

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

### **2ª Circular – Informação complementar sobre os ensaios em plataforma sísmica e regras de apresentação dos resultados**

#### **1 Introdução**

Os ensaios em plataforma sísmica foram realizados com sucesso a 10 de Novembro de 2014. Neste documento descreve-se a instrumentação adotada bem como o dispositivo de ensaio, nomeadamente a fixação do modelo à mesa sísmica e o seu guiamento na direcção longitudinal. Apresentam-se ainda os movimentos medidos no centro de gravidade da mesa sísmica correspondentes aos cinco patamares proporcionais à ação sísmica de referência definida na Circular nº 1. Definem-se também os resultados numéricos com a previsão da resposta da estrutura que devem ser submetidos e a metodologia de cálculo do erro para seriação das equipas concorrentes. Finalmente, detalham-se as regras de formatação e submissão dos resultados de forma a que estes sejam analisados de forma célere.

#### **2 Dispositivo de ensaio e instrumentação**

A estrutura plana de betão armado ensaiada no âmbito desta iniciativa foi fixa à plataforma sísmica na sua base, sendo envolvida por uma estrutura metálica auxiliar, representada na Figura 1, responsável pelo seu guiamento na direcção longitudinal. Esta estrutura auxiliar apoia o pórtico de betão armado na direcção transversal em dois pontos da viga do piso superior, espaçados de 1,5 m na direcção longitudinal e simétricos em relação ao pilar central do pórtico, permitindo o seu movimento na direcção longitudinal através de roletes, como pode observar-se na Figura 2.

Foram colocadas massas adicionais em todas as vigas dos pisos 1 e 2, como ilustrado na Figura 3. No piso superior, foi colocada uma massa de 1130 kg no meio vão de cada viga. No piso inferior, foram colocadas duas massas de 590 kg no meio vão de cada viga. As últimas foram dispostas de forma diferente do planeado inicialmente, e representado nos desenhos fornecidos, como pode verificar-se na Figura 3.

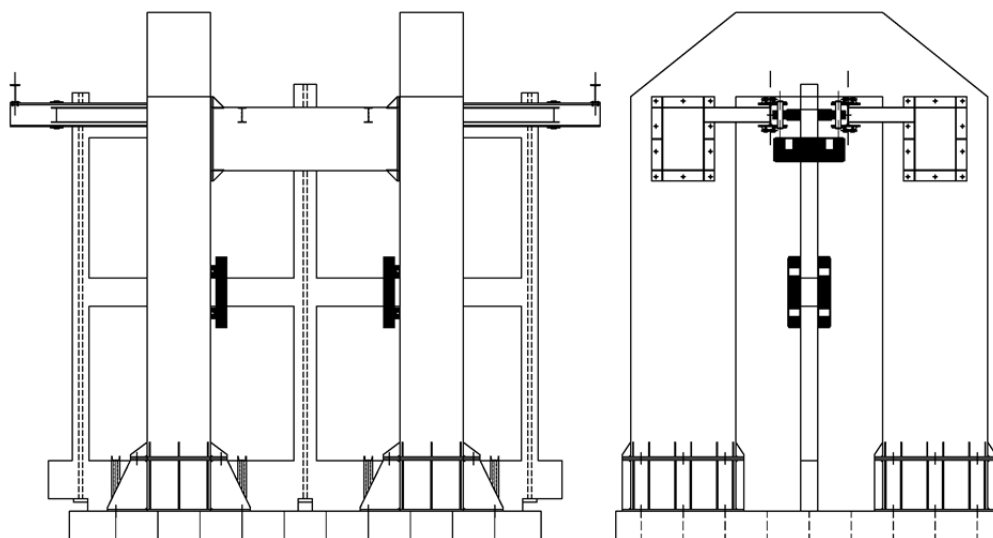


Figura 1 – Estrutura auxiliar de guiamento: alçado lateral (esq.) e corte transversal (dir.)



Figura 2 – Estrutura auxiliar de guiamento: vista geral (esq.) e pormenor dos roletes de guiamento (dir.)



Figura 3 – Massas adicionais: piso 2 (esq.) e piso 1 (dir.)

Os tirantes de pré-esforço vertical não aderente colocados nas bainhas centradas nos pilares foram tracionados previamente aos ensaios sísmicos, apresentando valores médios da componente estática de esforço axial ao longo dos ensaios de cerca de 18,5 kN no pilar Sul, de 29,1 kN no pilar central e de 17,0 kN no pilar Norte.

No que respeita à fixação da viga de fundação à mesa sísmica, foram utilizados quatro cavaletes espaçados de 1,5 m entre eles. A viga de fundação foi ainda fixada à mesa sísmica em dois pontos adicionais, através de parafusos de ligação que atravessam dois negativos na viga semelhantes aos utilizados nas secções onde foram colocados os cavaletes. Estes negativos adicionais, que por lapso não foram indicados nos desenhos fornecidos anteriormente, encontram-se representados na Figura 4. Esses desenhos serão atualizados em breve no portal das Jornadas. A materialização da ligação da viga de fundação à mesa sísmica pode ser observada na Figura 5.

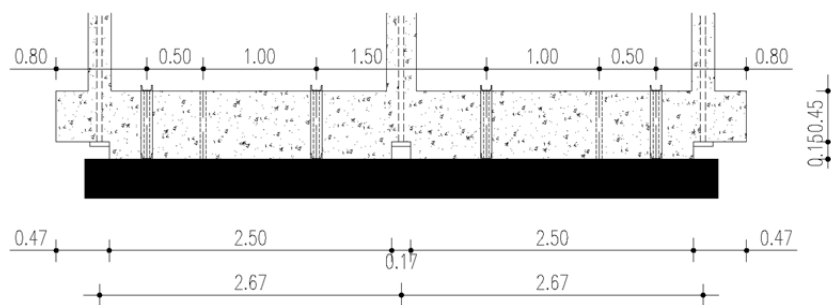


Figura 4 – Pontos de fixação da viga de fundação à plataforma sísmica (dimensões em m)



Figura 5 – Ligação da viga de fundação à plataforma sísmica

Relativamente à instrumentação adoptada para medir a resposta experimental do modelo, esta encontra-se representada nas Figuras 6 e 7. Foram colocadas:

- i) 3 células de carga para medir o esforço axial dos tirantes, colocadas na extremidade inferior de cada tirante (LC);
- ii) 17 acelerómetros unidireccionais em vários pontos do pórtico e nas três direções ortogonais (ACC);
- iii) 4 sensores óticos bidireccionais de elevada sensibilidade em cada piso (nos nós viga-pilar exteriores) destinados a medir os deslocamentos absolutos longitudinais e verticais desses pontos (HAMA);
- iv) 2 transdutores de deslocamento absoluto longitudinal ao nível da fundação e do piso 1 (LVDT);
- v) 12 sensores óticos tridimensionais de elevada sensibilidade ao longo do pilar Norte entre a viga de fundação e o piso 1.

Além disso, em cada ensaio foi medida a resposta da plataforma sísmica, em termos de acelerações e deslocamentos ao nível do seu centro de gravidade, utilizados em tempo real para o controlo da mesa sísmica. Foram colocados ainda 7 acelerómetros unidireccionais no topo da plataforma sísmica, e 11 acelerómetros unidireccionais e 3 sensores óticos tridimensionais na estrutura auxiliar de guiamento.

As previsões numéricas a fornecer pelas equipas concorrentes serão comparadas com os resultados experimentais referentes aos deslocamentos horizontais, relativos ao movimento da plataforma sísmica,  $D_1$  e  $D_2$  indicados na Figura 6. Estes deslocamentos, medidos em milímetros, devem ser fornecidos com o sentido positivo de Norte para Sul.

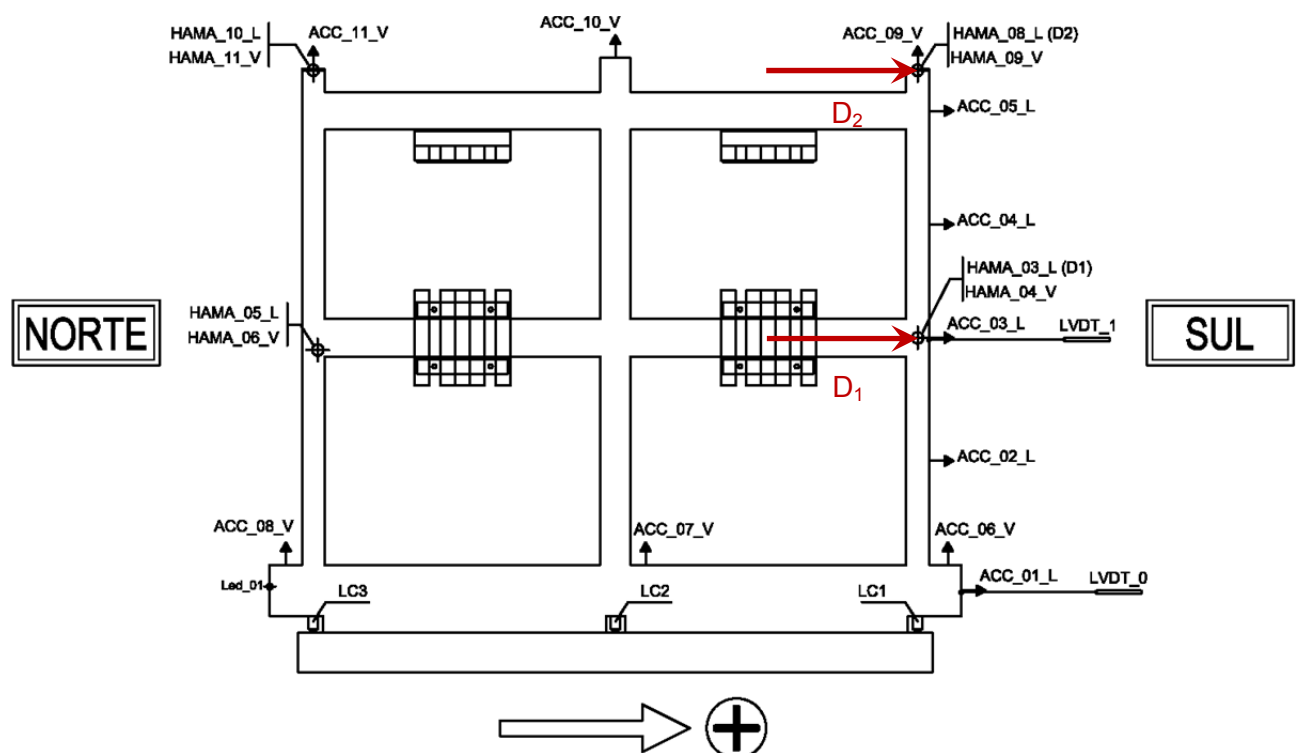


Figura 6 – Instrumentação no alçado Oeste

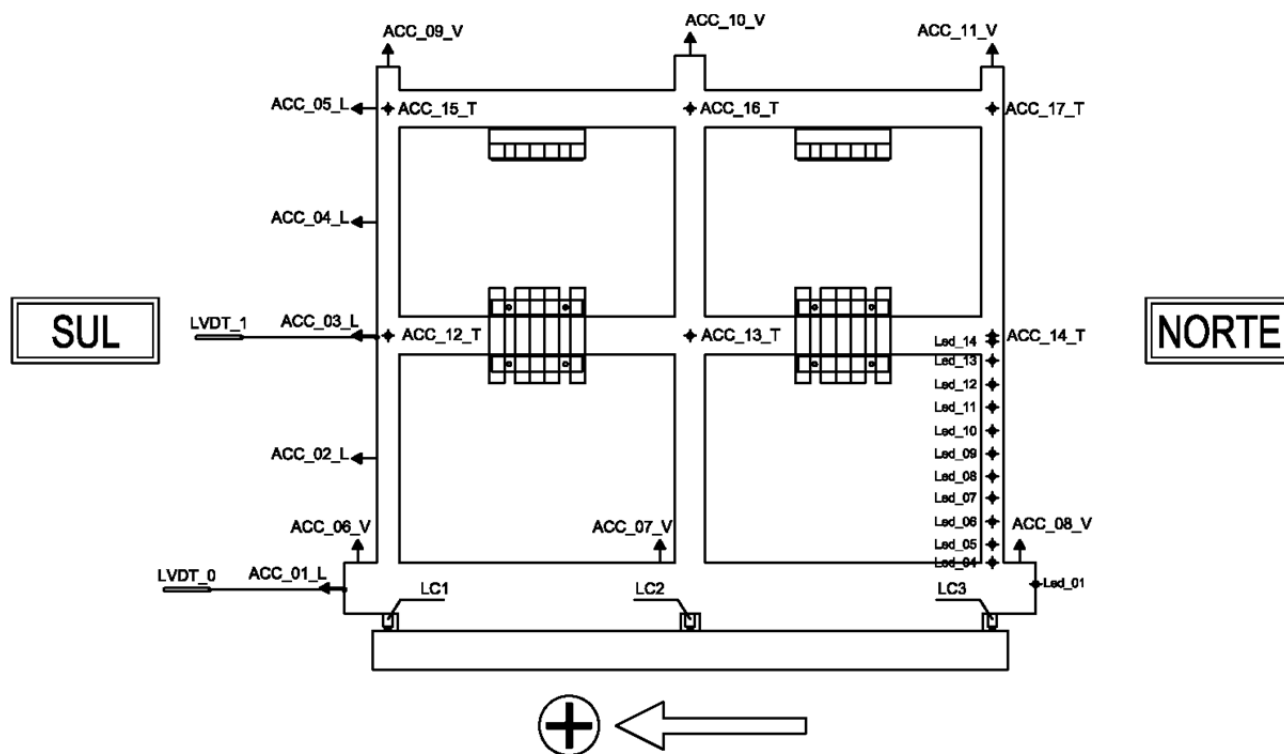


Figura 7 – Instrumentação no alçado Este

### 3 Excitação sísmica

Os valores nominais da aceleração de pico em cada ensaio foram: 0,10 g, 0,20 g, 0,32 g, 0,52 g e 0,72 g. Estes valores são ligeiramente diferentes dos referidos na Circular nº 1, sendo os registos de aceleração e deslocamento medidos na plataforma sísmica apresentados nesta secção e disponibilizados no portal das Jornadas, nos ficheiros “RTD2014\_stages\_acc\_final.xlsx” e “RTD2014\_stages\_displ\_final.xlsx”. Refere-se que todas as séries temporais foram expurgadas de ruído de alta frequência através um filtro Fourier passa-baixo com uma frequência limite de 20 Hz. Estas séries têm a polaridade correcta, com o sentido positivo de Norte para Sul.

Ilustra-se na Figura 8 a comparação entre os espectros de resposta de pseudo-aceleração das séries “target” para os cinco patamares de ensaio e das séries correspondentes ao movimento real da plataforma sísmica. Na Figura 9 apresentam-se as acelerações medidas ao nível do centro de gravidade da plataforma, para cada patamar de ensaio, e que são fornecidas às equipas concorrentes como a excitação sísmica para as suas simulações numéricas. Na Figura 10, por outro lado, comparam-se as séries temporais de deslocamentos na base medidas através da instrumentação e as séries “target”. Pode observar-se que existe uma concordância muito boa entre as séries-alvo de deslocamentos e as leituras da instrumentação, apesar dos pequenos desvios observados em relação às séries-alvo de acelerações.



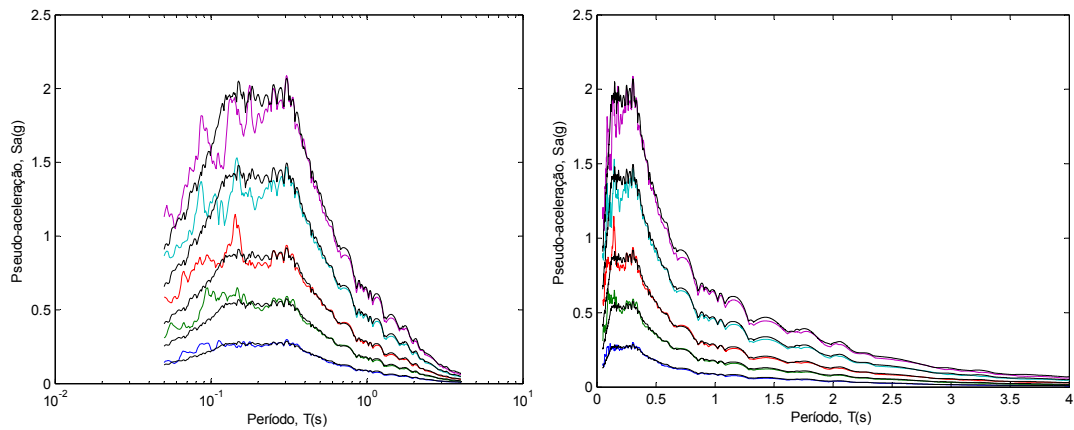


Figura 8 – Espectros de resposta de pseudo-acceleração “target” (a preto) e reais para os cinco ensaios

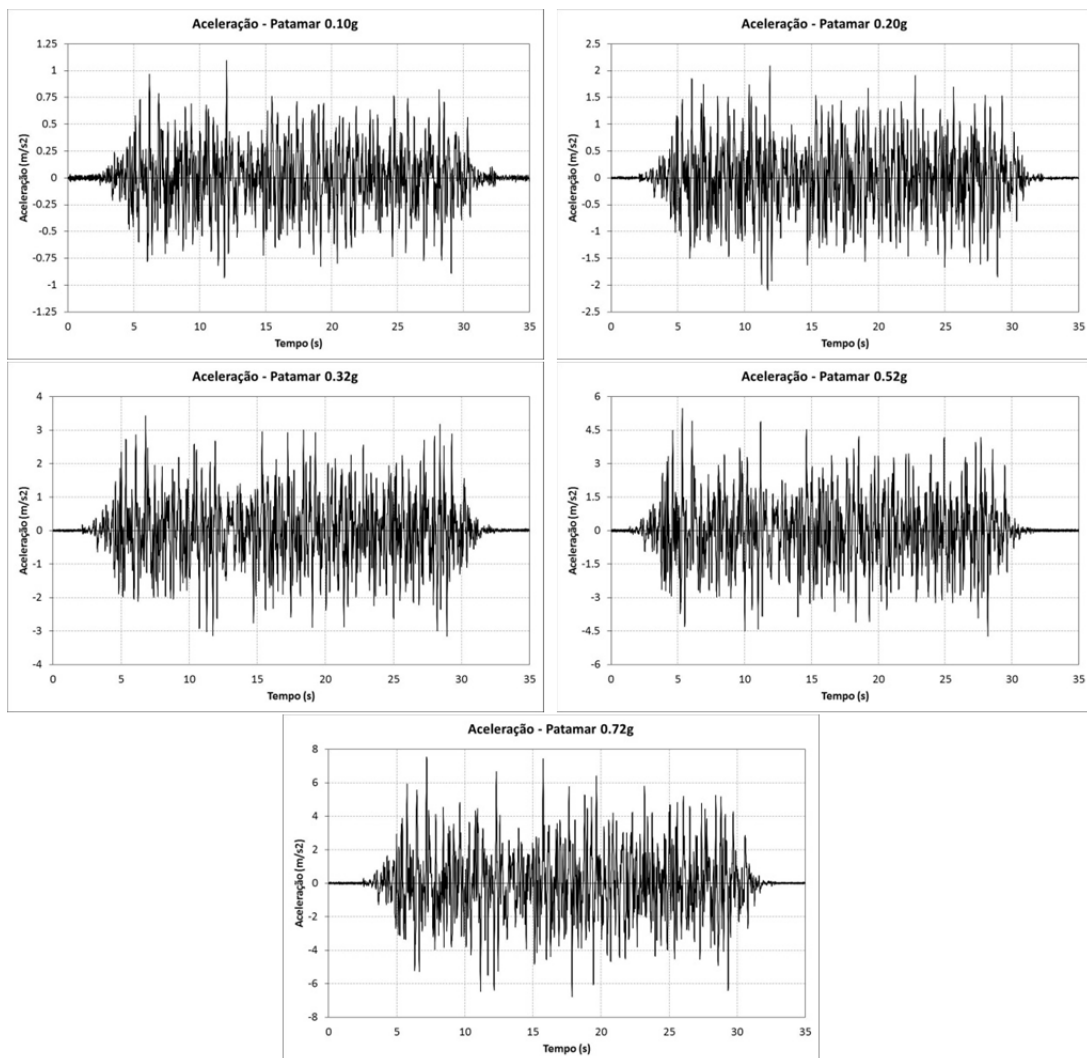


Figura 9 – Excitação sísmica medida para os cinco ensaios, em termos de aceleração na base

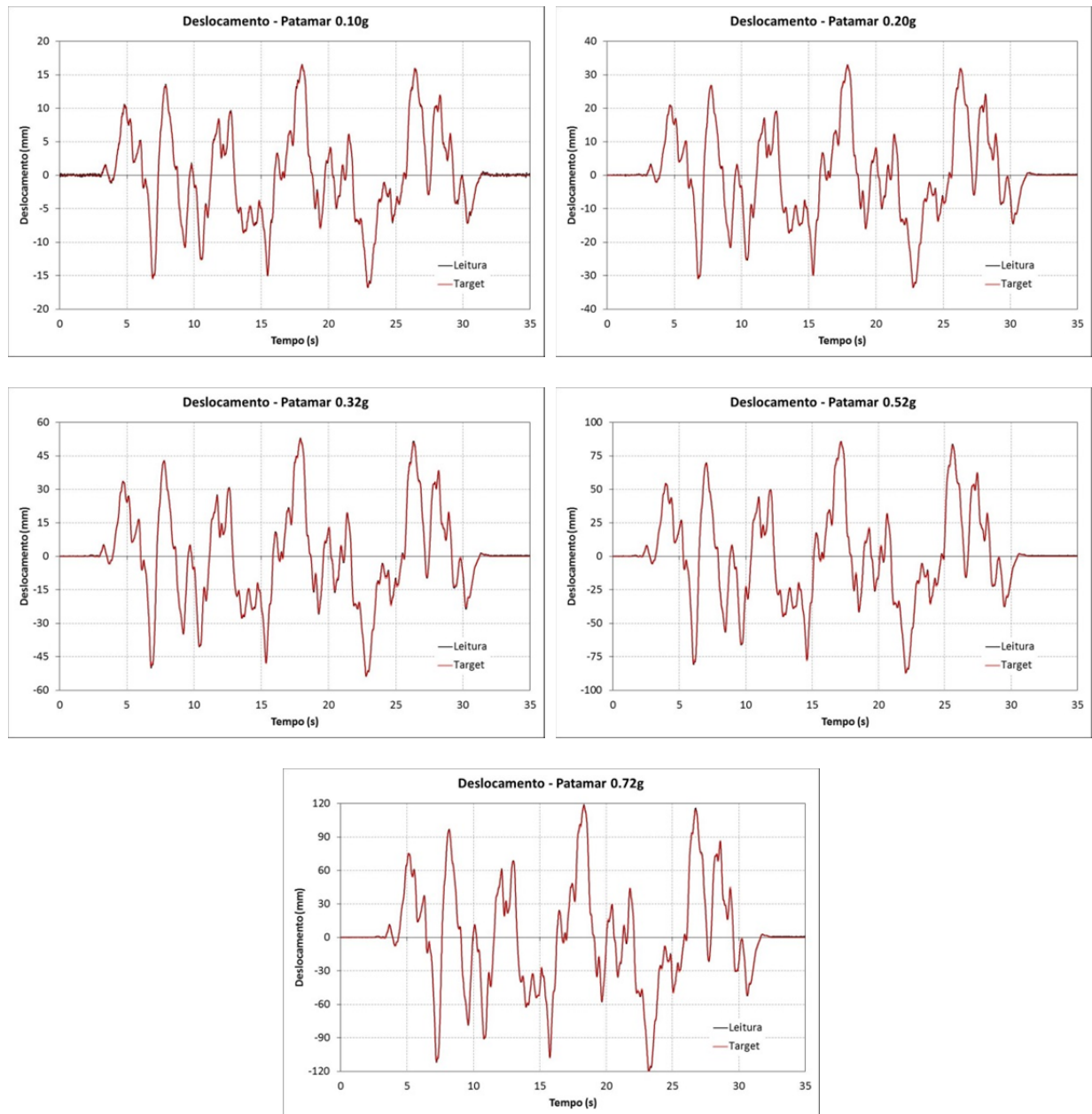


Figura 10 – Excitação sísmica “target” e medida para os cinco ensaios, em termos de deslocamentos na base

#### 4 Submissão de resultados numéricos e avaliação do erro

As equipas devem submeter os resultados numéricos correspondentes aos deslocamentos relativos horizontais  $D_1$  e  $D_2$  em ficheiros de texto no formato ASCII, separadamente para cada patamar da ação. Como tal, cada equipa deve enviar 5 ficheiros de texto com as seguintes designações:

1. Equipa\_nnn\_010g.txt
2. Equipa\_nnn\_020g.txt

3. Equipa\_nnn\_032g.txt
4. Equipa\_nnn\_052g.txt
5. Equipa\_nnn\_072g.txt,

onde nnn é o número da equipa, que será enviado às equipas inscritas juntamente com esta circular.

Cada ficheiro deve conter duas colunas com as séries temporais dos deslocamentos  $D_1$  e  $D_2$  para cada patamar da ação, em milímetros e com sinal positivo para deslocamentos no sentido Norte-Sul. As séries devem ter 8192 pontos, correspondentes à discretização utilizada nas séries temporais da ação sísmica: 40.96 s de duração com um passo de tempo de 0.005 s. Os ficheiros de texto devem então ter o seguinte formato:

```
{início do ficheiro}
D1_#1      D2_#1
D1_#2      D2_#2
...
D1_#8192   D2_#8192
{fim do ficheiro}
```

Note-se ainda que os valores dos deslocamentos devem estar separados por um “tab” e devem ter duas casas decimais (mesmo que sejam nulos). É muito importante que estas regras sejam cumpridas, visto que o cálculo do erro e a escrita do relatório de avaliação serão realizados de forma automática. Como tal, enganos nas unidades e nas polaridades dos sinais não serão corrigidos.

Relativamente à determinação do erro das simulações numéricas em comparação com os resultados experimentais, este será avaliado ao longo de toda a duração dos sinais através do “*root mean square error*”, normalizado pelo valor “*root mean square*” dos resultados experimentais:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \frac{(D_i^{Exp} - D_i^{Num})_{RMS}}{D_{i,RMS}^{Exp}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n [D_i^{Exp}(t_j) - D_i^{Num}(t_j)]^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n [D_i^{Exp}(t_j)]^2}}$$

Na expressão anterior do erro relativo,  $n$  corresponde ao número de amostras nas séries temporais de cada deslocamento, ou seja, 8192x5. A equipa vencedora será aquela à qual corresponda o menor valor deste erro relativo.

Salienta-se ainda que não serão acumulados os deslocamentos residuais do final de uma série na resposta da série correspondente ao patamar seguinte da ação sísmica, ou seja, será removido um eventual “*offset*” dos deslocamentos no início de cada série temporal.





## 5 Informações adicionais

Será disponibilizado, em breve, no portal das Jornadas um questionário relativo às opções de modelação adoptadas por cada uma das equipas concorrentes. Este questionário deve ser submetido, em conjunto com as séries temporais dos resultados numéricos, para o correio eletrónico das Jornadas ([jpee2014@lnec.pt](mailto:jpee2014@lnec.pt)) até ao dia 21 de Novembro de 2014.