

## ANÁLISE COMPARATIVA DE MEDIÇÕES DE VIBRAÇÃO E DE ISOLAMENTO SONORO EM EDIFÍCIOS

PACS:

Vitor Rosão<sup>1</sup>; Ana Carreira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído

Rua de Faro, Bloco B, 2.º Frente, Estoi

8005-463 Faro, Portugal

Tel.: 00351 289 998 009; Fax: 00351 289 998 318; E-mail: [vitorrosao@schiu.com](mailto:vitorrosao@schiu.com)

<sup>2</sup> UALG-Universidade do Algarve, ISE, DEC

Campus da Penha

8005-139 Faro, Portugal

Tel.:00351 289 800 100; Fax: 00351 289 800 183 E-mail: [ascarrei@ualg.pt](mailto:ascarrei@ualg.pt)

### RESUMO

No presente trabalho foram efetuadas medições de isolamento sonoro *in situ*, de acordo com as normas aplicáveis da série ISO 140, e medições de vibração dos elementos separadores em causa. Pretende-se comparar os resultados das medições diretas de isolamento sonoro com os resultados das previsões de isolamento sonoro, tendo por base as medições de vibração, de forma a verificar a viabilidade de aplicação desta metodologia na determinação mais rigorosa dos caminhos de propagação sonora entre espaços e da definição mais rigorosa, eficaz e direcionada das intervenções de melhoria de isolamento sonoro a efetuar, quando necessárias.

### 1 INTRODUÇÃO

Quando se deteta *in situ*, através do uso, e.g., da Norma NP EN ISO140-4 [1], a existência de um isolamento sonoro deficiente – tipicamente o não cumprimento da legislação dos requisitos acústicos dos edifícios [2] – entre dois espaços, Emissor e Recetor, num edifício, e queremos resolver o problema, nem sempre é fácil a resposta às seguintes questões:

- Será suficiente intervir no elemento divisório?
- Será necessário intervir também nos elementos marginais?
- Existirá uma propagação aérea relevante?

A dificuldade de resposta às perguntas enunciadas prende-se com o fato da medição típica [1] fornecer a diferença de níveis sonoros entre o Emissor e o Recetor, mas não distinguir quais os Caminhos Sonoros que mais contribuem para essa diferença.

De acordo com a Norma EN 12354-1 [3] pode-se considerar a existência dos Caminhos Sonoros principais entre o Emissor e o Recetor, ilustrados na Figura 1:

- Caminhos Estruturais:
  - E1: Caminho Estrutural irradiado no recetor através da Divisória.
  - E2 e E3: Caminhos Estruturais irradiados no recetor através das Paredes Laterais.
  - E4 e Ei: Caminhos Estruturais irradiados no recetor através do Chão, Teto e outros elementos.
- Caminhos Aéreos:
  - A1: Caminho Aéreo através de abertura no elemento Divisória.
  - A2 e Ai: Caminhos Aéreos através de outras aberturas.

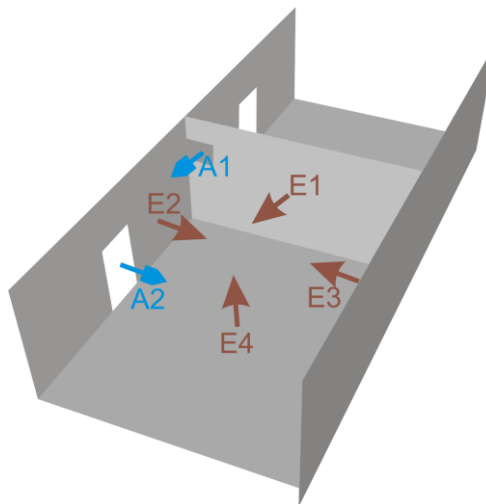


Figura 1: Esquema dos caminhos sonoros num edifício entre o Emissor e o Recetor

O presente trabalho procura assim analisar a viabilidade de utilização de medições de vibração *in situ*, para além das medições de isolamento sonoro típicas [1], para determinação da contribuição de cada um dos Caminhos Estruturais em causa, num determinado isolamento sonoro, de forma a poder determinar, quantitativamente, quais os caminhos sonoros em que é mais eficaz a intervenção, por forma a reabilitar acusticamente um espaço.

## 2 FUNDAMENTOS E SIMPLIFICAÇÕES TEÓRICAS

### 2.1 Relações entre os Níveis Sonoros e as Reduções Sonoras

O Nível Sonoro  $L_R$  medido (apercebido) no Recetor pode ser escrito como a soma energética dos Níveis Sonoros  $L_{Ei}$ , associados aos  $n$  Caminhos Estruturais, com os Níveis Sonoros  $L_{Ai}$ , associados aos  $m$  Caminhos Aéreos, entre o Emissor e o Recetor em causa:

$$L_R = 10 \log \left( \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{Ei}}{10}} + \sum_{i=1}^m 10^{\frac{L_{Ai}}{10}} \right) \quad (1)$$

Assim a intervenção/redução  $\Delta_1$  em  $E_1$ , ou  $\Delta_i$  em  $E_1$  a  $E_n$ , só será suficiente por si própria se as restantes contribuições forem desprezáveis, ou seja:

$$10\log\left(\sum_{i=1}^a 10^{\frac{L_E - \Delta_i}{10}}\right) \geq 10\log\left(\sum_{i=a+1}^n 10^{\frac{L_E}{10}} + \sum_{i=1}^m 10^{\frac{L_{A_i}}{10}}\right) + 10 \quad (2)$$

O que pode ser escrito, de forma mais simplificada, como:

$$L_a - \Delta_a \geq L_{a'} + 10 \quad (3)$$

Onde:

$$L_a - \Delta_a = 10\log\left(\sum_{i=1}^a 10^{\frac{L_E - \Delta_i}{10}}\right) \quad (4)$$

$$L_{a'} = 10\log\left(\sum_{i=a+1}^n 10^{\frac{L_E}{10}} + \sum_{i=1}^m 10^{\frac{L_{A_i}}{10}}\right) \quad (5)$$

De onde resulta a seguinte expressão para a Redução Sonora Global  $\Delta_{Global}$ :

$$\Delta_{Global} = L_R - 10\log\left(10^{\frac{L_a - \Delta_a}{10}} + 10^{\frac{L_{a'}}{10}}\right) \quad (6)$$

Com base nas expressões anteriores, podem-se determinar algumas simplificações julgadas relevantes, em termos das relações entre a Redução Sonora Global  $\Delta_{Global}$ , a Redução Sonora específica  $\Delta_a$  e relação entre  $L_a$  e  $L_{a'}$ , conforme se apresenta no Quadro 1.

**Quadro 1: Simplificações teóricas das relações entre as reduções e os níveis sonoros**

$L_a - L_{a'}$ (dB)	$\Delta_{aMin}$ (dB)	$\Delta_{GlobalMax}$ (dB)	$L_a - L_{a'}$ (dB)	$\Delta_{aMin}$ (dB)	$\Delta_{GlobalMax}$ (dB)
0	10*	3	6	16*	7
1	11*	4	7	17*	8
2	12*	4	8	18*	9
3	13*	5	9	19*	10
4	14*	5	$\geq 10$	$10 + L_a - L_{a'}$	$L_a - L_{a'}$
5	15*	6			

\* O valor de  $\Delta_{aMin}$  é dado pela expressão geral:  $10 + L_a - L_{a'}$ .

O explicitado no Quadro 1 significa que:

1. Se  $L_a = L_{a'}$  então a Redução Sonora Global máxima que é possível de atingir é de 3 dB, e é conseguida através de uma Redução Sonora específica mínima de 10 dB.
2. Se  $L_a = L_{a'} + 1$  então a Redução Sonora Global máxima que é possível de atingir é de 4 dB, e é conseguida através de uma Redução Sonora específica mínima de 11 dB, e assim sucessivamente.
3. Se  $L_a \geq L_{a'} + 10$  então a Redução Sonora Global máxima que é possível de atingir é de  $(L_a - L_{a'})$  dB e é conseguida através de uma Redução Sonora específica mínima de  $(10 + L_a - L_{a'})$  dB. Por exemplo, se  $L_a = L_{a'} + 12$ , então a Redução Sonora Global máxima que é possível de atingir é de 12 dB e é conseguida através de uma Redução Sonora específica mínima de 22 dB.

## 2.2 Relações entre os Níveis Sonoros e a Vibração dos Elementos

De acordo com o Anexo C da Norma NP EN ISO140-4 [1], tem-se que a potência sonora transmitida para o compartimento Recetor consiste na soma das seguintes parcelas:

- $W_{Dd}$ : potência proveniente da excitação direta da divisória e radiada diretamente por esta.
- $W_{Df}$ : potência proveniente da excitação da divisória, mas radiada pelos elementos marginais.
- $W_{Fd}$ : potência proveniente da excitação dos elementos marginais e radiada diretamente pela divisória.
- $W_{Ff}$ : potência proveniente da excitação dos elementos marginais e radiada diretamente pela divisória.
- $W_{Fi}$ : potência proveniente da excitação dos elementos marginais e radiada por estes.
- $W_{leak}$ : potência transmitida, sob forma de ruído aéreo, através das aberturas, tubos de canalização, ou condutas de ventilação, etc.

Para frequências maiores que a frequência crítica do elemento, a potência  $W_k$  emitida por esse elemento particular  $k$ , com uma área  $S_k$ , no compartimento Recetor, pode ser determinada por [1]:

$$W_k = \rho c S_k \overline{v_k^2} \sigma_k \quad (7)$$

Onde:

- $\overline{v_k^2}$  é a média espacial do quadrado do valor da velocidade de vibração normal na superfície do provete.
- $\sigma_k$  é o fator de radiação, próximo de 1, para valores superiores ao da frequência crítica. Outros valores de  $\sigma_k$  podem ser determinados com base no Anexo B da Norma [3].
- $\rho c$  é a impedância característica do ar.

Para um campo sonoro difuso pode-se escrever [4,5]:

$$L_{Rk} \approx L_{wk} + 10 \log\left(\frac{T}{V}\right) + 14 \quad (8)$$

Onde:

- $L_{Rk}$  o Nível de Pressão Sonora no compartimento Recetor devido à radiação do elemento  $k$ .
- $L_{wk}$  é o Nível de Potência Sonora da radiação do elemento  $k$ .
- $T$  é o Tempo de Reverberação no compartimento Recetor.
- $V$  é o Volume do compartimento Recetor.

Admite-se assim:

$$L_R = 10 \log\left(\sum 10^{\frac{L_{Rk}}{10}} + \sum 10^{\frac{L_{Ai}}{10}}\right) \quad (9)$$

E:

$$L_{wk} = 10\log\left(\frac{w_k}{10^{-12}}\right) \approx 10\log\left(\frac{\rho c S_k \overline{v_k^2} \sigma_k}{10^{-12}}\right) \approx \overline{L_{vk}} + 10\log(S_k \sigma_k) - 33 \quad (10)$$

Sendo  $\overline{L_{vk}}$  o Nível de Vibração Médio do elemento  $k$  dado por:

$$\overline{L_{vk}} = 10\log\left(\frac{v_{1k}^2 + v_{2k}^2 + \dots + v_{nk}^2}{n \cdot 10^{-18}}\right) \quad (11)$$

### 3 ENSAIOS REALIZADOS

Com o objetivo de validar o método proposto para determinar o isolamento sonoro entre dois compartimentos, foram efetuadas as seguintes medições entre dois compartimentos adjacentes de uma habitação, com a emissão contínua de ruído (fonte sonora dodecaédrica [1]) no compartimento Emissor:

- Níveis Sonoros no compartimento Emissor.
- Níveis Sonoros no compartimento Recetor.
- Tempo de Reverberação no compartimento Recetor.
- Vibração da parede Divisória.
- Vibração dos restantes elementos do compartimento Recetor ligados com a parede Divisória: Parede interior, Parede exterior, Teto, Chão.

Os elementos em análise são constituídos em alvenaria de tijolo (paredes) e betão armado (chão e teto), e os equipamentos utilizados foram os seguintes:

- Sonómetro de Classe 1 da Marca 01 dB, Modelo SOLO.
- Vibrómetro de Classe 1 constituído por acelerómetro Dytran 3185D e analisador SVAN 946A.

#### 3.1 Fixação do Acelerómetro

Uma vez que as melhores formas de fixação dos acelerómetros aos elementos estruturais são “destrutivas”, como sejam os furos para fixação de parafuso ou colas (cimento e cera de abelha) [6] e havendo interesse óbvio na possibilidade de utilização de formas de fixação não “destrutivas”, considerou-se adequado efetuar primeiramente medições comparativas, entre uma fixação com parafuso, uma fixação simples com ponteira e uma fixação simples com a mão.

Efetuu-se a comparação dos Níveis de Vibração Médios do centro da parede, na gama de frequências 100Hz a 3150Hz, para cada um dos 3 métodos de montagem do acelerómetro. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 2.

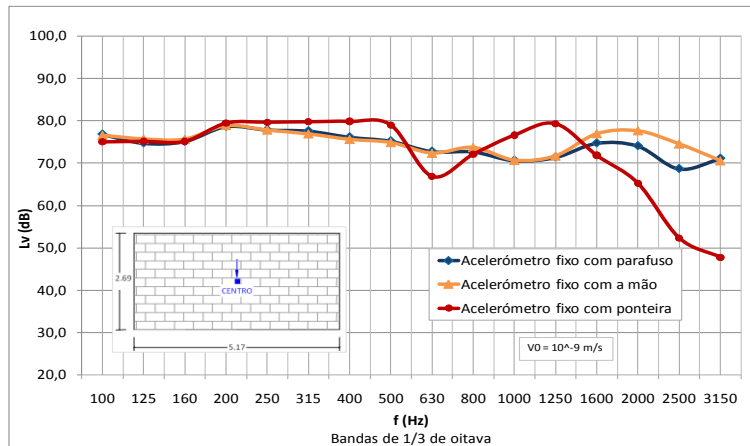


Figura 2: Resultados da comparação dos três tipos de fixação de acelerômetro

Do gráfico anterior observa-se, para a gama de frequências em análise 100Hz a 3150Hz:

- Uma “má” concordância entre os valores obtidos com a fixação “Ponteira” e os valores obtidos com a fixação “Parafuso”.
- Uma “boa” concordância entre os valores obtidos com a fixação “Só Mão” e os valores obtidos com a fixação “Parafuso”. A fiabilidade deste método de fixação foi ainda confirmada por medições realizadas em mais 2 pontos da mesma parede. Perante tal concordância, optou-se por utilização da fixação “Só Mão” nas restantes medições de vibração.

### 3.2 Níveis Sonoros associados à vibração

Das medições de vibração efetuadas na parede divisória e nos restantes elementos do compartimento recetor, obtiveram-se os resultados, em termos de Níveis de Pressão Sonora deduzidos das velocidades de vibração medidas, que se apresentam na Figura 3.

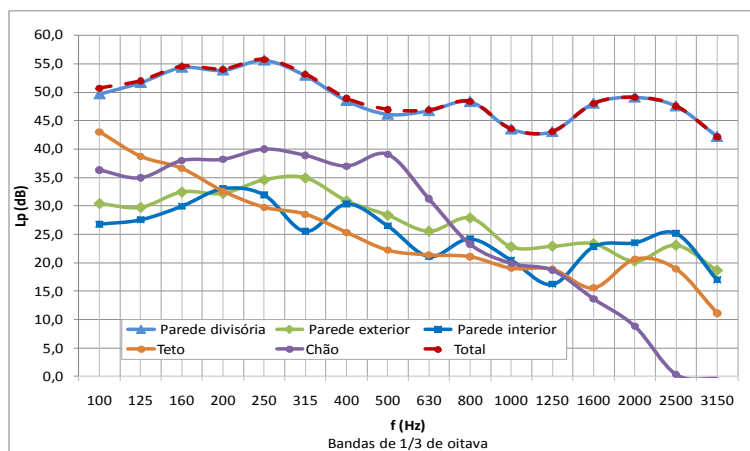


Figura 3: Resultados dos Níveis de Pressão Sonora associados à vibração dos diferentes elementos

Da figura 3 observa-se:

- Uma significativa prevalência dos valores associados à Divisória, à exceção das baixas frequências, onde assume maior importância a contribuição do Teto e do Chão.
- Dependendo da redução sonora necessária poderá ser suficiente intervir apenas na Divisória.

### 3.3 Isolamento Sonoro

O Índice de Isolamento a Sons Aéreos medido está apresentado na Figura 4, e corresponde a um valor de  $D_{nT,w} = 38$  dB, que não cumpre o limite legal de  $D_{nT,w} \geq 50$  dB [2]. Assim, para cumprir um Índice de Isolamento Sonoro a Sons Aéreos de 50 dB, será necessário aumentar o isolamento em cerca de 12 dB ( $38+12=50$ ). De acordo com o Quadro 1, isso é possível se  $(L_a - L_a') \geq 12$  dB e  $\Delta_a \geq 22$  dB.

De acordo com Tabela D.1 da Norma EN 12354-1 [3], uma placa de gesso de 12.5 mm com 44 mm de caixa-de-ar e com 25mm de lã de rocha, permite a melhoria de isolamento sonoro que se apresenta no Quadro 2 ( $\Delta R_w = 18$  dB) (valores originais em 1/1 de oitava, extrapolados para 1/3 de oitava).

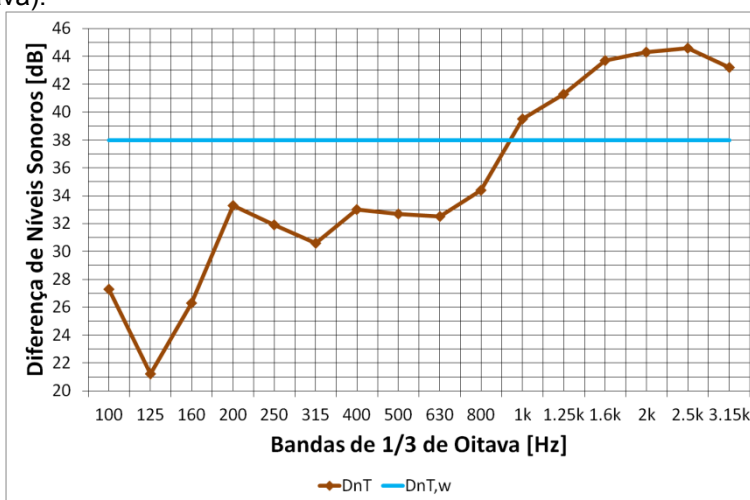


Figura 4: Isolamento a Sons Aéreos obtido

**Quadro 2: Melhoria de isolamento de placa de gesso**

		Hz															
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k	2.5k	3.15k
-	2	-	-	14	-	-	23	-	-	24	-	-	19	-	-		
0	2	6	10	14	17	20	23	23	24	24	22	21	19	17	16		

Aplicando esta melhoria de Isolamento Sonoro apenas na Divisória resultam os valores apresentados na Figura 5, de onde resulta a previsão de um Isolamento Sonoro melhorado de  $D_{nT,w} = 47$  dB, que não atinge assim os 50 dB pretendidos (conforme seria expeável à partida, na medida em deveríamos ter  $\Delta_a \geq 22$  dB e temos  $\Delta_a = 18$  dB), sendo portanto necessário intervir também outros elementos, em particular o chão e/ou o teto, por serem aqueles com maior contribuição para o valor global apercebido, ou então utilizar um sistema com um valor superior de  $\Delta_a$  ( $\Delta R_w$ ).

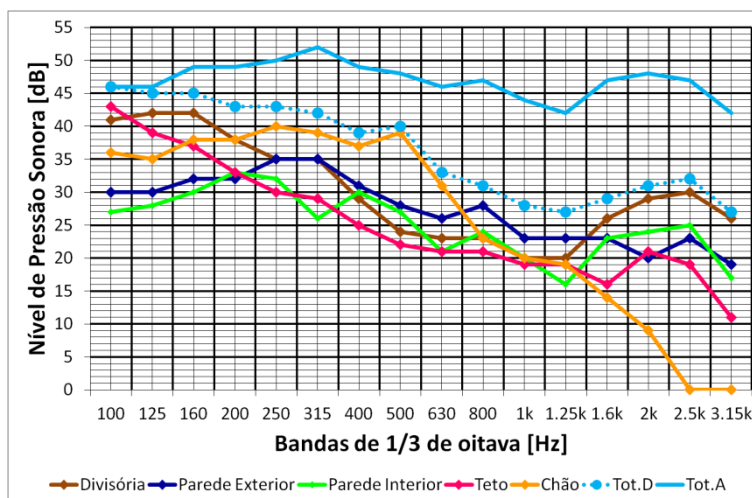


Figura 5: Melhoria do Isolamento a Sons Aéreos obtida

### 3.4 Comparação dos Níveis Sonoros previstos pela vibração com os Níveis Sonoros medidos

Apresentam-se na Figura 6, os Níveis Sonoros previstos através das medições de vibração e os Níveis Sonoros médios medidos no compartimento Recetor.

De acordo com a Figura 6, aparenta estar a ser sobrevalorizado o fator de radiação para as Bandas de Frequência abaixo de 315 Hz e acima de 1250 Hz, pois os níveis de pressão sonora deduzidos da vibração são superiores aos medidos com o sonómetro.

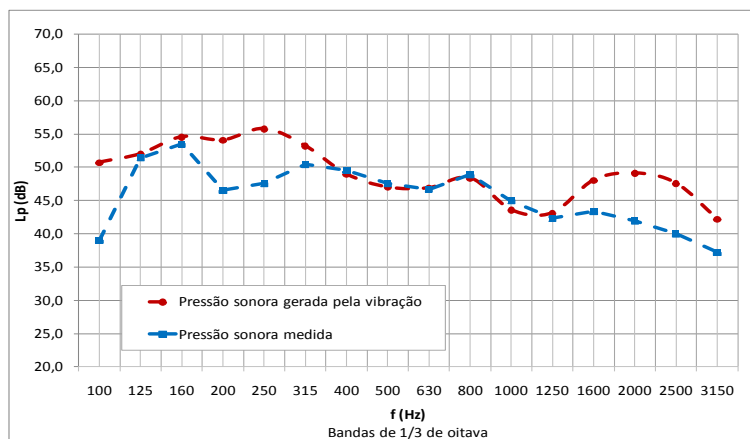


Figura 6: Níveis Sonoros previstos (vibração) e medidos

## 4. CONCLUSÕES

Face ao exposto anteriormente conclui-se que são necessários mais desenvolvimentos, sobretudo para determinação das variações do fator de radiação com a frequência e com o tipo de elemento, e para comparação das previsões com os resultados finais após intervenção.

Pese embora o referido, julga-se que o que foi apresentado é suficiente para tornar evidente a pertinência e dificuldade de obtenção, mediante medições *in situ*, da contribuição e relevância



de cada um dos diferentes caminhos estruturais, e aéreos, de propagação sonora entre um emissor e um recetor, em edifícios comuns.

## REFERÊNCIAS

[1] Norma Portuguesa, NP EN ISO 140-4 – *Acústica: Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção: Parte 4: Medição in situ do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos*. 2009. (ISO 140-4: 1998)

[2] Diário da República Portuguesa – Decreto-Lei n.º 96/2008, de 9 de Junho. *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios*.

[3] European Standard, EN 12354-1 – *Building Acoustics: Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements: Part 1: Airborne sound insulation between rooms*. 2000.

[4] European Standard, EN 12354-5 – *Building acoustics: Estimation of acoustic performance of building from the performance of elements: Part 5: Sounds levels due to the service equipment*. 2009.

[5] Norma Portuguesa, NP EN ISO 3382-2: *Acústica: Medição de parâmetros de acústica de salas: Parte 2: Tempo de reverberação em salas correntes*. 2011. (ISO 3383-2: 2008)

[6] International Standard, ISO 5348 – *Mechanical vibration and shock: Mechanical mounting of accelerometers*. 1998.