes que satisfaçam as condições adiante indicadas (que serão designados por edifícios e pontes correntes), a determinação dos efeitos da acção dos sismos pode ser efectuada, de modo simplificado, supondo aplicadas à estrutura forças estáticas actuando separadamente segundo as direcções em que a estrutura se desenvolve e cujos valores e distribuição são estabelecidos no artigo 32.º com base em coeficientes sísmicos definidos no artigo 31.º Os efeitos devem ser determinados admitindo comportamento linear da estrutura.

As condições a que devem satisfazer os edifícios são as seguintes:

- Não apresentarem, em planta, distribuições desproporcionadas entre a massa e a rigidez;
- Não apresentarem, no seu desenvolvimento em altura, grandes variações de massa ou de rigidez;
- Terem ~~uma~~ ^{uma} estrutura em malha ortogonal e não demasiado deformável;
- Terem os pisos constituídos de forma que possam considerar-se como diafragmas indeformáveis no seu plano.

As condições a que devem satisfazer as pontes são as seguintes:

- Terem a superestrutura suportada por pilares verticais;
- Terem o eixo longitudinal em planta praticamente recto e o viés, caso exista, pouco acentuado;
- Terem vãos não excessivamente desiguais e apresentarem estrutura sensivelmente simétrica em relação a um plano perpendicular ao seu eixo longitudinal.

30.5 — No caso de construções que não preencham as condições estipuladas em 30.4, mas apresentem uma certa ductilidade, poder-se-á ainda recorrer a um método simplificado de análise estática que consiste em determinar os efeitos devidos a acção dos sismos admitindo comportamento linear da estrutura e aplicando, em cada direcção considerada, um sistema de forças estáticas, em correspondência com as massas interessadas; os

valores destas forças podem obter-se multiplicando as cargas correspondentes aquelas massas por $0,22\alpha$. Tais sistemas de forças devem ser supostos actuando nas direcções mais desfavoráveis, sendo em geral suficiente considerar separadamente duas direcções ortogonais no plano horizontal e ainda a direcção vertical nos casos em que tal se justifique. Para a direcção vertical poderão reduzir-se de um terço os valores dos sistemas de forças referidos.

30.6 — Na determinação dos efeitos da acção dos sismos podará dispensar-se a consideração da instabilidade de conjunto da estrutura se o deslocamento relativo entre quaisquer dois nós sucessivos de um elemento vertical de suporte, obtido pela análise de primeira ordem for inferior a 1,5% da distância entre os referidos nós.

A determinação dos efeitos dos sismos nas estruturas, a partir da definição desta acção nos termos em que é apresentada no artigo 29.º, implica a resolução de problemas de comportamento dinâmico em geral em regime não linear e exigindo por vezes a consideração da interacção entre a estrutura e o terreno, o que torna necessário o emprego de meios de análise relativamente complexos quer analíticos quer experimentais.

No entanto é possível admitir uma sucessão de hipóteses simplificativas que para os casos em que são válidas permitem determinar com aproximação suficiente os esforços devidos a acção dos sismos. Algumas destas simplificações são concretizadas no artigo.

No que se refere ao valor das massas a ter em conta para efeito da determinação da acção dos sismos deve salientar-se que haveria apenas que considerar a parcela das cargas permanentes e das cargas quase permanentes susceptível de transmitir forças à estrutura provocadas pela vibração desta; por simplificação tomou-se, porém, o valor total dessas cargas.

O coeficiente de comportamento referido em 30.3 permite de uma maneira simples ter em conta o comportamento não linear da estrutura quando sujeita à acção dos sismos. É fácil compreender que o valor deste coeficiente seja dependente do tipo de estrutura, dos materiais que a constituem, do grau admissível de exploração da ductilidade dos elementos estruturais e ainda do efeito em consideração. Em geral é necessário considerar coeficientes de comportamento para deformações e coeficientes de comportamento para esforços. Estes últimos coeficientes exprimem, de certo modo, a relação entre os esforços que se obtém em regime linear e os que se desenvolveriam em regime não linear correspondentes uns e outros ao maior valor da acção sísmica que provoca na estrutura um comportamento real (não linear) ainda aceitável.

Quanto às limitações expressas em termos do quociente δ , elas destinam-se a garantir, por um lado, uma resistência mínima das estruturas a forças horizontais e, por outro, a não penalizar inconvenientemente estruturas muito rígidas que possuam uma certa ductilidade; no caso, porém, de construções que possam apresentar um comportamento com acentuadas características de fragilidade como por exemplo aquelas em que a resistência aos sismos é fundamentalmente assegurada por estruturas de alvenaria não contraventada ou não armada, a referida limitação superior não deve ser considerada.

Na simplificação apresentada em 30.4 recorre-se a uma definição estática da acção dos sismos sobre a estrutura. Compreende-se que, para que o método associado a esta simplificação não seja excessivamente complexo, é necessário restringir a sua validade a estruturas com um comportamento dinâmico simples e bem caracterizado pelo que tal método somente é objectivado no Regulamento para os edifícios e pontes cujo comportamento dinâmico para cada uma das direcções ortogonais em que a estrutura se

desenvolve, depende predominantemente do modo de vibração fundamental correspondente.

No caso de edifícios, a condição relativa a distribuição de massas e rigidezes considera-se satisfeita quando, podendo-se definir centros de massa e de rigidez para cada piso, a distância entre estes centros não excede 15% da dimensão do edifício segundo a direcção perpendicular à das forças consideradas. Observe-se que o centro de massa relativo a um piso é o baricentro das massas correspondentes às cargas permanentes e ao valor quase permanente das cargas variáveis associadas a esse piso. O centro de rigidez de um piso pode ser identificado com a intersecção das resultantes de dois sistemas de forças fictícias paralelas a cada arma das direcções em que a estrutura se desenvolve; estas forças são supostas aplicadas no baricentro das secções dos elementos verticais que confinam com o piso e são proporcionais aos momentos de inércia centrais dessas secções relativos a eixos perpendiculares a direcção das forças. Tem sentido fazer esta identificação desde que a rigidez dos elementos estruturais horizontais seja muito diferente da rigidez dos elementos verticais. Caso contrário, não é em geral possível definir o centro de rigidez e, portanto, não será aplicável o método simplificado apresentado em 30.4.

Admite-se que uma estrutura de edifício não é demasiadamente deformável quando a sua frequência própria fundamental é superior quer a 0,5 Hz, quer ao quociente de 8 pelo número de pisos. A limitação da deformabilidade destina-se a garantir que a contribuição dos modos superiores ao fundamental seja desprezável. Esta limitação, conjugada com a existência de uma distribuição aproximadamente uniforme em altura da rigidez, conduz normalmente a que os deslocamentos relativos entre dois nós sucessivos de um elemento vertical de suporte seja inferior a 1.5% da distância entre os referidos nós, o que, por força de 30.6, permite dispensar a consideração da Instabilidade de conjunto da estrutura.

No caso de pontes, as condições indicadas excluem expressamente as pontes suspensas, as pontes em arco e as pontes com pilares inclinados do tipo escora. Note-se ainda que, se a ponte for muito extensa, poderão existir diferenças significativas entre as vibrações sísmicas que actuem na base dos diferentes suportes, facto que deverá ser devidamente considerado na determinação dos efeitos das acções sísmicas sobre a estrutura.

Artigo 31.º — Coeficientes sísmicos

31.1 — Para as construções que satisfaçam as condições expressas em 30.4, o coeficiente sísmico, segundo uma dada direcção, é um coeficiente que, multiplicando o valor das acções gravíticas correspondentes as cargas permanentes e ao valor quase permanente das cargas variáveis, define o valor característico da resultante global das forças estáticas que, convenientemente distribuídas pela estrutura, permitem determinar os efeitos da acção dos sismos na direcção considerada.

31.2 — O valor do coeficiente sísmico β , relativo à acção dos sismos numa dada direcção, é calculado pela expressão:

$$\beta = \beta_0 \frac{\alpha}{\eta}$$

em que:

β_0 — coeficiente sísmico de referência, que depende das características do terreno e da frequência própria fundamental da estrutura na direcção considerada;

α — coeficiente de sismicidade, que depende da zona sísmica em que se localiza a construção e é quantificado em 29.2;

η — coeficiente de comportamento, que depende do tipo da estrutura e das suas características de ductilidade e ainda do grau admitido na exploração dessa ductilidade.

O valor do coeficiente sísmico β a considerar não deve, porém, ser inferior a $0,04\alpha$; por outro lado, se a estrutura apresentar uma certa ductilidade, tal coeficiente não necessita ser considerado com valor superior a $0,16\alpha$.

Os valores do coeficiente de comportamento são indicados nos regulamentos relativos aos diferentes tipos de estruturas e de materiais.

Os valores do coeficiente sísmico de referência são indicados no quadro II, em função da tipificação do terreno referida em 29.2 e da frequência própria fundamental da estrutura.

Quadro II

Valores do coeficiente sísmico de referência β_0

Tipo de terreno	Frequência própria, f (Hz)	β_0
I	$0.5 < f < 5.6$	$0.17\sqrt{f}$
	$f > 5.6$	0.40
II	$0.5 < f < 4.0$	$0.20\sqrt{f}$
	$f > 4.0$	0.40
III	$0.5 < f < 2.0$	$0.23\sqrt{f}$
	$f > 2.0$	0.32

A frequência própria fundamental da estrutura deve ser determinada, para a direcção em que está a ser considerada a acção sísmica, por métodos analíticos ou experimentais convenientemente justificados.

No caso de edifícios, a frequência própria f , poderá também ser estimada pelas expressões:

$$\text{Estruturas em pórtico} \dots\dots\dots f = \frac{12}{n}$$

$$\text{Estruturas mistas pórtico-parede} \dots\dots\dots f = \frac{16}{n}$$

$$\text{Estruturas-parede} \dots\dots\dots f = \frac{6b}{h}$$

em que n é o número de pisos acima do nível do terreno, h é a altura do edifício acima do mesmo nível, b é a dimensão em planta do edifício segundo a direcção considerada e f é expresso em hertz.

Os valores indicados no artigo para os diversos coeficientes de que depende o coeficiente sísmico foram calibrados tendo em conta a definição da acção sísmica apresentada no anexo III e os resultados, obtidos por análise dinâmica, da aplicação desta acção a determinados tipos de estruturas.

O coeficiente sísmico de referência β_0 destina-se a traduzir a influência das propriedades dinâmicas do terreno e da estrutura na resposta desta à acção dos sismos. No que à estrutura diz respeito é possível, restringindo o âmbito do problema às estruturas a que o artigo se aplica, reduzir as propriedades dinâmicas à frequência própria fundamental. Os valores de β_0 indicados correspondem, dentro de certa aproximação, à aceleração máxima que atinge um oscilador linear de um grau de liberdade, com amortecimento viscoso com o valor de 5% do amortecimento crítico, actuado na base pelas acções quantificadas no anexo III para a zona A. No que se refere aos terrenos, porém, o problema reveste-se de maior dificuldade, pois as suas características dinâmicas dependem de múltiplos parâmetros de difícil explicitação; conseqüentemente, houve que limitar às situações mais típicas os dados apresentados.

Quanto à determinação analítica da frequência própria fundamental, recorde-se que na maioria dos casos é admissível utilizar o método de Rayleigh, segundo o qual, uma vez convenientemente discretizada a estrutura num certo número de massas concentradas, a frequência é dada pela expressão

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g \sum F_i d_i}{\sum F_i d_i^2}}$$

em que g é o valor da aceleração da gravidade, F_i é uma força cuja intensidade é igual ao peso da massa i e d_i é o deslocamento provocado na estrutura pelas forças F_i actuando simultaneamente na direcção em relação a qual se está a determinar a frequência própria. Na aplicação deste método há que ter em conta que as massas e as rigidezes que interessam são não só as da estrutura propriamente dita, mas também as dos elementos da construção a ela ligados.

As expressões apresentadas para estimar as frequências próprias de edifícios foram obtidas a partir da consideração dos resultados da análise dinâmica efectuada para estruturas típicas e de valores obtidos experimentalmente.

Estas expressões pressupõem que as estruturas estão preenchidas, em proporções normais, por paredes de alvenaria, as quais contribuem significativamente para a rigidez do edifício.

A diferenciação entre estruturas-parede e estruturas em pórtico pode estabelecer-se a partir da relação entre a rigidez dos elementos verticais e a rigidez dos elementos horizontais, sendo em geral tal relação para as estruturas em pórtico muito inferior à das estruturas-parede. Nas estruturas em pórtico sob acção de forças horizontais, verifica-se mudança dos sinais dos momentos entre as extremidades de todos os troços de pilares delimitados por pisos sucessivos; pelo contrário, nas estruturas-parede não se verifica tal mudança num número significativo de pisos.

A diferenciação em causa pode ser objectivada através do parâmetro ρ_i definido para o piso i por:

$$\rho_i = \frac{\sum_m (I_{vmi} / L_{vmi})}{\sum_n (I_{hni} / L_{hni})}$$

em que I_{vmi} e L_{vmi} representam o momento de inércia e o comprimento entre pisos dos elementos verticais adjacentes ao piso i e I_{hni} e L_{hni} representam o momento de inércia e o comprimento dos elementos horizontais existentes no piso i . O somatório em m abrange todos os elementos verticais adjacentes ao piso i e o somatório em n todos os elementos horizontais existentes no mesmo piso que contribuem para a rigidez da estrutura na direcção considerada. Considera-se que se trata de uma estrutura em pórtico quando os parâmetros ρ_i dos pisos forem inferiores a 10 e de uma estrutura-parede quando forem superiores a 100, nos outros casos trata-se de arma estrutura mista pórtico-parede.

Artigo 32.º — Valores e distribuição das forças estáticas

32.1 — As forças estáticas, cuja resultante global é determinada utilizando o coeficiente sísmico definido no artigo 31.º, devem ser supostas actuando simultaneamente segundo a direcção considerada e ser distribuídas em correspondência com as diversas massas em jogo; o valor de cada uma dessas forças é função do coeficiente sísmico, da massa considerada e do modo como a estrutura se deforma.

32.2 — No caso de edifícios, as forças estáticas podem supor-se aplicadas aos níveis dos pisos, bastando em geral considerar a sua actuação em direcções horizontais.

O valor característico, F_{ki} , da força aplicada ao nível do piso i , relativo a uma dada direcção, é calculado pela expressão:

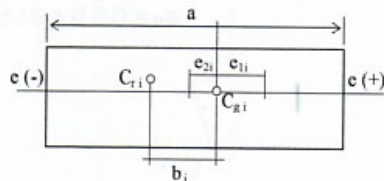
$$F_{ki} = \beta h_i G_i \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{\sum_{i=1}^n h_i G_i}$$

em que:

- β — coeficiente sísmico correspondente à direcção considerada;
- h_i — altura a que se situa o piso i acima do nível do terreno;
- G_i — soma dos valores das cargas permanentes e dos valores quase permanentes das cargas variáveis correspondentes ao piso i ;
- n — número de pisos acima do nível do terreno,

Estas forças devem considerar-se actuando simultaneamente ao nível dos correspondentes pisos, aplicadas todas com excentricidades e_{1i} ou todas com excentricidades e_{2i} , consoante for mais desfavorável; estas excentricidades são definidas em relação ao centro de massa conforme se indica na figura 2.

$$e_{1i} = 0.5 b + 0.05 a$$



$$e_{2i} = 0.05 a$$

$$e_{2i} = 0.05 a$$

- a - dimensão do edifício segundo a direcção perpendicular à força F ;
- $C_{g,i}$ - centro de massa do piso i
- $C_{r,i}$ - centro de rigidez do piso i

Figura 2

No caso de a estrutura ser simétrica em relação a um plano que contém a direcção considerada para a acção sísmica e os seus elementos resistentes estarem uniformemente distribuídos, pode-se considerar que as resultantes das forças estáticas actuam segundo aquele plano de simetria e multiplicar os efeitos assim obtidos por um factor ξ definido por:

$$\xi = 1 + \frac{0.6 x}{a}$$

sendo x a distância entre o elemento em consideração e o referido plano.

32.3 — No caso de pontes, as forças estáticas podem considerar-se aplicadas nos pontos em que se supõem concentradas as massas correspondentes a uma discretização adequada da estrutura.

O valor característico, F_{ki} , da força aplicada na massa i , relativo a uma dada direcção, é calculado pela expressão:

$$F_{ki} = (2 \pi f)^2 \frac{\beta G_i d_i}{g}$$

em que:

- f — frequência própria fundamental da estrutura correspondente à direcção considerada;
- β — coeficiente sísmico correspondente à direcção considerada;
- G_i — soma dos valores das cargas permanentes e dos valores quase permanentes das cargas variáveis correspondentes à massa i ;
- d_i — deslocamentos provocados na estrutura pelas cargas G_i actuando simultaneamente na direcção em que se está a considerar a acção sísmica;
- g — valor da aceleração da gravidade.

A consideração do coeficiente sísmico permite definir a resultante de uma distribuição de forças estáticas, a partir das quais se podem determinar os efeitos da acção dos sismos. Tais forças deverão ser distribuídas pela estrutura em função da repartição das suas massas e do modo como a estrutura se deforma sob a acção dos sismos.

No caso de edifícios considerou-se que as massas se concentram ao nível dos pisos, sendo aí que se supõem actuar as forças estáticas. A lei de distribuição destas forças apresentada no artigo corresponde a uma distribuição aproximadamente triangular com o máximo no topo do edifício.

A dispensa da consideração de acções sísmicas na direcção vertical refere-se à estrutura como um todo e não dispensa que se considerem adequadamente elementos singulares, tais como consolas de grande vão, para os quais esta verificação podará ser necessária.

Com a matéria tratada em 32.2 pretende-se ter em conta os efeitos resultantes da torção global da estrutura, que podem ser muito importantes para alguns dos seus elementos. Recomenda-se, portanto, que a concepção arquitectónica e estrutural dos edifícios permita minimizar o afastamento entre o centro da massa e o centro de rigidez. Porém, mesmo que os dois centros coincidam ($b_i = 0$), haverá que ter em conta ainda uma certa torção (traduzida pela parcela $0,05a$ ou pelo factor ξ) para cobrir assimetrias devidas a comportamento não linear da estrutura e a movimentos de rotação do solo durante o sismo. Chama-se ainda a atenção para que as expressões que definem a posição das forças F_{ki} atendem também a que, devido à natureza dinâmica do problema, a resultante das forças de inércia não passa necessariamente pelo centro de massa, efeito este traduzido pela parcela $0,5 b_i$.

No caso de pontes considerou-se que a estrutura pode ser idealizada por um modelo com massas concentradas. Torna-se, porém, particularmente difícil sugerir regras práticas para proceder a esta discretização, recomendando-se, no entanto, que se considerem massas concentradas nas zonas mais flexíveis da estrutura. Ao contrário do que sucede com os edifícios, não é fácil tipificar para as pontes a distribuição das forças estáticas, sendo, portanto, necessário calcular a deformada da estrutura sob a acção de forças proporcionais às cargas permanentes e quase permanentes e actuando segundo a direcção considerada; a partir desta deformada pode obter-se uma distribuição de forças estáticas que se aproxima razoavelmente da distribuição de forças de inércia correspondente ao modo de vibração fundamental.

É de assinalar ainda que as pontes têm em geral comportamento dinâmico bastante diferenciado nas direcções longitudinal e transversal, e que as condições de apoio das superestruturas podem influenciar fortemente tais comportamentos. No caso particular de se adoptarem dispositivos especiais para dissipar a energia transmitida pelos sismos, haverá que proceder a uma análise que tenha em conta as características dinâmicas de tais dispositivos.

Finalmente, e dado que a experiência mostra que muitos acidentes em pontes são motivados por alguns tramos saírem dos apoios durante a ocorrência de sismos intensos, recomenda-se que se adoptem disposições construtivas adequadas para evitar tal facto.

ANEXO III

2 — Caracterização da acção dos sismos

2.1 — Definição geral

Na determinação dos efeitos da acção dos sismos sobre as estruturas é necessário, em princípio, considerar para esta acção a variabilidade da sua duração e do seu conteúdo em frequências, que dependem, para uma mesma intensidade da acção sísmica, dos valores da magnitude e da distância focal. É suficiente no entanto, verificar a segurança das estruturas em relação a duas acções sísmicas que representem um sismo de magnitude moderada a pequena distância focal (acção sísmica tipo 1) e um sismo de maior magnitude a uma maior distância focal (acção sísmica tipo 2).

A acção dos sismos sobre as estruturas é representada por um conjunto de movimentos do terreno, sendo cada elemento do conjunto um movimento vibratório, variável de ponto para ponto, e provocado pela passagem de ondas dos tipos P, S, de Rayleigh e de Love; em cada ponto este movimento é uma amostra com dada duração (10 segundos para a acção sísmica tipo 1 e 30 segundos para a acção sísmica tipo 2) de um processo estocástico vectorial gaussiano estacionário que apresenta as seguintes características, referidas a um sistema de eixos X_1 , X_2 e X_3 , directo e ortogonal, em que o eixo X_3 é vertical.....

.....

2.2 — Definição simplificada

Nos casos correntes, em que não se dispõe de informação suficiente para a definição da acção dos sismos segundo o estabelecido em 2.1, podem adoptar-se as simplificações indicadas nas alíneas seguintes, que, em geral, conduzem ainda a uma caracterização satisfatória desta acção:

- a) Em cada ponto pode considerar-se que as densidades espectrais conjuntas dos movimentos segundo quaisquer dois dos eixos referidos em 2.1 são nulas;
- b) Os efeitos da variação espacial do movimento sísmico podem ser quantificados a partir da função de autocorrelação, sendo admissível considerar que, por cada banda de frequências em que o movimento pode ser decomposto, esta função se anula para distâncias da ordem de 2 a 6 comprimentos de onda;
- c) Quando a distância máxima entre quaisquer dois apoios da estrutura for inferior a 100 m é admissível considerar rígida a sua base, substituindo os efeitos da variação espacial por movimentos de rotação adequadamente quantificados.

2.3 — Quantificação por meio de espectros de resposta

No caso de estruturas em que as frequências próprias dos modos de vibração que contribuem de forma significativa para a resposta estão bem separadas (relação entre duas quaisquer frequências situada fora do intervalo 0,67 a 1,5), a acção sísmica pode, simplificada, ser quantificada por espectros de resposta médios. Tais espectros, relativamente às componentes horizontais de translação, são dados, para a zona A, nas figuras III-2, III-3 e III-4; para as restantes zonas, deverão multiplicar-se as ordenadas desses espectros pelos coeficientes de sismicidade respectivos. Os espectros de resposta médios relativos à componente vertical obtêm-se dos anteriores multiplicando por dois terços as respectivas ordenadas. Quanto aos espectros relativos às componentes de rotação, eles deverão ser quantificados adequadamente com base nos espectros apresentados.

A resposta correspondente a cada modo de vibração pode ser obtida por uma ponderação quadrática, efectuada por meio da raiz quadrada da soma dos quadrados da resposta devida a cada um dos espectros pelos quais é quantificada a acção sísmica; por sua vez, a resposta global da estrutura pode ser estimada por uma ponderação análoga das respostas correspondentes a cada modo de vibração.

Observe-se que a quantificação da acção sísmica por meio de espectros de resposta é somente aplicável, em princípio, às estruturas para as quais seja válida a simplificação referida em 2.2, alínea c); ela pode, no entanto, ser ainda utilizada fora desta limitação desde que os efeitos da variação do movimento sísmico de ponto para ponto sejam considerados.

Artigo 33.º — Acção dos sismos

33.1 — Os coeficientes de comportamento, a utilizar segundo os critérios definidos no RSA na determinação dos efeitos da acção dos sismos, devem ser convenientemente justificados tendo em conta o tipo de estrutura e as suas características de ductilidade, distinguindo-se, deste último ponto de vista, estruturas de ductilidade normal e estruturas de ductilidade melhorada; as primeiras limitam-se a cumprir as disposições de projecto e as disposições construtivas que constam dos capítulos X e XI do presente Regulamento e as segundas satisfazem também as disposições do capítulo XII.

33.2 — No caso de edifícios correntes, tal como são definidos no RSA, podem adoptar-se para as direcções horizontais os seguintes coeficientes de comportamento relativos a esforços:

Estruturas em pórtico:

Ductilidade normal	2,5
Ductilidade melhorada	3,5

Estruturas mistas pórtico-parede:

Ductilidade normal	2,0
Ductilidade melhorada	2,5

Estruturas-parede:

Ductilidade normal	1,5
Ductilidade melhorada	2,0

Os coeficientes de comportamento relativos a esforços gerados pela vibração na direcção vertical, bem como os relativos a deformações, devem, em todos os casos, ser tomados iguais à unidade.

33.3 — No caso de pontes correntes, tal como são definidas no RSA, podem adoptar-se para as direcções horizontais os seguintes coeficientes de comportamento relativos a esforços:

Pontes em que a energia transmitida pelos sismos é predominantemente absorvida por deformação dos pilares devida principalmente a esforços de flexão:

Ductilidade normal	2,0
Ductilidade melhorada	3,0

Pontes em que a energia transmitida pelos sismos é predominantemente absorvida por deformação dos pilares devida principalmente a esforços transversos:

Ductilidade normal	1,4
Ductilidade melhorada	1,7

Os coeficientes de comportamento relativos a esforços gerados pela vibração na direcção vertical, bem como os relativos a deformações, devem, em todos os casos, ser tomados iguais a unidade.

33.4 — Nos casos de edifícios e pontes cuja operacionalidade tenha de ser assegurada após a ocorrência de um sismo intenso (hospitais, quartéis de bombeiros, centros de telecomunicações, pontes em itinerários fundamentais, etc.), os valores a adoptar para os coeficientes de comportamento relativos a esforços devem ser 30% inferiores aos que se deveriam considerar se não fosse necessário manter a referida operacionalidade, não se exigindo contudo que sejam inferiores a unidade.

Como se sabe, os coeficientes de comportamento destinam-se a corrigir os efeitos da acção dos sismos obtidos por uma análise linear de modo a transformá-los nos valores que se obteriam por uma análise não linear. Compreende-se, no entanto, que estes coeficientes, além de serem função do tipo de estrutura e das suas características de ductilidade, dependam também do efeito em causa. No presente Regulamento apenas são quantificados coeficientes de comportamento para edifícios e pontes correntes, tendo-se considerado suficiente definir coeficientes relativos aos esforços e às deformações, sem distinguir o tipo de esforços ou de deformações.

Lembra-se que por edifícios e pontes correntes se entendem as construções que obedecem as condições para tal especificadas no RSA. No caso de edifícios, tais condições implicam que as estruturas tenham uma distribuição de rigidez aproximadamente uniforme em altura, o que não é compatível com grandes discontinuidades nas alvenarias de andar para andar ou com o emprego de processos de construção que possam facilitar que essa discontinuidade se crie durante a ocorrência do sismo. Relativamente à classificação das estruturas em pórticos, paredes e mistas, recorde-se que esta diferenciação é feita no RSA com base na relação entre a rigidez dos elementos horizontais e a dos elementos verticais.

No caso de edifícios e pontes não correntes, os coeficientes de comportamento eventualmente adoptados devem ser convenientemente justificados, devendo, porém, considerar-se os valores apresentados no artigo como limites superiores que não deverão ser excedidos.