

# PREVISÃO DO RUÍDO EMITIDO NO INTERIOR DE EDIFÍCIOS PELA SUA VIBRAÇÃO ESTRUTURAL DEVIDA A FONTES DE VIBRAÇÕES PRÓXIMAS. CASO DE ESTUDO.

Valerio P. <sup>1</sup>, Schiappa T. <sup>2</sup>, Schiappa F. <sup>3</sup>

1 NoiseLab  
{noiselab@noiselab.pt}

2 Tiago Schiappa de Azevedo  
{schiappa\_@hotmail.com}

3 Fernando Schiappa de Azevedo  
{fschiappa@yahoo.com}

## Resumo

A instalação de novas fontes de vibração próximo de edifícios com ocupação humana, exige hoje a previsão do impacto ambiental, nomeadamente a vibração de pisos e paredes e o ruído emitido nos compartimentos dentro do edifício, e a avaliação da incomodidade consequente. Refere-se o método experimental para a previsão das vibrações, e os métodos analíticos para a previsão do ruído. É feita a comparação destes, num caso de estudo, onde se mediu as vibrações do piso e das paredes de uma sala, e o ruído emitido, durante passagens de um comboio em túnel, sob a rua adjacente ao edifício de habitação.

**Palavras-chave:** edifícios, vibrações, ruído, previsão.

## Abstract

New sources of vibration nearby buildings of human use demand the prediction of the vibration of walls and floors and emitted noise inside the building, and the resulting annoyance to people. The vibration prediction experimental method is described, and the analytic methods for predicting the so called ground borne noise emitted inside. Using measurements of vibration and noise in a flat sitting room, during the passage of trains in a nearby tunnel, measured noise levels are compared with the predicted ones by the analytic methods.

**Keywords:** buildings, vibrations, noise, prediction.

**PACS no. 43.40.Nn, 43.40.Rj**

## 1 Introdução

A existência de uma fonte de vibração próxima de um edifício provoca-lhe a vibração dos seus elementos estruturais. É o caso das vias férreas, em túnel ou à superfície, próximas de edifícios para utilização humana. A vibração de pisos e paredes pode ser sensível ou mesmo incómoda para os moradores e demais utilizadores, mas, mesmo não sensível, pode emitir localmente ruído audível e incómodo.

No projecto de novas linhas de comboios, próximas de edifícios, particularmente de habitação, é imperativo a previsão da futura vibração nesses edifícios, causada pelo tráfego ferroviário, bem como a previsão do ruído emitido nas divisões (por vezes chamado ruído estrutural) por essa vibração.

Essa previsão, quantitativa, é indispensável para o projecto (solução e dimensionamento) do isolamento, geralmente colocado sob a via (isolamento da fonte).

## 2 A Previsão das Vibrações

A previsão das vibrações, causadas por vias férreas em exploração, em edifícios com utilização humana, podendo ser feita com modelos matemáticos, é feita de forma prática, e mais precisa, identificando através de medições, a transmissão das ondas de tensão e extensão, da via para locais seleccionados (pisos e paredes de quartos, e salas, em diversos andares) do edifício. Este método experimental exige, no caso de via em túnel, que este esteja já escavado e estruturado, figura 1.

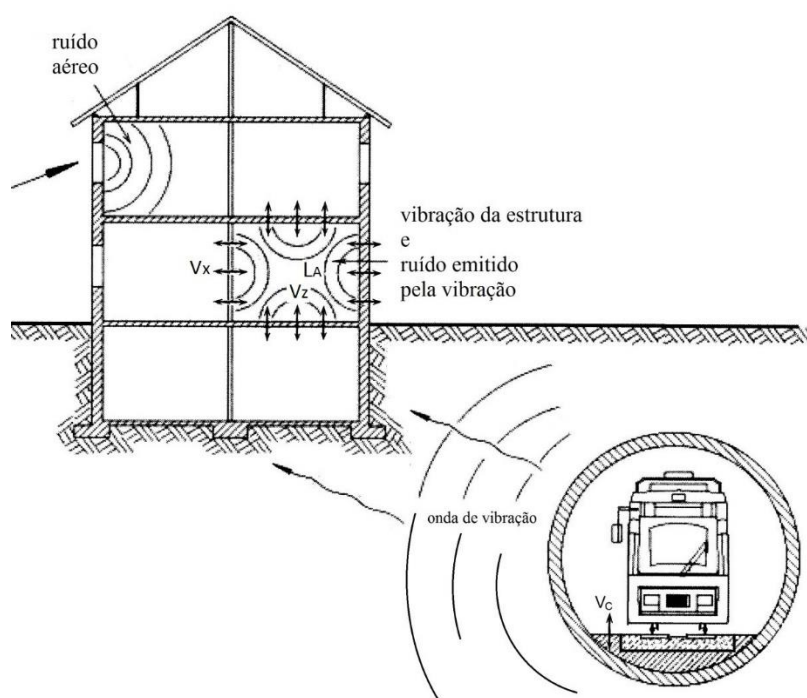


Figura 1: Transmissão da vibração do túnel para o edifício. Vibração e ruído neste. Vc espectro da velocidade vertical no túnel, ao nível da via; Vz e Vx espectros das velocidades normais no piso e parede do compartimento do edifício. LA ruído emitido.

Considerando a linearidade das equações que relacionam a vibração dos pisos e paredes com a solicitação gerada pelos comboios na via, é possível escrever, em termos de transformadas de Fourier (espectros em frequência):

$$V_z = T_{c \rightarrow z} \times V_c \quad \text{e} \quad V_x = T_{c \rightarrow x} \times V_c \quad (1a \text{ e } 1b)$$

Onde os  $T_s$  são as funções de transferência (aqui determinadas experimentalmente) entre os pontos escolhidos para as medições, no túnel e no piso e parede do compartimento (sala ou quarto) escolhido.

### 3 Previsão do Ruído

A previsão do nível de ruído emitido dentro do edifício pela vibração de pisos e paredes pode ser feita por 3,5 métodos, todos baseados na velocidade de vibração, o que se designa por meio método consistindo num critério para indicar a possibilidade da ocorrência de ruído incomodativo, quando da passagem de uma composição.

#### 3.1 Método da FTA

O ruído emitido pela vibração de pisos e paredes, num edifício (num compartimento médio de uma habitação) em dBA, pode ser estimado aproximadamente pelo valor estimado da velocidade de vibração no piso, e pelo conhecimento da frequência predominante no espectro da velocidade de vibração, subtraindo aos valor estimado da velocidade eficaz, in dBv,  $L_v$ , os valores da tabela 1 seguinte. O valor da velocidade em dBv, obtém-se do valor em mm/s:

$$V \text{ em dBv} = 10 \log_{10}(V \text{ em mm/s} / V_{\text{ref}}) \text{ com } V_{\text{ref}} = 5 \times 10^{-5} \text{ mm/s} .$$

Tabela 1 – Estimativa do ruído emitido pela vibração [3]

Ruído emitido pela vibração, dBA	Frequência Hz	Correcção, dB
$LA = L_v - \text{correção}$	$f < 30$	50
	$30 < f < 60$	35
	$60 < f$	20

Nota à tabela: Se, numa primeira fase de previsão, o conteúdo da velocidade em frequência for desconhecido, a correcção para baixas frequências pode ser usada para a maioria dos solos fracos, ou mesmo médios, ou em túneis de betão inseridos em solos arenosos ou fracos, ou se material para isolamento das vibrações for montado sob a via; a correcção para médias frequências pode ser usada em solos médios compactos, com argilas, ou, como valor de “default” em túneis para os quais não haja mais informação; a correcção para altas frequências deve ser usada em túneis escavados em boa rocha, ou quando os solos são de argila compacta.

#### 3.2 Método do LNEC

A experiência obtida em trabalhos de avaliação de incomodidade em habitações, devida a vibração, geralmente decorrente da passagem de composições ferroviárias próximas, mostrou que o valor eficaz (rms) global da velocidade de vibração (componente vertical no piso  $\approx$  a meio vão, filtrada das frequências inferiores a 31,5 Hz, numa decomposição em 1/3 de 8.<sup>a</sup>)

$$v_{\text{rms}}(f_i \geq 50 \text{ Hz}) = 0,03 \text{ mm / s} , \quad (2)$$

que corresponderá para os casos correntes de um ruído emitido pela vibração de LA de 27 a 32 dBA (medido durante o tempo de passagem da composição), é um bom critério de avaliação de incomodidade, como limite admissível. Valores superiores a 0,03 alertam para a provável ocorrência de incomodidade.

### 3.3 Método dos Autores

A expressão teórica que relaciona a sobrepressão  $p$  (no ar,  $\rho c$ ) causada pela vibração (com velocidade  $v$ ) de uma placa (piso ou parede) paralelamente a si própria:

$$p = \rho c v \quad (3)$$

que se pode escrever:

$$L_{eq}(A) = 10 \log_{10}(\sum_j 10^{0,1(L_j + C_j)}) \quad (4)$$

Onde os  $L_j$  são os ruídos correspondentes a cada uma das bandas de frequência de 1/3 de 8.<sup>a</sup> normalizadas,  $L_j = 20 \log_{10}(v_j) + 146$ , (para o ar), com  $v_j$ , valores eficazes da velocidade em cada banda, em m/s, e  $L_j$  em dB, e os  $C_j$  os pesos A para as correspondentes bandas. Para os  $v_j$ , em mm/s, a parcela 146 reduz-se a 86 (pela subtração de  $20 \times \log_{10}(1000)$ ).

Esta expressão, no pressuposto que, na prática, os efeitos das reflexões e absorção se compensam, tem dado valores consistentes com a constatação de incomodidade: ruído muito claramente audível, durante a passagem das composições.

### 3.4 Método da Norma ISO 14837-31: 2017

A norma BS ISO 14837 Mechanical vibration – Ground borne noise and vibration arising from rail systems – Part 1: 2005, General guidance, e ISO/TS 14837 – Part 31: 2017-12, Guideline on field measurements for the evaluation of human exposure in buildings, no Anexo A (desta parte 31) – Predicting ground borne noise from vibration, contém um modelo de previsão, baseado na vibração (prevista) do piso de um compartimento e dos modos próprios da vibração do ar que se podem estabelecer num compartimento (paralelepípedo), considerando alguma absorção.

Sendo  $L_z$  (altura),  $L_x$  e  $L_y$  as dimensões da sala (comprimento e largura),  $c$  e  $\rho$  as características do ar ( $c$ , a velocidade de propagação das ondas do "som" no ar, e  $\rho$  a sua massa específica),  $\omega$  a frequência angular,  $\delta$  o coeficiente de amortecimento,  $= 6,9 / T$ ,  $T$  o tempo de reverberação, e os  $\alpha_{y,z}$ ,  $\alpha_{x,z}$ ,  $\alpha_{x,y}$ , os coeficientes de absorção das paredes e piso,

o cálculo de  $p_{x,y,z}$

$$p_{x,y,z} = v_{x,y} \times [(i \omega \rho c^2) / (\pi^2 L_z)] \times F(\omega, c, L_x, L_y, L_z, \alpha_{y,z}, \alpha_{x,z}, \alpha_{x,y}) \quad (5)$$

permite estimar a sobrepressão decorrente da velocidade vertical no piso,  $v_{x,y}$  prevista.

A forma de  $F$  pode ser vista na secção A2 da norma referida.

## 4 Caso de Estudo

### 4.1 Introdução

Dada a incomodidade sentida pela moradora num apartamento num 1.º andar em prédio urbano já com estrutura de betão armado, dos anos 40-50, incomodidade causada pela passagem das composições de comboios em túnel sob a rua adjacente, mediram-se na sala do apartamento o ruído e a vibração quando da referida passagem das composições.

## 4.2 Medições

Na sala do referido apartamento mediu-se o ruído e a vibração no piso e em duas paredes perpendiculares, em pontos aproximadamente a meio vão (as medições foram realizadas no dia 13 de Julho de 2018, às: 7h48, 8h23, até às 23h55min).

Utilizou-se o seguinte equipamento: Dois analisadores com 2 canais, 01dB, Symphonie, um microfone GRAS 40AF (com pré-amplificador GRAS 26AK) a 1,2 m de altura e três acelerómetros monoaxiais sísmicos PCB modelo 393B04. Ver figura 2.

Para além das medições realizadas pelos equipamentos, ver secção 6, os técnicos presentes constataram pessoalmente o seguinte:

- i - O apartamento encontrava-se em “estado novo” (remodelado) e as janelas que dão para a rua pareceu assegurarem bom isolamento (não se mediu).
- ii - A passagem das composições, no túnel sob a rua, é nitidamente “sentida” pelo aumento claramente audível do ruído ambiente na sala.
- iii - A vibração no piso e paredes é praticamente imperceptível ao tacto.
- iv - Na escada, exterior ao apartamento, a estrutura metálica com rede que envolve o corrimão da escada e constitui protecção da caixa do elevador, vibra, emitindo ruído, quando da passagem das composições.
- v - A porta da rua do apartamento vibrava, devido a folga, quando da passagem das composições, o que pode ser evitado colocando perfis vedantes no aro.



Figura 2 – Sala e equipamento de medição

## 5 Critérios de Apreciação da Vibração e do Ruído Estrutural

Há diversas normas relativas a vibrações, devendo distinguir-se as que se referem a incomodidade, e as que se referem a danos nos edifícios; como nem todas coincidem referem-se as de aplicação fácil e prática, cujos valores se verifica corresponderem a incomodidade sentida pelos utilizadores dos edifícios; quanto a danos, dada a grande variedade de edifícios com suas estruturas, e a variedade de condição dos mesmos, as normas são geralmente conservativas.

São algo variáveis os critérios de apreciação da incomodidade causada pelas vibrações, e pelo ruído que emitem, nos locais com ocupação humana. Igualmente são diferentes os limites a considerar quando de diferentes usos das edificações: Hospitais, casas de repouso e escolas, habitações, de noite e de dia, locais de trabalho intelectual, oficinas e fábricas.

São geralmente aceites os seguintes limites, valores limiares de incomodidade:

a) Valor global eficaz (ou efectivo) da velocidade de vibração (componente vertical, ou a mais importante) em habitação:

$$v_{\text{rms}} < 0,11 \text{ mm / s.} \quad (\text{LNEC}) \quad (6a)$$

ou

$$v_{\text{rms}} < 67 \text{ dBv.} \quad (\text{LNEC}) \quad (6b)$$

(valor de ref.<sup>a</sup> para a expressão da velocidade em dBv:  $v_0 = 0,5 \cdot 10^{-7} \text{ m / s} = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ mm / s}$ )

b) Valor máximo do espectro por bandas de 1/3 de 8.<sup>a</sup> de valores eficazes da velocidade de vibração, limiar de sensibilidade:

$$V(f)_{\text{rmsMáx}} < 0,10 \text{ mm / s.} \quad \text{ou} \quad < 66 \text{ dBv.} \quad (\text{ISO 2631}) \quad (7)$$

para edifícios de habitação, de noite, ou, de dia, em edifícios com usos sensíveis:

$$V(f)_{\text{rmsMáx}} < 0,14 \text{ mm / s.} \quad \text{ou} \quad < 69 \text{ dBv.} \quad (\text{ISO 2631}) \quad (8)$$

c) Valor do ruído  $Leq(A)$  emitido pela vibração de pisos e paredes, durante a passagem das composições (comboios), de noite:

$$Leq(A) < 27 \text{ dB(A)} \quad (\text{LNEC}). \quad (9)$$

Este critério deve manter-se quando, em vias à superfície, o ruído aéreo que chega ao interior das habitações medido durante a passagem das composições, é superior ao emitido na habitação pelos pisos e paredes, mesmo existindo barreiras sonoras junto à via, e isolamento regulamentar para as fachadas.

## 6 Valores Medidos

Os valores medidos das velocidades de vibração do piso e paredes, e do ruído na sala resumem-se na tabela 2 seguinte.

Não foi medido o tempo de reverberação.

A análise dos espectros de vibração mostra conteúdos significativos nas frequências audíveis,  $50 < f < 80 \text{ Hz}$ , o que justifica os elevados valores do ruído estrutural emitido pelo piso e paredes. Este elevado conteúdo nas altas frequências mostra também que sob a via não existe isolamento, ou se existiu, está envelhecido, e portanto pouco eficaz.

Tabela 2 – Ruído, em dBA, e vibração, na sala, no dia 13-07-2018, valores máximos dos espectros rms,  $V$ , por bandas de 1/3 de 8.<sup>a</sup>, em mm/s, e valores globais rms,  $v$ , da velocidade de vibração.  
 $v \perp$  - componente vertical;  $v \bar{\perp}$  - componente perpendic. à via,  $v \parallel$  - componente  $\parallel$  à via, grandezas calculadas em janelas temporais de 8 s

vib+ruído hora	v rms mm/s						ruído dBA LA, 8s
	$V \perp$ , 8s	$v \perp$ , 8s	$V \parallel$ , 8s	$v \parallel$ , 8s	$V \bar{\perp}$ , 8s	$v \bar{\perp}$ , 8s	
6h 20min	0,075	0,10	0,099	<b>0,16</b>	0,093	0,11	<b>47,7</b>
6h 48min	0,069	0,09	0,12	<b>0,16</b>	0,098	0,12	<b>47,1</b>
7h 00min	0,082	0,11	0,13	<b>0,16</b>	0,13	<b>0,16</b>	<b>49,6</b>
7h 48min	0,087	0,11	0,12	<b>0,15</b>	0,12	0,14	<b>48,2</b>
7h 59min	0,069	0,09	0,096	0,13	0,11	0,13	<b>48,3</b>
8h 52min	0,086	0,11	0,12	<b>0,16</b>	0,12	0,14	<b>47,9</b>
12h 57min	0,070	0,09	0,094	0,12	0,11	0,13	<b>48,8</b>
14h 07min	0,088	0,11	0,11	<b>0,15</b>	0,14	<b>0,16</b>	<b>49,4</b>
14h 44min	0,092	0,11	0,12	<b>0,15</b>	0,11	0,13	<b>48,6</b>
17h 36min	0,071	0,10	0,13	<b>0,15</b>	0,10	0,12	<b>47,7</b>
18h 53min	0,086	0,11	0,12	<b>0,15</b>	0,12	<b>0,14</b>	<b>49,4</b>
19h 14min	0,089	0,12	0,10	0,14	0,15	<b>0,18</b>	<b>50,1</b>
20h 05min	0,094	0,12	0,11	0,14	0,13	0,16	<b>49,4</b>
20h 16min	0,070	0,10	0,092	0,12	0,11	0,13	<b>48,8</b>
21h 52min	0,070	0,09	0,13	<b>0,16</b>	0,11	0,13	<b>47,8</b>
22h 08min	0,089	0,11	0,11	<b>0,15</b>	0,10	0,12	<b>48,8</b>
22h 24min	0,088	0,11	0,097	0,13	0,12	0,14	<b>48,6</b>
22h 56min	0,088	0,11	0,12	<b>0,15</b>	0,11	0,13	<b>48,6</b>
23h 44min	0,088	0,11	0,12	<b>0,15</b>	0,10	0,12	<b>48,5</b>
23h 55min	0,083	0,10	0,12	<b>0,15</b>	0,11	0,13	<b>47,4</b>

Os valores mais significativos das componentes horizontais da vibração (quando comparados com os da componente vertical) devem-se a maior esbelteza das paredes e eventuais ressonâncias destas, e a componente vertical, no piso, ter sido medida fora do meio vão; podem dever-se também ao facto da via-férrea se encontrar, não sob o prédio, mas sob a rua, em média cerca de 16 m afastada da vertical do centro da sala.

## 7 Conclusões Retiradas das Medições sobre Incomodidade

**7.1** – Os valores da vibração, por vezes próximos do limiar de sensibilidade são aceitáveis, não se considerando incómodos.

**7.2** – Os valores do ruído estrutural são excessivos justificando a queixa de incomodidade dos moradores.

## 8 Comparação dos Valores Medidos de Ruído com os Obtíveis pelos Métodos de Previsão Usando os Valores Medidos da Velocidade

Embora os valores medidos das velocidades de vibração do piso e paredes, sejam algo atípicos; esperam-se normalmente em casos como este valores mais significativos da velocidade vertical (é certo que neste caso não foi medida a meio vão da laje) e também na direcção perpendicular ao eixo da via-férrea; neste caso a vibração da parede perpendicular à via (vibração normal à parede, portanto paralela à via) foi também significativa.

Procedeu-se à comparação dos valores medidos do nível de ruído durante as passagens de comboios, com os previsíveis pelos métodos atrás referidos. Com os valores medidos da velocidade, obtiveram-se as seguintes “previsões”:

Tabela 3 – Velocidade vertical global eficaz, medida no piso da sala, e Ruído na sala, previsível pelos métodos FTA, LNEC, autor, e ISO 14837-31, e medido (13-07-2018)

vib+ruído	Vz rms	f	ruído	previsível	estim <sup>o</sup>	LA	ruído LA
hora	mm/s dBv	Hz	FTA, dBA	LNEC	autor, dBA	14837, dBA	med <sup>o</sup> , dBA
6h 20min	0,10 65,8	50	<b>30,8</b>	0,092	<b>41,4</b>	<b>49,4</b>	<b>47,7</b>
6h 48min	0,09 65,2	50	<b>30,2</b>	0,086	<b>40,9</b>	<b>49,0</b>	<b>47,1</b>
7h 00min	0,11 66,8	50	<b>31,8</b>	0,103	<b>42,8</b>	<b>50,6</b>	<b>49,6</b>
7h 48min	0,11 66,6	50	<b>31,6</b>	0,102	<b>42,0</b>	<b>49,7</b>	<b>48,2</b>
7h 59min	0,09 65,3	50	<b>30,3</b>	0,088	<b>42,1</b>	<b>49,7</b>	<b>48,3</b>
8h 52min	0,11 66,5	50	<b>31,5</b>	0,100	<b>41,7</b>	<b>49,3</b>	<b>47,9</b>
12h 57min	0,09 65,5	50	<b>30,5</b>	0,090	<b>42,1</b>	<b>49,9</b>	<b>48,8</b>
14h 07min	0,11 66,9	50	<b>31,9</b>	0,106	<b>42,9</b>	<b>50,5</b>	<b>49,4</b>
14h 44min	0,11 67,0	50	<b>32,0</b>	0,108	<b>42,4</b>	<b>50,3</b>	<b>48,6</b>
17h 36min	0,10 65,6	50	<b>30,6</b>	0,089	<b>41,4</b>	<b>49,4</b>	<b>47,7</b>
18h 53min	0,11 66,8	50	<b>31,8</b>	0,104	<b>42,6</b>	<b>50,5</b>	<b>49,4</b>
19h 14min	0,12 67,6	50	<b>32,6</b>	0,115	<b>43,1</b>	<b>51,2</b>	<b>50,1</b>
20h 05min	0,12 67,4	50	<b>32,4</b>	0,112	<b>42,7</b>	<b>50,6</b>	<b>49,4</b>
20h 16min	0,10 65,6	50	<b>30,6</b>	0,091	<b>42,4</b>	<b>50,2</b>	<b>48,8</b>
21h 52min	0,09 65,3	50	<b>30,3</b>	0,086	<b>40,8</b>	<b>49,0</b>	<b>47,8</b>
22h 08min	0,11 66,9	50	<b>31,9</b>	0,106	<b>42,2</b>	<b>50,4</b>	<b>48,8</b>
22h 24min	0,11 66,7	50	<b>31,7</b>	0,103	<b>42,2</b>	<b>50,0</b>	<b>48,6</b>
22h 56min	0,11 66,9	50	<b>31,9</b>	0,106	<b>42,3</b>	<b>50,1</b>	<b>48,6</b>
23h 44min	0,11 66,8	50	<b>31,8</b>	0,105	<b>42,3</b>	<b>50,2</b>	<b>48,5</b>
23h 55min	0,10 66,3	50	<b>31,3</b>	0,098	<b>41,6</b>	<b>49,7</b>	<b>47,4</b>

No caso da previsão pelo método da Norma ISO 14837-31, usaram-se os seguintes valores: Comprimento, largura e altura da sala, respectivamente,  $L_x = 7,0$  m,  $L_y = 4$  m,  $L_z = 2,7$  m, coordenadas dos pontos de medição, ver figura 2,  $z = 1,8$ ,  $y = 2,5$ ,  $x = 2$  m. Na realidade, o microfone esteve a 1,2 m acima do piso. Considerou-se um tempo de reverberação (médio) de 0,5 s, compatível com a expressão de estimativa A.7 da norma para coeficientes de absorção sonora  $\alpha$  das paredes e piso iguais e iguais a 0,3.

## 9 Conclusões das Comparações

**9.1** – A “previsão” de ruído que mais se aproximou dos valores medidos foi a da norma ISO 14837-31, tendo-se admitido para a sala um tempo de reverberação  $T_r$  de 0,5 s.

**9.2** – O indicador LNEC, pelos valores muito acima do valor de aferição, 0,03 mm/s, alerta também para a possibilidade de um ruído excessivo. A previsão, aqui chamada dos autores, baseada na relação teórica  $p = \rho c v$ , embora algo baixa, dá uma boa indicação de ruído excessivo.

**9.3** - A previsão americana (FTA), dá valores muito baixos, que poderiam passar por aceitáveis.

**9.4** – Este caso, em que tanto o piso, como as duas paredes ortogonais, vibravam com a mesma ordem de grandeza, apresentava valores do ruído elevados, entre os 47 e 50 dBA, contrariando a experiência de melhor adequação dos critérios da FTA e dos autores em casos mais correntes.

## Referências

- [1] SCHIAPPA de Azevedo, F., DOMINGUES, O., SECIO, F., VALÉRIO, P., FRADE, M., 2016, Future Tunnel Railway Underneath a City. Train-Buildings Transfer Functions Estimate and at-Home Vibration and Noise Prediction. In ICA 2016, 22.<sup>nd</sup> International Congress on Acoustics, Buenos Aires, 5 – 9 September 2016.
- [2] SCHIAPPA de Azevedo, F., DOMINGUES, O., SECIO, F., VALÉRIO, P., 2014, Future Train Underneath a City. Transfer Function Estimate and Ambient Vibration Prediction. In Forum Acusticum, 7 – 12 September 2014, Krakow.
- [3] [RAILWAY] TRANSIT NOISE AND VIBRATION ASSESSMENT – United States of America Department of Transportation, Federal Transit Administration, office of Planning and Environment. FTA-VA-90-1003-06, May 2006.
- [4] ELIAS, Patrick; VILLOT, Michael, 2011. “Review of existing standards, regulations and guidelines, as well laboratory and field studies concerning human exposure to vibration”. Deliverable D1.4. Project RIVAS. European Commission.
- [5] BS ISO 14837 - 1: 2005 – Mechanical vibration – Ground borne noise and vibration arising from rail systems – General guidance.
- [6] ISO/TS 14837 - 31: 2017 – Mechanical vibration – Ground borne noise and vibration arising from rail systems – Guideline on field measurements for the evaluation of human exposure in buildings.
- [7] SCHIAPPA de Azevedo, Tiago – ISO14837\_31Tiago.xlsx – programa de cálculo para a previsão do ruído estrutural. 2021.