

# ANÁLISE EXPERIMENTAL DO ISOLAMENTO A SONS DE PERCUSSÃO EM CÂMARA REVERBERANTE DE DIMENSÕES REDUZIDAS

R. Masgalos<sup>1</sup>, L. Godinho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dep. Eng. Civil da FCTUC  
masgalos@iol.pt

<sup>2</sup>CICC, Dep. Eng. Civil da FCTUC  
lgodinho@dec.uc.pt

## Resumo

No presente trabalho estudou-se a viabilidade de utilizar uma câmara acústica reverberante de dimensões reduzidas em betão armado, com um volume de aproximadamente 3m<sup>3</sup>, para a realização de ensaios de caracterização da redução sonora aos sons de percussão proporcionada por revestimentos e materiais resilientes aplicados sob lajetas flutuantes.

Apresenta-se, em primeiro lugar, o estudo realizado para a definição deste sistema, seguido da caracterização do seu comportamento dinâmico. São ainda apresentados alguns resultados obtidos para materiais de teste, avaliando-se, para cada um deles, a repetibilidade dos ensaios e a variabilidade do resultado com a posição da máquina de percussão normalizada. Os ensaios efectuados a estes materiais permitiram obter valores que se situam bastante próximos dos declarados pelos fabricantes. Um sistema deste tipo poderá ser uma ferramenta útil para o desenvolvimento de novas soluções de isolamento a sons de percussão.

**Palavras-chave:** experimental, isolamento a sons de percussão, câmara de dimensões reduzidas.

## Abstract

In the present work we studied the viability of using an acoustic reverberant chamber of reduced dimensions with reinforced concrete structure, with a volume of approximately 3m<sup>3</sup>, which may be used for the characterization of the impact noise reduction provided by floor coverings and resilient materials applied under floating screeds.

First, we present the study carried out for the definition of this system, followed by the characterization of its dynamic behaviour. We then presented some results obtained for test materials, evaluating, for each one of them, the repeatability of the tests and the variability of the results with the position of the normalized tapping machine. The values obtained with this kind of system for the tested materials were very close to the ones indicated by the producers. Such a system could be a useful tool to develop new solutions of impact sound insulation.

**Keywords:** experimental, impact noise insulation, small size acoustic chamber.

## 1 Introdução

A definição de novas soluções construtivas para isolamento a sons de percussão tem sido alvo de investigação por parte da comunidade científica e por parte da indústria. Esta tarefa faz, frequentemente, uso de ensaios em laboratório para avaliação do comportamento de materiais e sistemas construtivos.

O método experimental mais utilizado para a caracterização do isolamento sonoro a sons de percussão, ISO/CEN, possibilita a caracterização do isolamento sonoro destes no domínio da frequência, de acordo com as Normas NP EN ISO 140-6 [1], EN ISO 140-7 [2] e EN ISO 717-2 [3], submetendo os elementos de compartimentação a acções de percussão normalizadas. Permite, também, efectuar a quantificação do isolamento sonoro de elementos de compartimentação de edifícios através de um valor único, o índice  $L_{n,w}$ . Os ensaios laboratoriais de isolamento a sons de percussão são, de acordo com estas normas internacionais, realizados num sistema de duas câmaras acústicas sobrepostas, sendo o elemento a ensaiar, com um mínimo de 10 m<sup>2</sup>, colocado entre estas duas câmaras.

A grande envergadura, entre outros requisitos das normas internacionais em vigor, vem limitar a implementação deste tipo de sistemas existindo apenas um número limitado de laboratórios de ensaio capazes de dar resposta a solicitações nesta área. Assim, achou-se interessante desenvolver um sistema, de dimensões reduzidas, que permita a execução de alguns ensaios de caracterização do comportamento de soluções construtivas a sons de percussão (p.ex. revestimentos de pavimentos).

Apesar de existir, na bibliografia, um grande número de trabalhos relacionados com a propagação de sons de percussão e com as metodologias de ensaio correspondentes, verifica-se que o desenvolvimento de métodos de ensaio simplificados não tem sido um alvo preferencial de investigação por parte da comunidade científica. No entanto, é importante referir o desenvolvimento de um sistema desse género, com base numa dupla câmara reverberante, apresentado por Carvalho e Rodrigues [4]. Este sistema, designado por Acustilab, foi desenvolvido com o objectivo de ser usado por estudantes de Engenharia Civil.

Embora um sistema deste género não cumpra os requisitos acima referidos, poderá proporcionar uma maior celeridade no desenvolvimento de novos materiais e soluções construtivas com propriedades específicas para o isolamento a sons de percussão, uma vez que serão necessários menos recursos para a realização dos ensaios. Saliente-se ainda o facto de a necessidade de mobilização de meios ser muito inferior aos ensaios em câmaras convencionais, o que, aliado à reduzida dimensão dos provetes a testar, se poderá traduzir num benefício em termos económicos.

Apresenta-se, em primeiro lugar, o estudo realizado para a definição deste sistema, seguido da caracterização do seu comportamento dinâmico, avaliando os modos próprios do seu interior e os da laje de suporte usada como referência. São ainda apresentados alguns resultados obtidos para materiais de teste, avaliando-se, para cada um deles, a repetibilidade do ensaios e a variabilidade do resultado com a posição da máquina de percussão normalizada.

## 2 Definição e construção do sistema

O espaço para implementação deste sistema situou-se no laboratório de acústica do Laboratório de Construções do DEC da FCTUC.

Um dos aspectos fundamentais que influencia a definição das dimensões do sistema prende-se com o seu comportamento dinâmico. De facto, num sistema de dimensões reduzidas como o que aqui se propõe, os modos próprios do espaço interior tendem a situar-se em frequências elevadas, podendo, por isso, influenciar a fiabilidade dos resultados obtidos. Por outro lado, o elemento horizontal que será sujeito aos impactos normalizados apresentará também uma dimensão mais reduzida do que a prevista na normalização, apresentando, por isso, modos próprios também distintos da solução

normalizada. Deste modo, e tendo em vista a escolha das dimensões dos vários elementos da câmara, foram calculadas as frequências próprias de vibração transversal da laje de suporte e as frequências próprias do espaço interior da câmara. Foi ainda estimado o isolamento a sons aéreos para diversas espessuras dos elementos estruturais do sistema, de modo a perceber se a utilização de pequenas espessuras de parede poderia ser condicionante. As dimensões escolhidas para este estudo foram de forma a que os modos próprios estivessem igualmente espaçados ou, pelo menos, que não coincidissem, e que não se situassem em frequências demasiado próximas da gama interessante para a análise da redução sonora proporcionada por materiais de revestimento.

## 2.1 Frequências próprias de vibração transversal da laje de suporte

Em teoria, o número de modos próprios de vibração é infinito. No entanto, sabendo que são os primeiros modos que mais influenciam o isolamento acústico, calcularam-se apenas os primeiros modos mostrados, na Tabela 1, para várias espessuras (h) e dimensões segundo x e y (a e b).

Tabela 1– Modos próprios de vibração transversal da laje de suporte

h (m)	a	b	f11	f12	f21	f22	f13	f31	f23	f32	f33
0.05	2.1	1.4	60.3	185.5	115.9	241.2	394.2	208.7	449.9	333.9	542.6
	1.8	1.2	82.1	252.5	157.8	328.3	536.6	284.1	612.3	454.5	738.6
	1.5	1.6	68.3	164.2	177.4	273.3	324.0	359.2	433.1	455.1	614.9
	1.5	1.3	84.8	230.0	193.9	339.1	472.0	375.7	581.1	520.9	762.9
	1.2	0.8	184.6	568.1	355.1	738.6	1207.3	639.2	1377.7	1022.7	1661.8
0.06	2.1	1.4	72.4	222.6	139.1	289.4	473.1	250.4	539.8	400.7	651.2
	1.8	1.2	98.5	303.0	189.4	393.9	643.9	340.9	734.8	545.4	886.3
	1.5	1.6	82.0	197.0	212.9	327.9	388.8	431.0	519.7	546.1	737.8
	1.5	1.3	101.7	276.0	232.6	406.9	566.5	450.8	697.4	625.1	915.5
	1.2	0.8	221.6	681.8	426.1	886.3	1448.8	767.0	1653.3	1227.2	1994.2
0.07	2.1	1.4	84.4	259.7	276.6	451.9	580.5	549.3	744.1	467.5	759.7
	1.8	1.2	114.9	353.5	334.1	572.7	779.5	652.2	970.4	636.3	1034.0
	1.5	1.6	95.6	229.9	350.2	484.4	479.0	732.0	708.1	637.1	860.8
	1.5	1.3	118.7	322.0	373.2	576.5	686.3	755.0	915.4	729.2	1068.1
	1.2	0.8	258.5	795.4	560.8	1097.6	1706.1	1038.0	1992.5	1431.7	2326.5

## 2.2 Frequências próprias de vibração do espaço interior da câmara

Os modos próprios de vibração de um espaço fechado, devido à formação de campos estacionários, dependem da forma e dimensões dos elementos da envolvente, bem como das condições de fronteira ao longo de toda a envolvente. Constata-se que, quanto maiores forem as dimensões do espaço mais baixas são as frequências em que se registam os primeiros modos próprios de vibração.

Também aqui os primeiros modos de vibração, geralmente, são condicionantes. Caso ocorram para frequências dentro da gama audível, os primeiros modos próprios de vibração podem condicionar fortemente as condições de propagação no interior do espaço e influenciar, significativamente, o isolamento sonoro.

São apresentados os três primeiros modos normais de vibração da câmara, nas três direcções principais, na Tabela 2 para várias dimensões segundo as mesmas direcções (Lx, Ly e Lz).

## 2.3 Isolamento a sons aéreos

Para melhor compreender de que forma a espessura das paredes da câmara iria influenciar o seu isolamento, recorreu-se o modelo de Sharp para estimar o isolamento a sons aéreos destes elementos. Este modelo, aplicável a elementos simples e isotrópicos, tem em conta a influência da massa do

elemento, da frequência do som incidente, das quebras de isolamento na frequência crítica e do factor de perdas.

São apresentadas, na Figura 1, as curvas de isolamento para as várias espessuras estudadas, obtidas através do modelo simplificado de Sharp, assim como os valores de  $R_w$  obtidos por ajuste da curva R à descrição convencional de referência.

Tabela 2 - Primeiros modos próprios do espaço interior da câmara (Hz)

Lx	Ly	Lz	f1,0,0	f0,1,0	f0,0,1	f2,0,0	f0,2,0	F0,0,2	f3,0,0	f0,3,0	f0,0,3
1.5	1.4	1.7	114.3	122.5	100.9	228.7	245.0	201.8	343.0	367.5	302.6
1.5	1.4	1.6	114.3	122.5	107.2	228.7	245.0	214.4	343.0	367.5	321.6
1.5	1.4	1.5	114.3	122.5	114.3	228.7	245.0	228.7	343.0	367.5	343.0
1.5	1.4	1.4	114.3	122.5	122.5	228.7	245.0	245.0	343.0	367.5	367.5
1.5	1.4	1.3	114.3	122.5	131.9	228.7	245.0	263.8	343.0	367.5	395.8
1.4	1.3	1.7	122.5	131.9	100.9	245.0	263.8	201.8	367.5	395.8	302.6
1.4	1.3	1.6	122.5	131.9	107.2	245.0	263.8	214.4	367.5	395.8	321.6
1.4	1.3	1.5	122.5	131.9	114.3	245.0	263.8	228.7	367.5	395.8	343.0
1.4	1.3	1.4	122.5	131.9	122.5	245.0	263.8	245.0	367.5	395.8	367.5
1.4	1.3	1.3	122.5	131.9	131.9	245.0	263.8	263.8	367.5	395.8	395.8
1.3	1.2	1.7	131.9	142.9	100.9	263.8	285.8	201.8	395.8	428.8	302.6
1.3	1.2	1.6	131.9	142.9	107.2	263.8	285.8	214.4	395.8	428.8	321.6
1.3	1.2	1.5	131.9	142.9	114.3	263.8	285.8	228.7	395.8	428.8	343.0
1.3	1.2	1.4	131.9	142.9	122.5	263.8	285.8	245.0	395.8	428.8	367.5
1.3	1.2	1.3	131.9	142.9	131.9	263.8	285.8	263.8	395.8	428.8	395.8

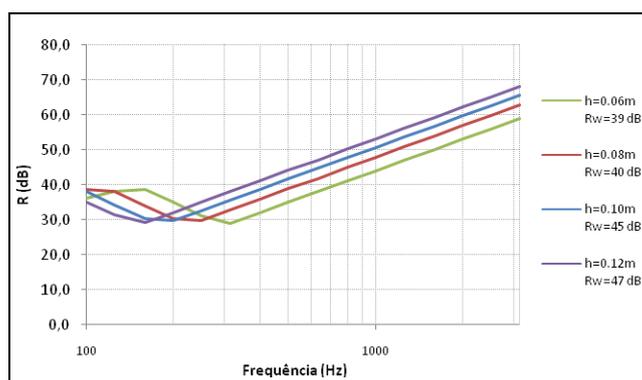


Figura 1 – Curvas de isolamento para as espessuras estudadas para as paredes obtidas através do modelo de Sharp

## 2.4 Solução final

Para a escolha final das dimensões a implementar, teve-se em consideração o espaço ocupado por todo o sistema, o peso da laje de suporte, de modo a permitir a sua mobilidade, e a gama de frequências onde se situam os modos próprios de vibração. Uma vez que se pretende desenvolver um sistema que permita o estudo da redução sonora a sons de percussão proporcionada por materiais de revestimento, torna-se importante que a influência dos modos próprios de vibração seja minimizada nas altas frequências, pelo que se tentaram conciliar todos os aspectos, de forma a escolher as dimensões para as quais os primeiros modos próprios não se encontrassem nessa gama. Optou-se, assim, por uma laje de suporte/superior com  $1.5 \times 1.6 \text{ m}^2$  e  $0.06 \text{ m}$  de espessura, e por uma câmara inferior com  $1.4 \times 1.3 \times 1.5 \text{ m}^3$ , com paredes em betão armado com  $0.1 \text{ m}$  de espessura.

Esta solução foi complementada com uma porta lateral de acesso de  $50 \times 50 \text{ cm}^2$  situada no centro de uma parede. Esta abertura foi depois vedada com uma tampa executada em forma de sanduíche, constituída por duas placas de gesso e fibras, denominadas comercialmente por Vidiwall, com uma

membrana asfáltica (Ref. M.A.D.4) com 4 mm de espessura entre elas. Esta tampa foi fixada recorrendo a quatro varões roscados. Para assegurar a separação entre a base da câmara e o pavimento da sala onde foi inserida usou-se uma tela de aglomerado de borracha com referência comercial CDM 43.010.

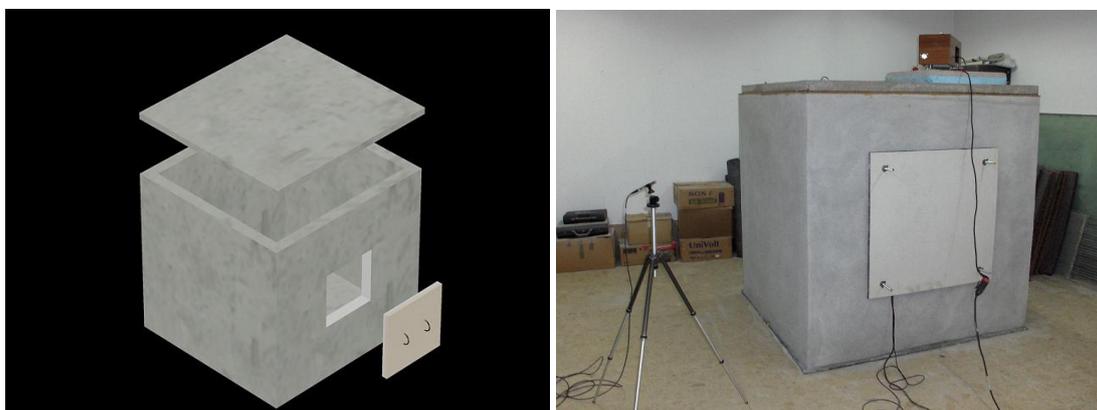


Figura 2 – Imagem virtual e aspecto final da câmara

Os topos das paredes, onde a laje superior assenta, foram revestidos com aglomerado de cortiça com 5 mm de espessura, devidamente colado com cola de contacto. Deste modo procurou-se evitar a existência de ligações rígidas entre ambas as partes, situação indesejável para ensaios a sons de percussão.

### 3 Caracterização da câmara

Acabada a fase de construção e preparação da câmara, procedeu-se à sua caracterização. Para tal, foram efectuados, entre outros, os ensaios e testes apresentados nos pontos seguintes.

#### 3.1 Isolamento a sons aéreos

De modo a caracterizar o isolamento a sons aéreos proporcionado pela câmara executada, foram efectuadas medições com base na norma EN ISO 140-4 [6]. Devido às reduzidas dimensões da câmara não foi possível cumprir integralmente os requisitos de ensaio contidos nesta norma. Como tal, foi feita uma adaptação, nomeadamente, ao número de posições de fonte e microfone e número de medições.

Os ensaios foram realizados em bandas de 1/3 de oitava entre as frequências centrais de 100 e 3150 Hz. Foi calculado o índice de isolamento normalizado,  $D_{n,w}$ , através do ajuste da curva  $D_n$  a uma descrição convencional de referência citada na norma EN ISO 717-1 [7].

Para melhor compreender o comportamento aos sons aéreos, foram efectuados medições com a fonte no interior e no exterior, de modo poder comparar os valores obtidos.

É apresentada, na Figura 4, a curva de isolamento a sons aéreos normalizada,  $D_n$ , juntamente com a curva convencional de referência ajustada para as situações com a fonte no interior e no exterior.

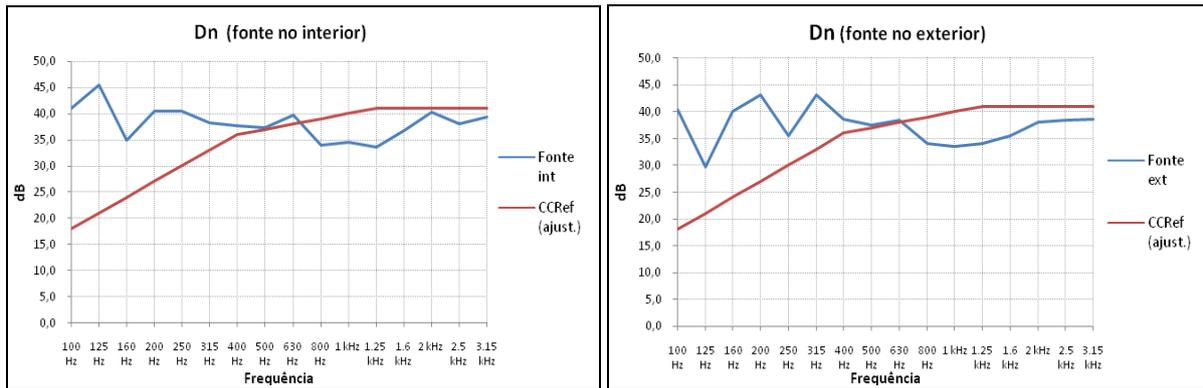


Figura 4 – Curva de isolamento a sons aéreos normalizada e curva convencional de referência ajustada para a situação com a fonte no interior

Analisando os dados recolhidos chegou-se ao valor do índice de isolamento sonoro a sons de percussão,  $D_{n,w}$ , de 37 dB para ambos os casos. O facto de se ter obtido um valor inferior ao previsto deveu-se, possivelmente, à questão de o isolamento da tampa de acesso ao interior da câmara não ser tão eficiente quanto o previsto. Embora se julgue que este aspecto pudesse ser melhorado, considerou-se que o valor obtido permitiria a realização dos ensaios previstos.

### 3.2 Isolamento a sons de percussão da laje de suporte

O ensaio ao isolamento a sons de percussão da laje de suporte foi efectuado com base numa adaptação da norma NP EN ISO 140-6, principalmente no que se refere a posições da máquina de percussão normalizada e distâncias mínimas entre esta e os extremos da laje, bem como as posições de microfones no interior da câmara. Para o ensaio, foram escolhidas oito posições para a máquina de percussão, indicadas na Figura 5. Para cada posição recolheram-se 25 medições, efectuadas por grupos de cinco, em que se tirou e recolocou a máquina de percussão, aproximadamente na mesma posição. Resultaram, no final, um total de 200 medições.

Concluído o ensaio, obteve-se a curva de isolamento apresentada na Figura 5, juntamente com a curva convencional de referência ajustada. O valor obtido para o índice de isolamento a sons de percussão,  $L_{n,w}$ , para a laje de suporte sem qualquer tipo de solução de isolamento instalada foi de 89 dB.

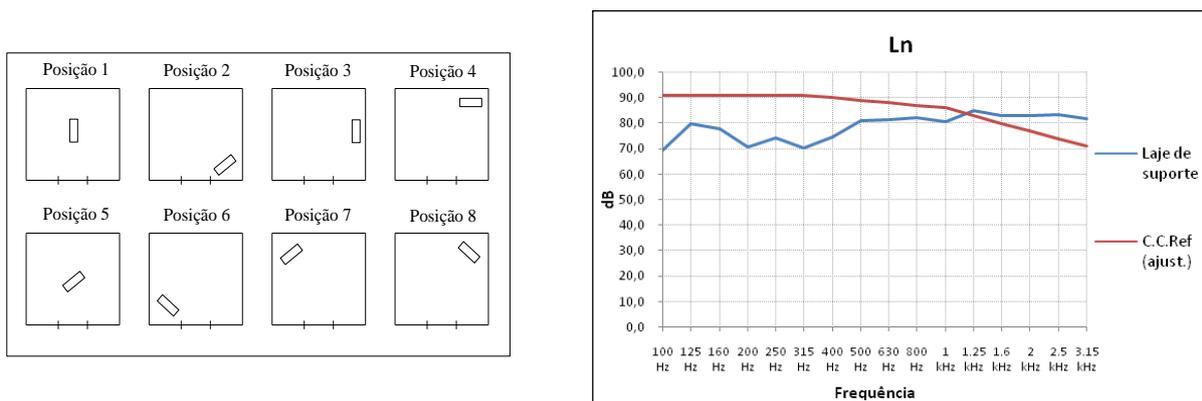


Figura 5 – Posições da máquina de percussão e curva  $L_n$  para a laje de suporte com a curva convencional de referência ajustada

De modo a averiguar a repetibilidade dos valores obtidos, foi calculado o desvio padrão da curva  $L_n$  por posição e pelo conjunto de todas as medições. A repetibilidade é obtida, de acordo com a norma

ISO 140-2 [8], multiplicando os valores do desvio padrão por 2.8. Os valores resultantes deverão ser similares aos valores de referência fornecidos pela mesma norma para laboratórios convencionais. Os desvios padrão e repetibilidade das medições efectuadas são apresentados na Figura 6.

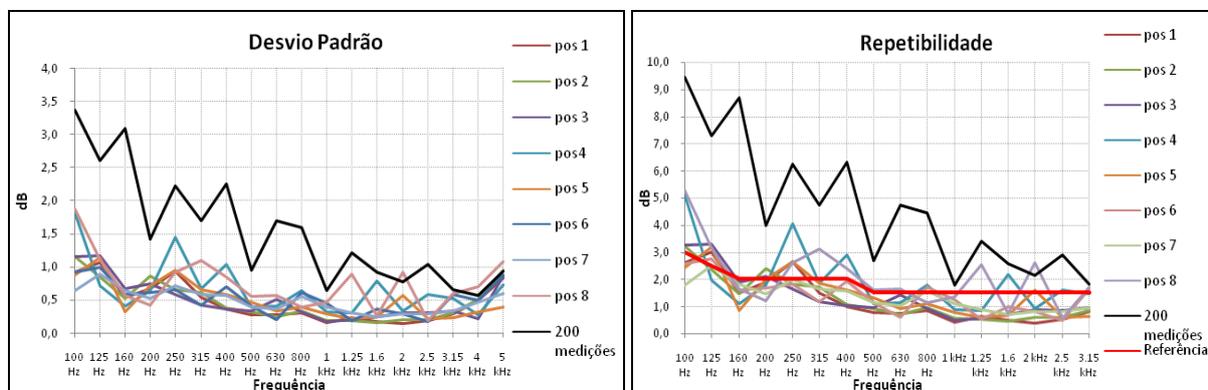


Figura 6 – Desvio padrão e repetibilidade dos valores de  $L_n$  para a laje de suporte

Observa-se que, os valores obtidos para a repetibilidade para cada uma das cinco posições são muito semelhantes aos valores de referência (a vermelho) fornecidos pela norma. Já os valores obtidos para as 200 medições foram algo superiores, o que também seria de esperar devido ao elevado número de posições e ao facto de haver alguma variabilidade nos valores obtidos para as diferentes posições. Esta variabilidade era prevista, uma vez que as diferentes posições da fonte de percussão excitam diferentes modos de vibração, originando comportamentos dinâmicos distintos. De notar que, os valores da repetibilidade obtidos nas 200 medições se aproximam mais da curva de referência na gama de altas frequências, gama esta que é a que mais influencia os valores de  $L_{n,w}$ .

### 3.3 Modos próprios de vibração da laje de suporte e do espaço interior da câmara

De modo a poder localizar os modos próprios da laje de suporte efectuou-se a medição das vibrações transmitidas pela máquina de percussão normalizada a vários pontos da laje, indicados na Figura 7, por intermédio de um acelerómetro.

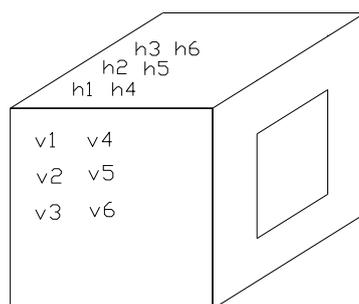


Figura 7 – Posições de medição de vibrações com acelerómetro

Os modos próprios de vibração do espaço interior foram determinados a partir do sinal obtido pelo microfone no interior da câmara com a fonte sonora colocada, também, no seu interior.

Os valores registados no tempo pelo microfone e pelo acelerómetro foram depois processados através da aplicação de uma transformada rápida de Fourier (FFT).

Na Figura 8 são apresentados os espectros em frequência do sinal captado pelo acelerómetro na posição h5 (primeiro espectro) e do sinal captado pelo microfone no interior da câmara (segundo espectro).

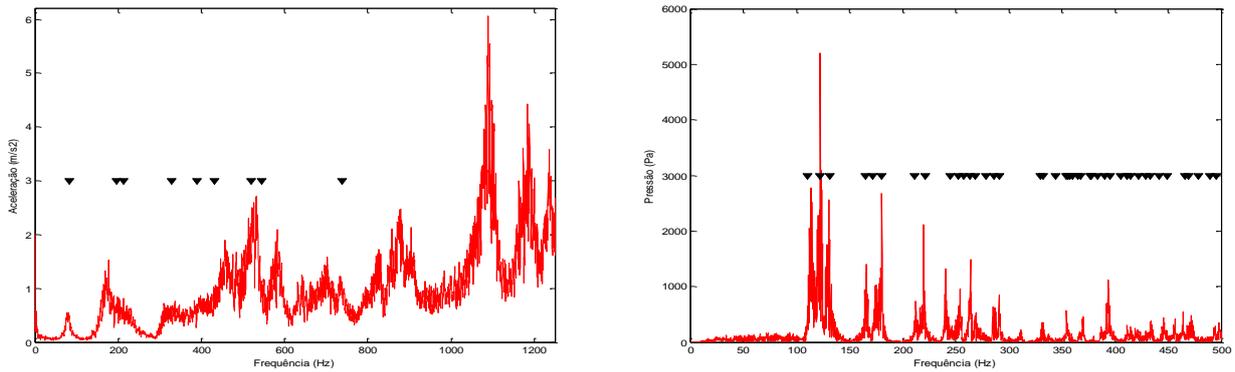


Figura 8 - Espectros em frequência obtidos com recurso a FFT do sinal captado pelo acelerómetro na posição h5 e do sinal captado pelo microfone no interior da câmara, respectivamente

Observa-se que os primeiros modos próprios estão bem visíveis nos espectros e que são próximos dos previstos analiticamente, os quais estão assinalados na Figura 8, sob a forma de triângulos pretos.

### 3.4 Transmissão de vibrações pelo sistema

A eficiência do material resiliente, colocado nos topos das paredes na zona de apoio da laje (aglomerado de cortiça) e do material colocado na base da câmara (aglomerado de borracha), foi atestada adquirindo, através dum acelerómetro, as vibrações transmitidas pela máquina de percussão a três pontos distintos do sistema indicados na Figura 9 juntamente com os espectros em frequência obtidos.

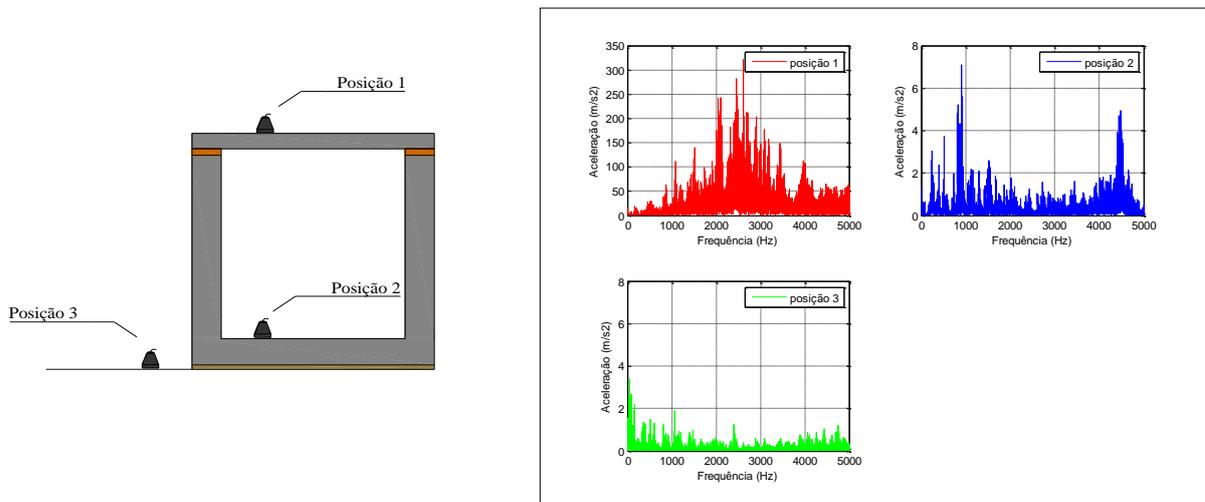


Figura 9 – Posições de medição de vibrações na câmara e os espectros em frequência obtidos pelo acelerómetro nas três posições indicadas

Da análise da Figura 9 constata-se, comparando os espectros das duas primeiras posições, que o aglomerado de cortiça é bastante eficiente no amortecimento das vibrações. De referir, também, que as vibrações transmitidas ao pavimento da sala exterior são já residuais.

## 4 Exemplos de aplicação

Terminada a fase de caracterização da câmara, procedeu-se a ensaios de caracterização da redução sonora aos sons de percussão proporcionada por alguns tipos de soluções, de modo a comparar os valores obtidos com os fornecidos pelos fabricantes.

### 4.1 Metodologia e procedimento de ensaio

Em laboratório, e de acordo com a norma ISO 140-8 [8], o acréscimo de isolamento proporcionado por cada solução construtiva,  $\Delta L_w$ , é determinado com base numa laje de suporte/estrutural de referência com 14 cm de espessura, em betão armado, através da equação (1).

$$\Delta L_w = L_{n,r,w,0} - L_{n,r,w} \quad (1)$$

Onde,

$L_{n,r,w,0}$  – nível sonoro, normalizado, de percussão do pavimento de referência sem revestimento;  
 $L_{n,r,w}$  – nível sonoro, normalizado, de percussão do pavimento de referência com revestimento.

Visto a laje de suporte da câmara em estudo não possuir essa espessura, foi feita a transposição desta para a laje de referência referida na norma ISO 717-2. Este método consiste em calcular a diferença entre o nível sonoro normalizado sem revestimento e com revestimento,  $\Delta L$ , e em seguida subtraí-lo ao nível sonoro normalizado de percussão do pavimento de referência sem revestimento, indicado na norma ISO 717-2, de acordo com as equações (2) e (3).

$$\Delta L = L_{n,0} - L_n \quad (2)$$

$$L_{n,r} = L_{n,r,0} - \Delta L \quad (3)$$

$L_{n,0}$  – nível sonoro, normalizado, de percussão do pavimento da câmara sem revestimento;  
 $L_n$  – nível sonoro, normalizado de percussão do pavimento da câmara com revestimento;  
 $L_{n,r,0}$  – nível sonoro, normalizado de percussão do pavimento de referência sem revestimento.

Ajustando as curvas  $L_{n,r,0}$  (fornecida na norma ISO 717-2) e  $L_{n,r}$  à curva convencional de referência, obtêm-se para a banda de 500 Hz, os valores de  $L_{n,r,w,0}$  e  $L_{n,r,w}$  com os quais, por fim, através da equação (1), se obtém  $\Delta L_w$ .

Para o ensaio escolheram-se 5 posições demonstradas na Figura 10. Foram ensaiados dois tipos de soluções distintas. Uma delas foi um revestimento colocado directamente sobre a laje de suporte e a outra com o material a ensaiar a ser colocado sob uma lajeta flutuante em betão com 1,20x1,20 m<sup>2</sup> de área e 4 cm de espessura.

Na solução com o material resiliente colocado sob a lajeta, foram adquiridas 5 medições por posição de fonte. Entre cada medição era retirada e voltada a colocar a máquina de percussão aproximadamente na mesma posição de medição em medição. Obtiveram-se no final 25 medições. Para a solução com o revestimento, para cada posição de fonte foram recolhidas 25 medições escalonadas em grupos de 5. Entre cada grupo foi retirada e voltada a colocar a máquina de percussão aproximadamente na mesma posição, ficando no final com um total de 125 medições.

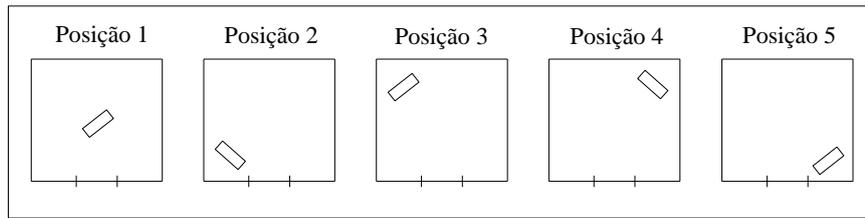


Figura 10 – Posições da máquina de percussão para o ensaio ao isolamento a sons de percussão de vários materiais de revestimento de piso

#### 4.2 Descrição dos materiais e resultados dos ensaios

Para cada solução ensaiada são apresentados os valores da repetibilidade das medições efectuadas por posição e para o total de todas medições efectuadas, bem como a curva de referência da repetibilidade para câmaras convencionais referida na norma ISO 140-2. São também expostas as curvas de isolamento obtidas, com a máquina de percussão na posição 1 e, ainda, a transposição do acréscimo de isolamento para a laje de referência. Na Figura 11 apresentam-se as curvas de isolamento da laje da câmara e da laje de referência sem material. Refira-se que embora exista uma clara discrepância entre ambas, esta se fica sobretudo a dever à necessidade de diminuir o peso da laje de topo usada neste sistema por razões práticas e operacionais.

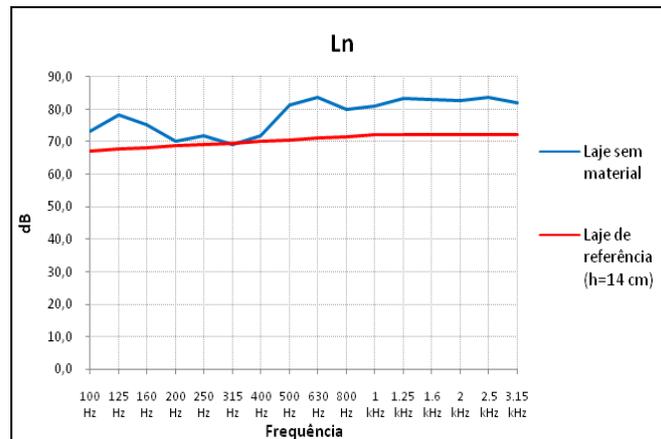


Figura 11 – Curvas de isolamento para a laje de suporte sem material e para a laje de referência sem material

Os materiais escolhidos para ensaiar na câmara em estudo foram um revestimento flutuante à base de cortiça com a designação comercial de Wicanders Series 3000, aplicado directamente sobre a laje de suporte, e uma manta de 5mm de espuma de polietileno extrudido, designado comercialmente por Ethafoam 222-E da marca DOW, aplicada sob uma lajeta flutuante de 4 cm. Os resultados são documentados nas figuras 12 e 13.

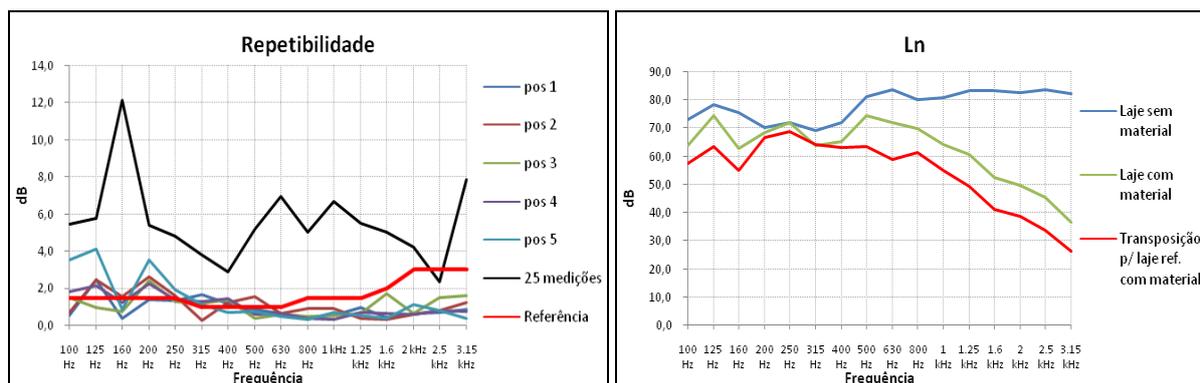


Figura 12 - Valores da repetibilidade das medições e exemplo das curvas Ln e transposição para a laje de referência com material, para a posição 1 da máquina de percussão (solução com Wicanders)

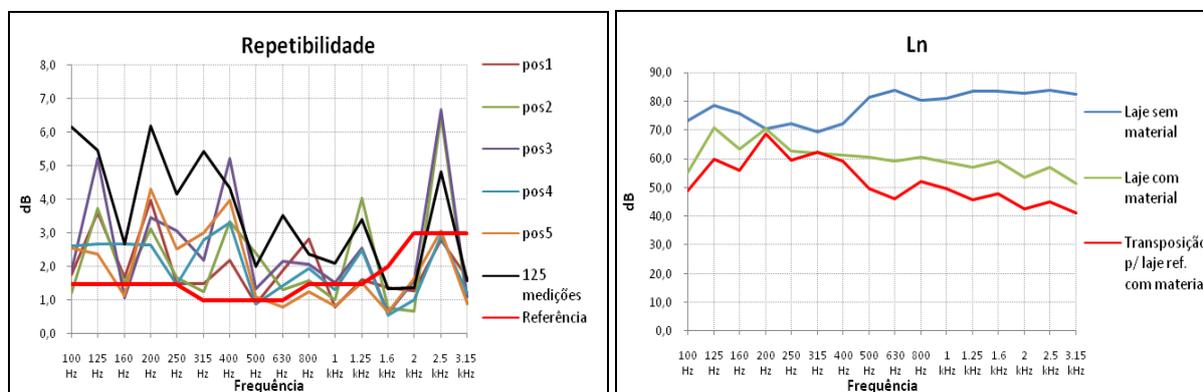


Figura 13 – Valores da repetibilidade das medições e exemplo das curvas Ln e transposição para a laje de referência com material, para a posição 1 da máquina de percussão (solução com Ethafoam 222-E)

#### 4.2.1 Resumo e análise dos resultados obtidos

A Tabela 3 apresenta o resumo dos valores do acréscimo de isolamento,  $\Delta L_w$ , por cada posição e do total das medições. De modo a poder ter uma ideia do acréscimo de isolamento previsto são indicados os valores fornecidos pelos fabricantes.

Tabela 3 – Resumo dos valores obtidos para  $\Delta L_w$  e valores de referência em dB

	Ethafoam 222-E	Wicanders Series 3000
pos 1	22	18
pos 2	23	20
pos 3	23	17
pos 4	22	18
pos 5	22	21
total	23	19
Ref.	22	18

Da análise Tabela 3 pode-se concluir que os valores obtidos para a posição 1 são uma boa aproximação aos valores indicados pelos fabricantes, não sendo de futuro necessário efectuar tão elevado número de medições.

Notou-se ainda, que os valores obtidos para a repetibilidade para o total das medições de cada solução foram superiores aos obtidos por cada posição individualmente. Tal facto deve-se à existência de alguma variabilidade entre cada posição em que é colocada a máquina de percussão, situação já analisada aquando da caracterização da câmara de ensaio (ver ponto 3.2). No entanto verifica-se que para a mesma posição de fonte, os valores obtidos para a repetibilidade se aproximam dos previstos na normalização, indicando uma reduzida variabilidade do ensaio.

## 5 Conclusões

No início deste trabalho foi proposto o estudo de um sistema de dimensões reduzidas que possibilitasse ensaios de isolamento a sons de percussão. Através do estudo aqui apresentado, foram ponderadas as variáveis que poderiam influenciar o seu comportamento e escolhidas as características que minimizassem essas influências. Procedeu-se à construção do sistema idealizado, seguida de vários testes preliminares de modo a efectuar a sua correcta caracterização. Por fim ensaiaram-se algumas soluções construtivas de isolamento a sons de percussão tendo sido obtidos resultados bastante satisfatórios.

Um sistema deste tipo não poderá ser visto como um substituto dos ensaios normalizados, mas tendo em conta os resultados obtidos e os objectivos traçados, estamos perante um sistema que produz valores de isolamento a sons de percussão próximos dos declarados pelos fabricantes. Este sistema permitirá a execução de ensaios expeditos, mais económicos, uma vez que os provetes de ensaio são de menor dimensão do que os usados em câmaras convencionais, necessitando de menos recursos para a sua montagem. Uma aplicação interessante para este sistema será o desenvolvimento de novas soluções de isolamento acústico a sons de percussão, uma vez que permite a rápida comparação de soluções, testadas sempre em iguais condições.

## Referências

- [1] NP EN ISO 140-6: 2000 – Acústica. Medição do Isolamento Sonoro de Pavimentos a Sons de Percussão – Parte 6: Medição em laboratório, do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão.
- [2] EN ISO 140-7: 1998 – Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors.
- [3] EN ISO 717-2: 1996 – Acoustics. Rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements – Part 2: Impact Sound Insulation.
- [4] Carvalho, A.; Rodrigues, R. The Acustilab – A Small Educational Double Reverberant Chamber. *4<sup>th</sup> Association of European Civil Engineering Faculties International Symposium – Environmental Aspects in Civil Engineering Education*, FEUP, Porto, 2002.
- [5] NP EN ISO 354: 2007 – Acústica. Medição da Absorção Sonora em Câmara Reverberante.
- [6] NP EN ISO 140-4: 2000 – 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.
- [7] EN ISO 717-1: 1996 – Acoustics. Rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements – Part 1: Airborne Sound.
- [8] ISO 140-2: 1991 – Acoustics. Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements – Parte 2: Determination, Verification and Application of Precision Data.