

Espetro de Resposta para prédio localizado em Leiria

Luis Moura

28 Março 2018

Espetros de resposta de aceleração e deslocamentos, devidos à acção sísmica regulamentar, determinando os valores da aceleração e deslocamento espectral de um edifício em Leiria, com 1GL

1	Identificação do Tipo de Terreno	1
2	Classe de Importância e Coeficiente de Importância	1
3	Definição do Zoneamento Sísmico	2
4	Aceleração de Cálculo	2
5	Espetro de Resposta Elástica Horizontal	2
5.1	Cálculo: Parâmetro S para sismo tipo 1	3
5.2	Cálculo: Parâmetro S para sismo tipo 2	4
5.3	Espetro de Resposta Elástica Tipo 1	4
5.4	Espetro de Resposta Elástica Tipo 2	5
5.5	Espetro de resposta elástica de aceleração - sumário	5
6	Espetro de Resposta Elástica de Deslocamento	6

1 Identificação do Tipo de Terreno

Identificação do tipo de terreno de acordo com Tabela, do Eurocódigo 8 [Instituto Português de Qualidade LNEC, 2010] e a classificação resumida na tabela 1

Descrição do Perfil Estratigráfico: “Depósitos profundos de areia compacta ou mediamente compacta, de seixo (cascalho) ou de argila rija com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros.”

Tabela 1: Tipo de Terreno

Tipo de Terreno	$v_{s,30}(m/s)$	N_{spt}	$C_u(kPa)$
C	180-360	15-50	70-250

2 Classe de Importância e Coeficiente de Importância

Edifício classificado com *Classe de Importância II*, segundo o Quadro 4.3, do Eurocódigo 8. Para um edifício de Importância II, e de acordo com a mesma secção da norma, o *Coeficiente de Importância* é 1, $\gamma_1 = 1,0$ ¹.

Tabela 2: Classe de Importância e Coeficiente de Importância

Descrição	Classe de Importância	Coeficiente de Importância
Prédio/Residencial	II	1

Espetro de Resposta:

“Se for conhecida a acção e as características dinâmicas do sistema [frequência (f) e amortecimento (ξ)], é possível determinar a resposta máxima desse sistema durante um determinado intervalo de tempo e que representa uma envolvente da resposta. Se aplicarmos a mesma acção a um sistema com diferentes características dinâmicas (diferente frequência e/ou diferente coeficiente de amortecimento) e determinarmos a resposta máxima obtemos mais um ponto da envolvente da resposta. Se este procedimento for repetido para uma gama de frequências e amortecimentos considerável, o conjunto dos valores máximos de resposta representam o que vulgarmente se designa por **espectro de resposta** (response spectra). Normalmente determinam-se vários espectros de resposta com um dado amortecimento fazendo o varrimento no domínio da frequência.”

— João Veludo, “Resposta a Ações Sísmicas. Espectro de resposta”, 2019

¹ O Quadro NA.II do Anexo Nacional, mantém o valor do coeficiente de importância em 1.

3 Definição do Zoneamento Sísmico

Para o concelho de Leiria, o Anexo AN.I do EC8 define a zona sísmica e a aceleração para os dois tipos de sismo considerados para Portugal Continental:

Tabela 3: Leiria - Sismo Tipo I

Concelho	Aceleração $a_{gR}(m/s^2)$	Zona Sísmica
Leiria	0.6	1.5

Tabela 4: Leiria - Sismo Tipo II

Concelho	Zona Sísmica	Aceleração $a_{gR}(m/s^2)$
Leiria	2.4	1.1

4 Aceleração de Cálculo

“Na actual nova regulamentação portuguesa (NA, 2009), são previstos dois tipos de acção sísmica de dimensionamento, sendo um deles (Acção tipo 1) representativo de um sismo de grande magnitude com epicentro na região Atlântica (cenário sísmico designado por “afastado”), e o outro (Acção tipo 2) que representa uma acção com características de um sismo de magnitude moderada com epicentro no território Continental (ou no Arquipélago dos Açores) (cenário “próximo”).”

— Luis Guerreiro[Guerreiro, 2010]

O valor de cálculo da aceleração à superfície do terreno e feito de acordo com a secção 3 do Eurocódigo 8.

$$a_g = \gamma_I \times a_{gR} \tag{1}$$

em que:

- a_g é o valor de cálculo da aceleração à superfície do terreno
- γ_I é o coeficiente de importância
- a_{gR} é a valor de referência da aceleração máxima à superfície do terreno.

No caso do prédio em estudo, o valor de γ_I é 1 para ambos os tipos de sismos. Assim, o valor da aceleração de cálculo, a_g , é igual à aceleração máxima, a_{gR} , determinada nas tabelas 3 e 4.

Tabela 5: Aceleração de Cálculo

Tipo de Sismo	$a_g(m/s^2)$
I	0.6
II	1.1

5 Espectro de Resposta Elástica Horizontal

“O movimento sísmico num dado ponto da superfície do terreno é representado por um espectro de resposta elástica da aceleração à superfície do terreno”²

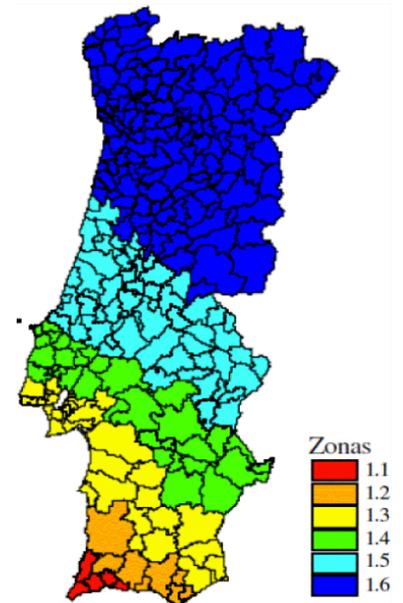


Figura 1: Acção Sísmica Tipo 1 em Portugal Continental - Imagem do Eurocódigo 8

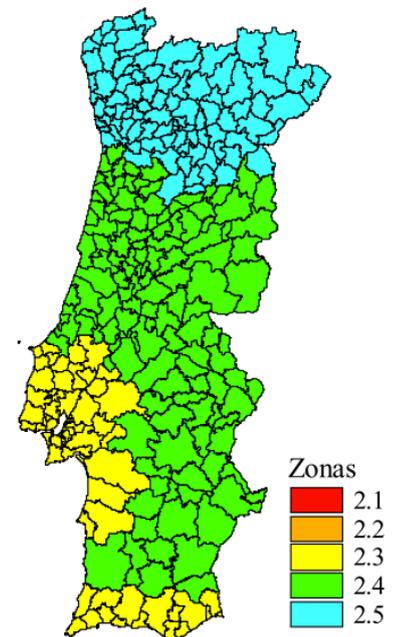


Figura 2: Acção Sísmica Tipo 2 em Portugal Continental - Imagem do Eurocódigo 8

² EC8 (3.2.2.1)

Os cálculos e equações apresentadas, são em acordo com o Eurocódigo 8³

$$0 \leq T \leq T_B \quad : \quad S_e(T) = a_g \times S \times \left[1 + \frac{T}{T_B} \times (\eta \times 2,5 - 1) \right] \quad (2)$$

$$T_B \leq T \leq T_C \quad : \quad S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times 2,5 \quad (3)$$

$$T_C \leq T \leq T_D \quad : \quad S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times 2,5 \times \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad (4)$$

$$T_D \leq T \leq 4s \quad : \quad S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times 2,5 \times \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \quad (5)$$

em que:

- $S_e(T)$ é o espectro de resposta elástica
- T período de vibração de um sistema linear com um grau de liberdade;
- a_g é o valor de cálculo da aceleração à superfície para um terreno do tipo A ($a_g = \gamma_1 \times a_{gR}$);
- T_B é o limite inferior do período no patamar de aceleração espectral constante;
- T_D é o valor que define no espectro o início do ramo de deslocamento constante;
- S é o coeficiente de solo;
- η é o coeficiente de correcção do amortecimento, com valor de referência $\eta = 1$ para 5% de amortecimento viscoso.

No entanto, para Portugal, o Anexo Nacional no artigo NA-3.2.2.2(2)P, diz que para “definição dos espectros de resposta elástica, o valor do parâmetro S deve ser determinado através de”:

- Para $a_g \leq 1m/s^2$, S toma o valor de S_{max} .
- Para $1m/s^2 < a_g < 4m/s^2$, O valor de S é determinado por $S = S_{max} - \frac{S_{max}-1}{3} \times (a_g - 1)$
- Para $a_g \geq 4m/s^2$, o valor de $S = 1,0$

Os valores da tabela de “Parâmetros dos espectros de resposta elástica” (tabela 6) foram obtidos do Quadro NA-3.2 e NA-3.3 do Anexo Nacional do Eurocódigo 8.

Tabela 6: Parâmetros dos espectros de resposta elástica

Tipo Sismo	S_{max}	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
I	1.6	0.10	0.6	2.0
II	1.6	0.10	0.25	2.0

“A definição dos espectros de resposta de dimensionamento é obtida a partir de um espectro de resposta elástico afectado do valor do coeficiente de comportamento. O valor do coeficiente de comportamento depende essencialmente da ductilidade da estrutura. O espectro de resposta elástico é função da sismicidade do local, das características do terreno de fundação e do coeficiente de amortecimento a considerar na estrutura.”

— Luis Guerreiro[Guerreiro, 2010]

5.1 Cálculo: Parâmetro S para sismo tipo 1

O Cálculo é realizado em Python⁴, sendo necessário a introdução dos parâmetros para o tipo

³ Secção 3.2.2.2, “Espectro de Resposta elástica horizontal”, do Eurocódigo 8.

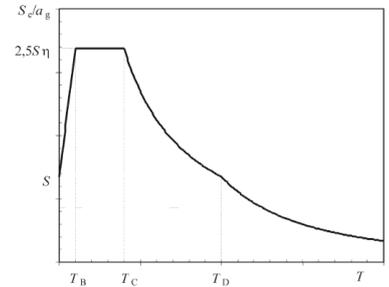


Figura 3: Forma do espectro de resposta elástica. “Eurocódigo 8”, Figura 3.1

Acção Sísmica Tipo 1

“Sismo afastado” – sismo de maior magnitude a uma maior distância focal (epicentro na região Atlântica) – Afeta estruturas mais rígidas

Acção Sísmica Tipo 2

“Sismo próximo” – sismo de magnitude moderada e pequena distância focal (epicentro no território Continental, ou nos Açores) – Afeta estruturas mais flexíveis

⁴ Todos os cálculos deste trabalho, foram realizados em Python, usando Jupyter Notebook. Faz parte complementar deste trabalho, um ficheiro em python (.py), com o todo o código informático utilizado nos cálculos.

de sismo 1.

```
# Introdução dos parâmetros para tipo 1
Smax_1=1.6
ag_1=0.6
Tb_1=0.1
Tc_1=0.25
Td_1=2
eta_1=1
S_1=N(Smax_1-((Smax_1-1)/3)*(ag_1-1),3)
```

$$S = S_{max} - \frac{S_{max} - 1}{3} \times (a_g - 1) = 1,6 - \frac{1,6 - 1}{3} \times (0,6 - 1)$$

O valor do *Parâmetro S*⁵ para uma situação de um sismo de origem do tipo 1, é de **1.68**

⁵ *S* é o coeficiente de solo. *S_{max}* é obtido da tabela 6

5.2 Cálculo: Parâmetro S para sismo tipo 2

O Cálculo é realizado em Python, sendo necessário a introdução dos parâmetros para o tipo de sismo 2.⁶

```
# Introdução dos parâmetros para tipo 2
Smax=1.6
ag=1.1
Tb=0.1
Tc=0.25
Td=2
eta=1
S=Smax-((Smax-1)/3)*(ag-1)
```

$$S = S_{max} - \frac{S_{max} - 1}{3} \times (a_g - 1) = 1,6 - \frac{1,6 - 1}{3} \times (1,1 - 1)$$

O valor do *Parâmetro S*⁷ para uma situação de um sismo de origem do tipo 2, é de **1.58**

⁷ *S* é o coeficiente de solo. *S_{max}* é obtido da tabela 6

5.3 Espectro de Resposta Elástica Tipo 1

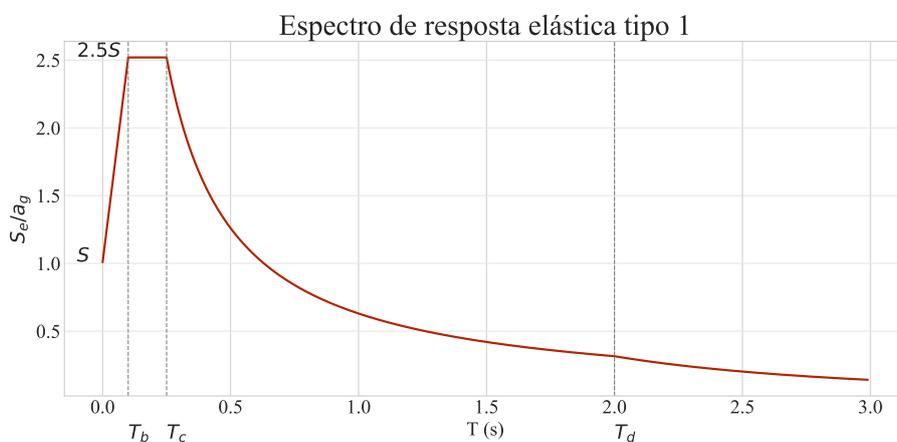


Figura 4: Espectro de Resposta Elástica de tipo 1, para terreno tipo C, no concelho de Leiria e com 5% de amortecimento

“Os valores dos períodos de referência limitam as zonas do espectro de resposta com determinadas características específicas. Assim, a zona do espectro entre o período T_B e T_C corresponde à zona com valor constante de aceleração espectral. A zona compreendida entre T_C e T_D por sua vez corresponde à zona de velocidade constante e, por fim, para períodos superiores a T_D os deslocamentos espectrais são constantes. Estas características impostas ao espectro de resposta correspondem a um conjunto de propriedades que se verificam, de forma aproximada, na maioria dos espectros de resposta reais.”

— Luis Guerreiro[Guerreiro, 2010]

5.4 Espectro de Resposta Elástica Tipo 2

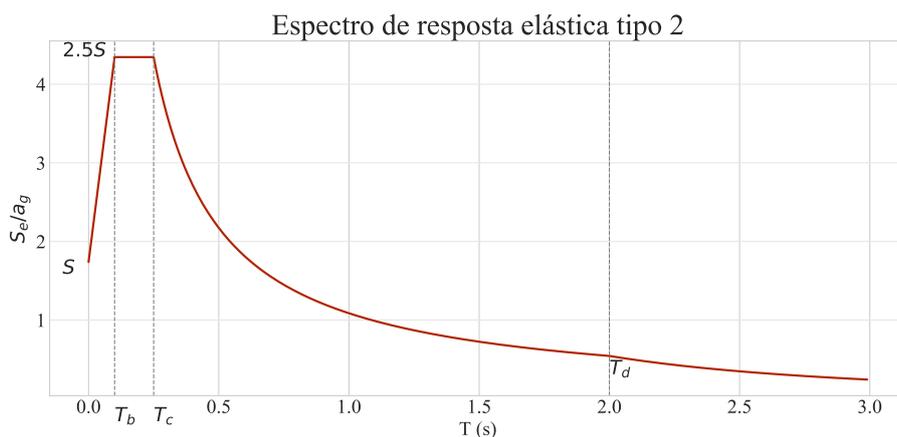


Figura 5: Espectro de Resposta Elástica de tipo 2, para terreno tipo C, no concelho de Leiria e com 5% de amortecimento

5.5 Espectro de resposta elástica de aceleração - sumário

A tabela 7 apresenta o sumário dos parâmetros utilizados e seus respectivos valores.

Tabela 7: Tabela com os valores das referências para os dois tipos de sismos

Parâmetros	Tipo 1	Tipo 2
Localização	Leiria	Leiria
Tipo de Terreno	C	C
Coefficiente de Importância	1	1
Coefficiente de correcção do amortecimento η	1	1
Aceleração à superfície, a_g	0.6	1.1
Parâmetro S_{max}	1.6	1.6
Parâmetro $T_B(s)$	0.1	0.1
Parâmetro $T_C(s)$	0.25	0.25
Parâmetro $T_D(s)$	2	2
Parâmetro S	1.68	1.58
Espectro de Resposta:	—	—
$S_e(T = 0)$	1.008	1.738
$S_e(T = T_B)$	2.52	4.345
$S_e(T = 0.15)$	2.52	4.345
$S_e(T = 0.20)$	2.52	4.345
$S_e(T = T_C)$	2.52	4.345
$S_e(T = 0.5)$	1.26	2.173

Parâmetros	Tipo 1	Tipo 2
$S_e(T = 1)$	0.63	1.086
$S_e(T = 1.5)$	0.42	0.724
$S_e(T = T_D)$	0.315	0.543
$S_e(T = 2.5)$	0.202	0.348
$S_e(T = 3)$	0.14	0.241

6 Espectro de Resposta Elástica de Deslocamento

O espectro de resposta elástica de deslocamento, $S_{De}(T)$, é obtido directamente da transformação do espectro de resposta elástica de aceleração, $S_e(T)$ de acordo com o Eurocódigo 8. [Instituto Português de Qualidade LNEC, 2010]

$$S_{De}(T) = S_e(T) \left[\frac{T}{2\pi} \right]^2 \quad (6)$$

Para a figura 6 e figura 7, o valor de T é inferior a 4 segundos, sendo este o limite para a qual se pode usar a equação 6. Para $T > 4s$, o Eurocódigo prevê o uso das equações 7 e 8

$$T_E \leq T \leq T_F : S_{De}(T) = 0,025a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \left[2,5\eta + \left(\frac{T - T_E}{T_F - T_E} \right) (1 - 2,5\eta) \right] \quad (7)$$

$$T \geq T_F : S_{De}(T) = d_g \quad (8)$$

Tabela 8: Períodos de controlo adicionais para o espectro do deslocamento tipo 1 (Eurocódigo 8: Anexo A - Quadro A-1)

Tipo de Terreno	$T_e(s)$	$T_f(s)$
C	6	10

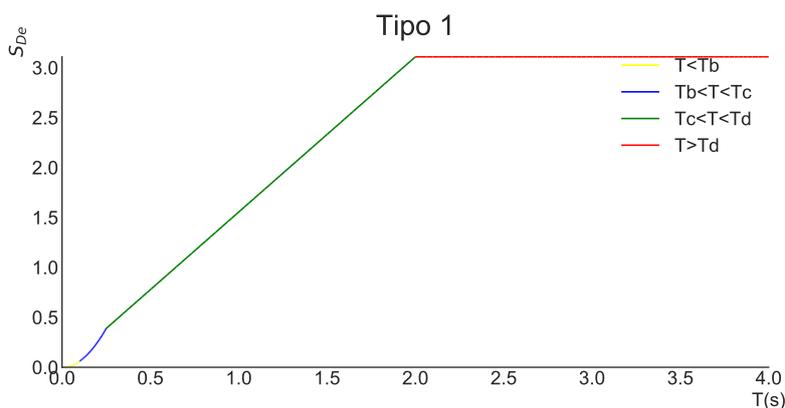


Figura 6: Espectro de resposta elástica de deslocamento para sismo tipo 1, para terreno tipo C, no concelho de Leiria e com 5% de amortecimento

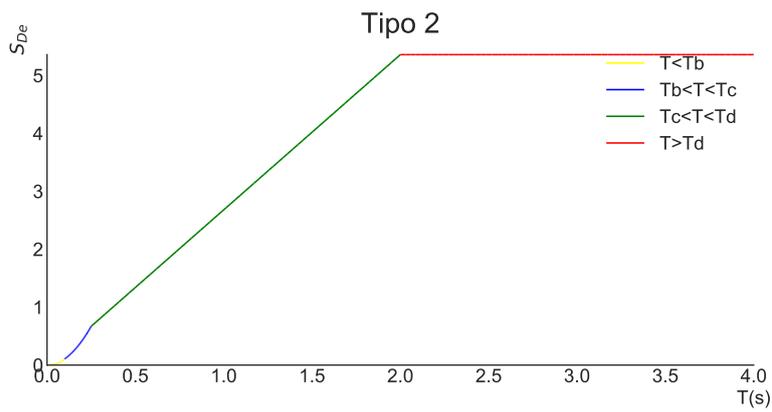


Figura 7: Espectro de resposta elástica de deslocamento para sismo tipo 2, para terreno tipo C, no concelho de Leiria e com 5% de amortecimento

Referências

L. Guerreiro. Engenharia sísmica de pontes. 2010. (Accessed on 03/28/2019).

Instituto Português de Qualidade LNEC. Eurocódigo 8 – projecto de estruturas para resistência aos sismos parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios. 2010.