

## **“PRÉMIO RICARDO TEIXEIRA DUARTE 2014”**

### **1ª Circular – Informação sobre o modelo físico e sobre os ensaios em plataforma sísmica**

#### **1 Introdução**

O concurso “Prémio Ricardo Teixeira Duarte” (Concurso RTD) é uma iniciativa do LNEC patrocinada pelo Grupo Teixeira Duarte através da qual se convida a comunidade técnica e científica a prever antecipadamente, através de simulações numéricas, a resposta sísmica experimental de uma estrutura que será ensaiada na plataforma sísmica do LNEC durante o mês de novembro de 2014. Este concurso realiza-se este ano pela primeira vez no âmbito das Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas (JPÉE2014 - [jpee2014.lnec.pt](http://jpee2014.lnec.pt)), durante as quais serão divulgados os resultados do concurso. A equipa vencedora será homenageada pelo presidente da comissão de júri do concurso na sessão de entrega de prémios prevista no programa das Jornadas.

As equipas concorrentes são convidadas a prever o comportamento sísmico não linear de uma estrutura plana em pórtico de betão armado, com dois pisos, dimensionada com pouca ductilidade e representativa de estruturas construídas antes da regulamentação sísmica atualmente em vigor. As previsões efetuadas por cada equipa serão avaliadas com base nos resultados obtidos com um modelo físico real ensaiado na plataforma sísmica do LNEC. Será fornecida às equipas concorrentes informação detalhada sobre a estrutura e sobre o ensaio. A avaliação e classificação das propostas concorrentes terão como base o valor do erro das estimativas numéricas da resposta estrutural em pontos de controlo no modelo físico, em relação aos valores medidos experimentalmente dos mesmos parâmetros da resposta.

#### **2 Descrição do modelo físico**

O modelo físico a ensaiar no âmbito deste concurso é uma estrutura plana de betão armado com a geometria ilustrada na Figura 1. Trata-se de um pórtico com dois vãos e dois pisos, sendo os pilares na base

ligados a uma viga de fundação que será fixada à plataforma sísmica. Em cada um dos pilares foi deixada uma bainha centrada com o eixo do pilar, como está ilustrado na Figura 1, através da qual será aplicado pré-esforço vertical não aderente.

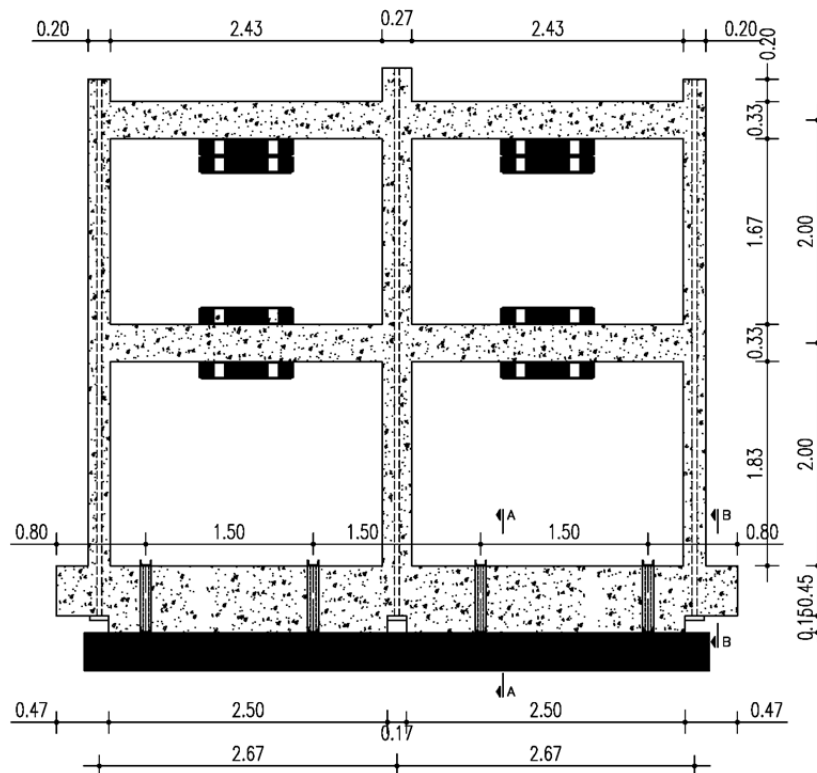


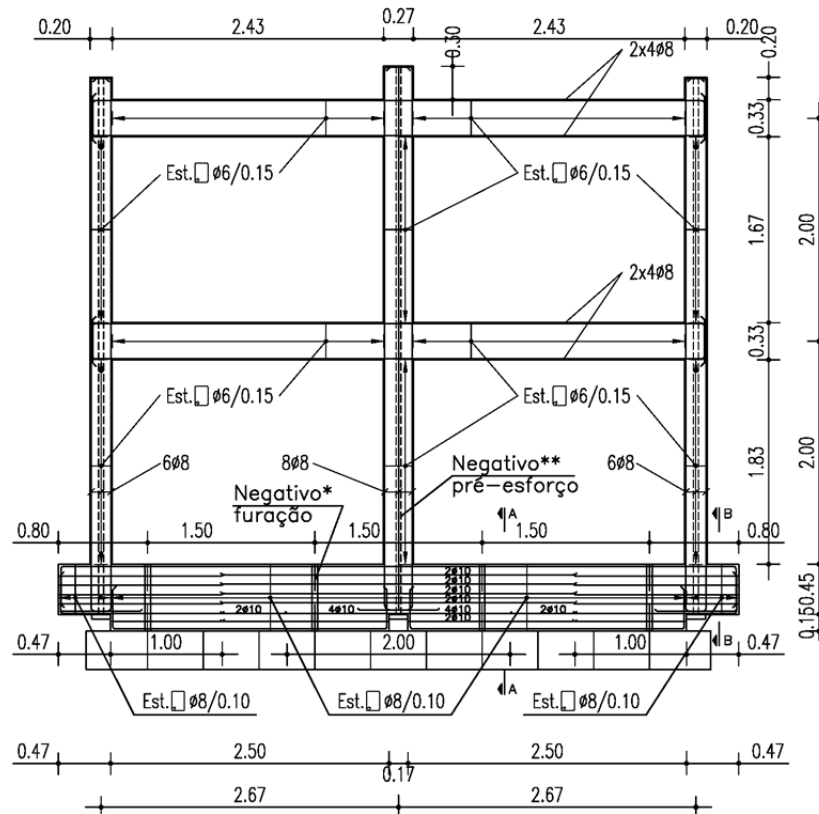
Figura 1 – Geometria do modelo RTD2014 e localização das massas (dimensões em m)

Com o objetivo de aumentar as cargas verticais na estrutura, será utilizado um conjunto de oito massas metálicas adicionais, com um peso de cerca de 5,8 kN cada, constituídas por blocos de aço. Serão colocadas quatro massas em cada piso amarradas às vigas e dispostas como se ilustra na Figura 1, centradas com o meio vão das vigas.

Os pormenores de dimensionamento da estrutura são apresentados na Figura 2. Foram considerados os seguintes materiais:

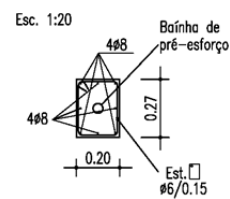
- Betão C10/12 ( $f_{ck} = 10$  MPa;  $f_{ctk, 0,05} = 1,0$  MPa;  $f_{ctk, 0,95} = 1,8$  MPa);
- Aço A500NR ( $f_{yk} = 500$  MPa).

A estrutura foi construída em agosto de 2013, tendo sido na altura da construção ensaiadas seis amostras do aço utilizado (três varões  $\phi 6$  mm e três varões  $\phi 8$  mm) e cinco provetes de betão. Os resultados obtidos nos ensaios dos materiais estão indicados nos Quadros 1 e 2.

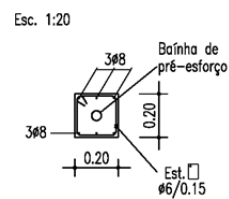


\* a viga de fundação terá 4 furos com 50mm de diâmetro para ligação à mesa sísmica.  
 \*\* cada pilar terá um negativo com 50mm de diâmetro para colocação de barras de pré-esforço.

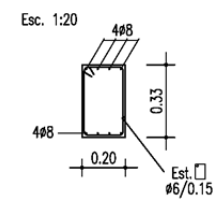
PILAR CENTRAL



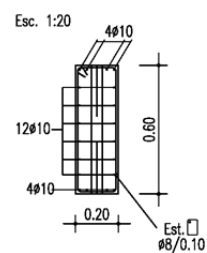
PILARES LATERAIS



VIGAS



VIGA DE FUNDAÇÃO  
CORTE A-A



CORTE B-B

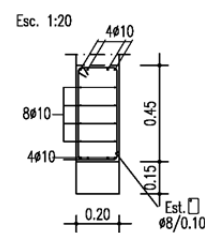


Figura 2 – Dimensionamento do modelo RTD2014

Quadro 1 – Ensaio de resistência de provetes de betão (LNEC, 2013)

Ensaio de compressão

Identificação do provete*	Classe*	Data		Idade (dias)	Dimensões (mm)	Secção (mm <sup>2</sup> )	Massa (g)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )**	Rotura		Obs.
		Fabrico*	Ensaio						Força (kN)	Tensão (MPa)	
1	-	2013-08-16	2013-09-13	28	150X150X150	22500	7743	2290	275	12,2	-
2	-	2013-08-16	2013-09-13	28	150X150X150	22500	7760	2300	275	12,2	-
3	-	2013-08-16	2013-09-13	28	150X150X150	22500	7738	2290	280	12,4	-

\* Dados da responsabilidade do cliente.

\*\* Ensaio fora do âmbito da acreditação, com a determinação do volume efetuada pela medição das dimensões do provete.

Ensaio de flexão

Identificação do provete*	Data de ensaio	Idade (dias)	Dimensões (mm)			Vão (mm)	Rotura		Localização da rotura**
			d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	Comprimento		Força (kN)	Tensão (MPa)	
A	2013-09-13	28	150	150	600	450	16,4	2,2	N
B	2013-09-13	28	150	150	600	450	18,3	2,4	N

\* Dados fornecidos pelo cliente;

\*\* Localização da rotura: N (interior aos roletes superiores), E (exterior aos roletes superiores).

Quadro 2 – Ensaio de resistência de amostras de varões de aço (U. Aveiro, 2013)

Resistência à tração – data do ensaio: 10 de outubro de 2013						
Diâmetro	Φ6			Φ8		
E (GPa)	179,52	197,04	265,36	175,39	201,52	198,93
σ <sub>rot</sub> (MPa)	642,30	653,26	650,50	658,61	657,33	656,25

De forma a aumentar o esforço normal de compressão nos pilares, e assim impedir que sofram esforços de tração quando sujeitos às ações laterais, será aplicado um pré-esforço vertical não aderente com valor nominal de 30 kN no pilar central e de 20 kN nos pilares laterais em varões de aço com diâmetro  $\phi 26$  mm que serão introduzidos nas bainhas deixadas nos três pilares na altura da construção (Fig. 1).

Apresentam-se na Figura 3 os diagramas tensão-extensão obtidos a partir dos resultados dos ensaios das seis amostras de aço.

A análise dos Quadros 1 e 2 e da Figura 3 mostra que o aço tem características compatíveis com a classe escolhida, mas que o betão tem uma resistência média inferior à prevista. Salienta-se, no entanto, que o tempo já decorrido desde a altura da construção pode ter contribuído para um ligeiro aumento da resistência do betão.

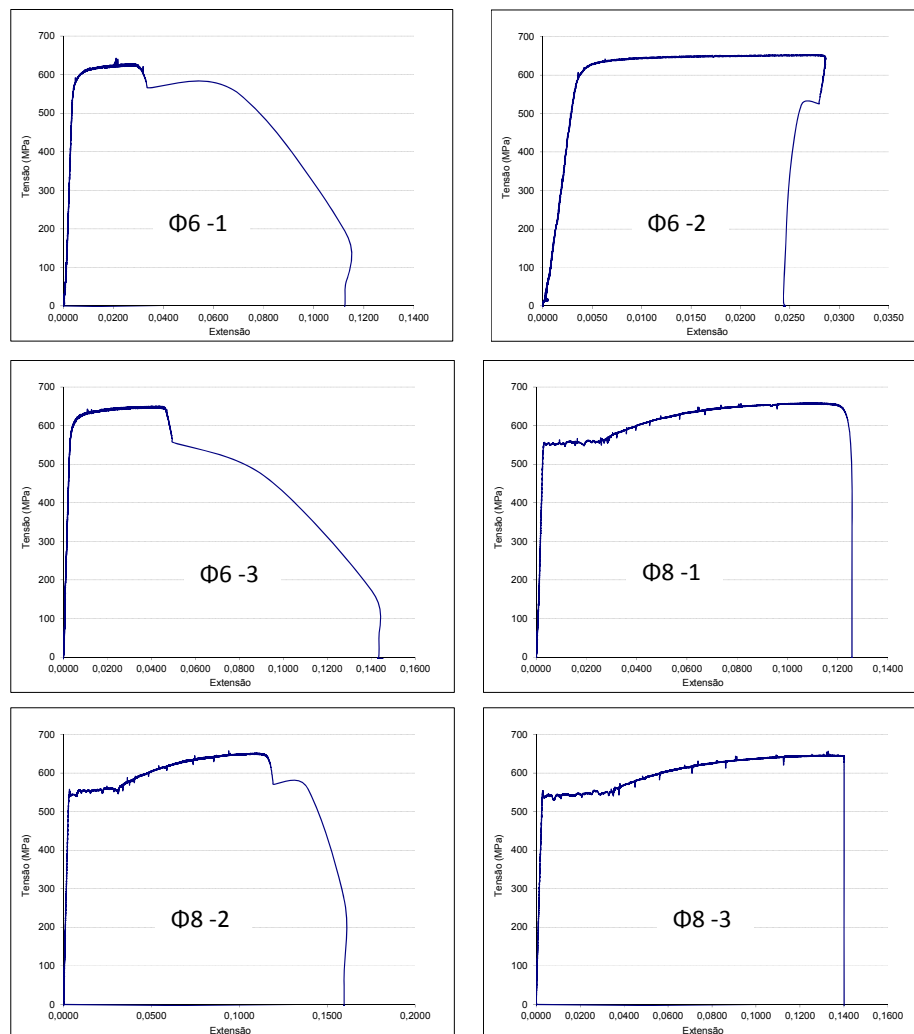


Figura 3 – Diagramas  $\sigma$ - $\epsilon$  obtidos nos ensaios das amostras de aço do modelo RTD2014

### 3 Descrição dos ensaios

#### 3.1 Ensaios sísmicos

Os ensaios sísmicos do modelo físico descrito serão realizados na plataforma sísmica triaxial do LNEC, cujas características principais podem consultar-se em:

<http://www.lnec.pt/organizacao/de/nesde/ptriaxialcaracteristicas>

O modelo físico será fixado à plataforma sísmica, esquematizada na Figura 4, e posicionado na direção longitudinal (N-S).

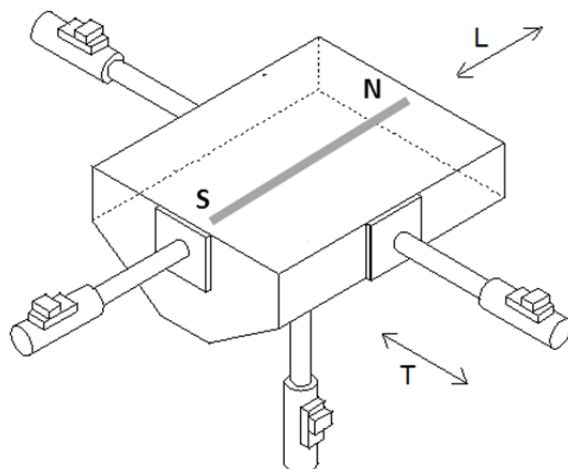


Figura 4 – Esquema da plataforma sísmica do LNEC

Será aplicada uma ação horizontal no plano do pórtico segundo a direção longitudinal da plataforma (N-S), sendo os deslocamentos positivos de Norte para Sul. Para impedir eventuais deslocamentos para fora do plano, o modelo será envolvido por uma estrutura metálica auxiliar que guiará os deslocamentos ao nível da viga do piso superior.

### 3.2 Excitação sísmica

Para a definição da ação sísmica, considerou-se o espectro de referência que se representa na Figura 5 para um coeficiente de amortecimento crítico  $\zeta = 5\%$ . Este espectro foi construído a partir dos valores máximos estimados para a aceleração, velocidade e deslocamento do solo (Quadro 3), considerando os valores do 84º percentil (valor mediano acrescido de um desvio-padrão) dos fatores de amplificação propostos por Newmark and Hall (1982) e tendo em conta os limites da plataforma sísmica em termos de deslocamento, velocidade e aceleração.

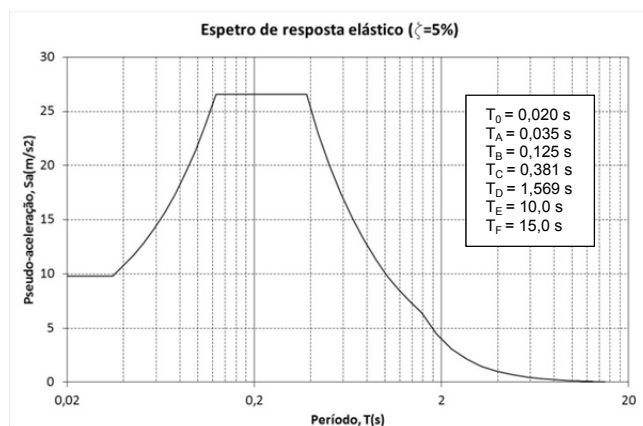


Figura 5 – Espectro de resposta de referência RTD2014 (espectro “target” para 1g)

Quadro 3 – Valores de pico do movimento no solo e fatores de amplificação para  $\zeta = 5\%$

Valores de pico (solo)	Fator de amplificação
$a_g = 1g$	2,71
$v = 70 \text{ cm/s}$	2,30
$d = 200 \text{ mm}$	2,01

A série de acelerações escolhida para a excitação de base, para a aceleração de pico nominal de 1g, foi gerada a partir deste espectro e está representada na Figura 6.

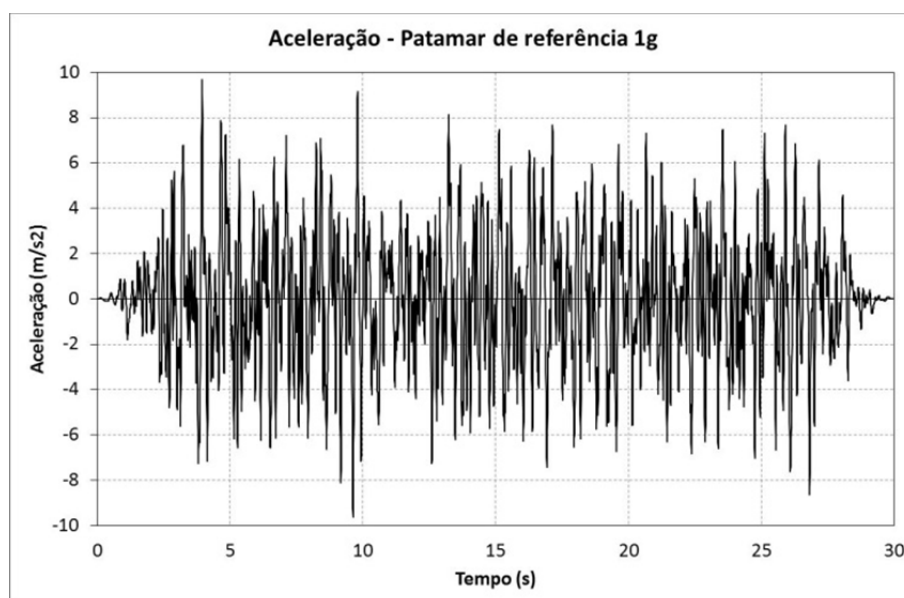


Figura 6 – Excitação de base para os ensaios RTD2014 (série “target” para 1g)

Serão realizados cinco ensaios sísmicos sucessivos, para cinco patamares de intensidade crescente da ação, correspondentes a valores nominais da aceleração de pico de 0,1g, 0,2g, 0,4g, 0,6g, e 0,8g. Foram utilizadas nestes ensaios cinco séries “target” de aceleração obtidas pelo escalonamento da excitação de base da Fig. 6.

Os sinais a injetar no atuador da plataforma nos diferentes ensaios foram obtidos a partir da adaptação das cinco séries “target”, de forma a ter em conta as funções de transferência de todo o sistema (plataforma, atuadores e massa do modelo e da estrutura auxiliar). O objetivo desta adaptação é aplicar na base do modelo, durante os ensaios, os movimentos que mais se aproximem dos sinais pretendidos.

Ilustram-se na Figura 7 os espectros de resposta das séries “target” para os cinco patamares de ensaio e das séries obtidas após adaptação. As séries após adaptação ilustram-se na Figura 8 e correspondem às séries que serão utilizadas nos ensaios.

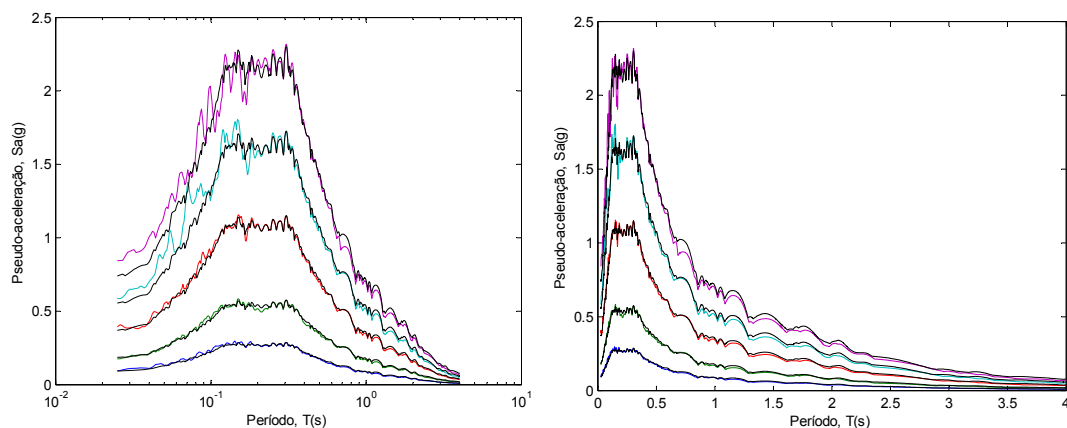


Figura 7 – Espectros “target” (a preto) e obtidos após adaptação para os cinco ensaios RTD2014

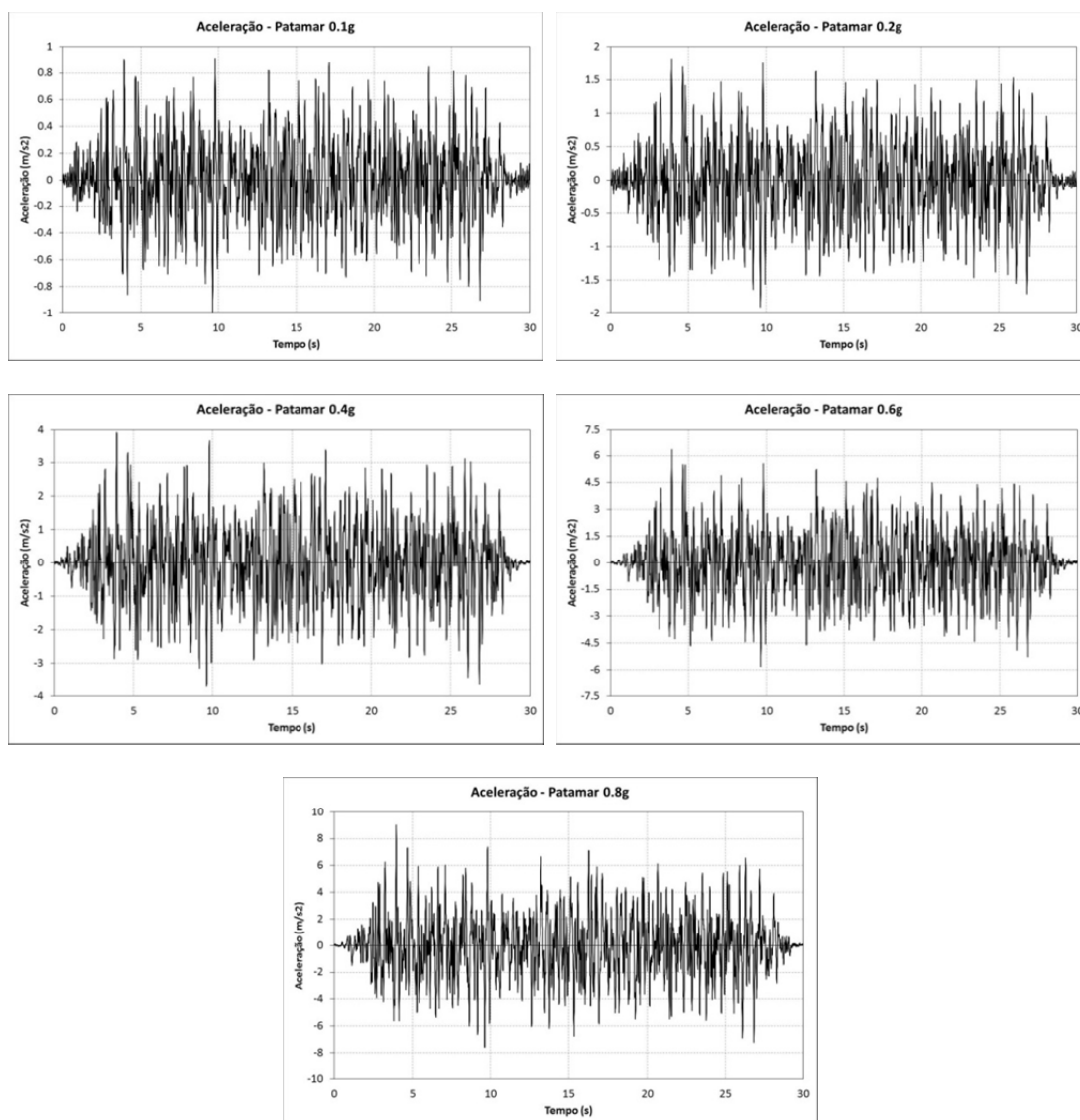


Figura 8 – Excitação sísmica (séries após adaptação) para os cinco ensaios RTD2014





### **3.3 Metodologia de ensaio e instrumentação**

Para medir a resposta experimental do modelo serão colocados acelerómetros unidireccionais em todos os nós viga-pilar da estrutura, e dois sensores óticos em cada piso (nos nós viga-pilar exteriores) destinados a medir os deslocamentos horizontais e verticais ao nível dos pisos. Além disso, em cada ensaio será medida a resposta da plataforma sísmica, de forma a estimar a ação real aplicada na base do modelo.

A estrutura será submetida a uma sequência de cinco ensaios com excitação crescente, sendo medidos simultaneamente os valores dos parâmetros de resposta referidos acima.

## **4 Informações adicionais**

As séries a utilizar nos cinco ensaios sísmicos são disponibilizadas simultaneamente com esta circular no portal das Jornadas, no ficheiro “RTD2014\_stages.xlsx”. São também aí disponibilizados os resultados dos ensaios das seis amostras de aço e os desenhos de pormenorização do modelo e da ligação à mesa sísmica.

Oportunamente será divulgada mais informação, nomeadamente:

- Formato e regras para apresentação dos resultados das simulações numéricas;
- Informações complementares sobre o modelo físico e sobre os ensaios.