

ISOLAMENTO SONORO EM LAJES FUNGIFORMES ALIGEIRADAS COM MOLDES PERDIDOS: SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Patrício, J.^(a); Fontes de Melo, A.^(b)

^a *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, jpatricio@lnec.pt*

^b *Pavileca, SA, Apartado 19, 3854-909 ALBERGARIA-A-VELHA, Portugal, fontes.melo@pavileca.pt*

ABSTRACT: Nowadays, the use of ribbed (waffle) concrete slabs, as horizontal partitions for housing buildings, has been increased. This comes straight from the need of reducing construction costs for they can be made more rapidly than those using beams as main structural elements, because of the time consumption necessary to make the respective moulds. However due to thickness and rigidity of these type of floors a worst performance regarding impact sound insulation is expected. Having in attention the corresponding requirements set in the Portuguese Acoustics Buildings Code, it seems urgent to study the performance of these floors, as well as some possible and efficient solutions to reduce the impact sound transmission in order to effectively accomplish national requirements.

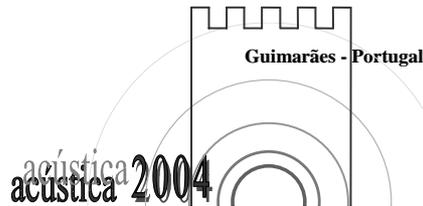
This paper shows the results of a set of experimental tests, performed in laboratory conditions, regarding the study of impact noise insulation of ribbed (waffle) concrete slabs integrating specific solutions (elastic cut offs and floor coverings) in view of compliance with Portuguese Acoustics Buildings Code. The tests were done in accordance to what is established in the international standard EN ISO 140, part 6, and the calculation of impact sound insulation index in standard EN ISO 717-2.

The work done led to important conclusions enhancing the need of further investigation on the subject.

RESUMO: Actualmente, a utilização de lajes fungiformes aligeiradas em fogos de edifícios multi-familiares tem aumentado continuamente. Tal encontra-se directamente relacionado com a necessidade de reduzir os custos de construção quando comparados com o de lajes tradicionais, as quais, sendo unidireccionais, se apoiam em vigas estruturais de betão armado e para cuja construção é necessária mão-de-obra especializada na execução das respectivas cofragens. Contudo, devido à espessura destas lajes, assim como à sua rigidez de flexão, é expectável um pior comportamento no que respeita ao isolamento aos sons de percussão. Considerando as exigências da regulamentação Portuguesa, urge, assim, estudar o desempenho deste tipo de pavimentos, bem como de possíveis soluções construtivas para redução da transmissão de sons de percussão de modo a cumprir-se a regulamentação em causa.

Esta comunicação resulta de um conjunto de ensaios aos sons de percussão, efectuados em laboratório, em lajes fungiformes, aligeiradas, com blocos constituídos por betão ultra leve de argila expandida, integrando, além dos revestimentos de piso tradicionais, também elementos específicos (camadas resilientes subjacentes) com o objectivo de observar o disposto na regulamentação Portuguesa. Os ensaios foram efectuados de acordo com a norma EN ISO 140, parte 6, e o cálculo do índice de isolamentos a sons de percussão de acordo com a norma EN ISO 717-2.

Este trabalho conduziu a conclusões importantes e realça a necessidade de investigação complementar.



1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente e antes do desenvolvimento do cálculo estrutural, automático, as lajes eram construídas, em Portugal, com armaduras unidireccionais, e apoiadas em vigas de betão armado, que, por sua vez, se apoiavam em pilares, com distribuição no espaço mais ou menos regular. Actualmente, uma vez que o cálculo estrutural se encontra facilitado, são adoptadas com frequência opções arquitectónicas que inviabilizam a distribuição regular da malha de pilares obrigando, assim, à adopção de lajes bidireccionais apoiadas directamente em pilares, constituindo lajes comumente designadas por fungiformes.

A adopção, cada vez mais frequente, de soluções aligeiradas nas lajes fungiformes, conseguida com a introdução de blocos de aligeiramento recuperáveis (ou perdidos) trás vantagens em termos de comportamento estrutural uma vez que obriga à concepção de lajes mais espessas, mas com menor peso próprio e com menores deformações.

A entrada em vigor do regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, evidencia cada vez mais uma consciência de rigor e de cumprimento da legislação por parte dos agentes da construção. Por outro lado, os utilizadores também estão cada vez mais conscientes dos seus direitos, traduzindo-se, tal facto, no aumento das reclamações por parte destes, devido ao mau isolamento dos edifícios a sons de percussão. Esta situação é potenciada pela falta generalizada de informação fidedigna sobre o comportamento dos elementos horizontais de separação entre fogos (lajes e sistemas complementares), quanto ao seu isolamento aos sons de percussão.

Lamentavelmente, uma parte do meio técnico contenta-se com resultados fornecidos por alguns programas informáticos, os quais podem ser considerados algo duvidosos dadas as especificidades do comportamento dos vários elementos de construção que constituem os sistemas de compartimentação horizontal.

Neste contexto, a Pavileca, empresa do **maxitGroup**, que opera na área das lajes fungiformes, aligeiradas com blocos perdidos, desenvolveu uma nova série de blocos de aligeiramento, FungiLECA[®], em betão ultra-leve com argila expandida da marca LECA[®]. Neste contexto definiram-se várias soluções de compartimentação horizontal, aligeiradas com estes blocos e integrando os respectivos revestimentos de piso, as quais foram submetidas a ensaios específicos para caracterização do seu comportamento a sons de percussão no Núcleo de Acústica e Iluminação do LNEC. São, pois, os resultados desses ensaios que se apresentam nesta comunicação.

2. CONDIÇÕES LABORATORIAIS

As condições laboratoriais onde os ensaios foram executados são equivalentes às preconizadas na norma EN ISO 140-1. Os ensaios foram executados numa câmara reverberante com 120 m³ de volume, cujo tecto integra parcialmente lajes fungiformes aligeiradas com blocos leves constituídos por um betão ultra-leve de argila expandida da marca Leca[®]. As lajes têm de espessura 0.25m e 0.35m e peso de 2.88 kN/m² e 3.84 kN/m² respectivamente. Os provetes de ensaio são rectangulares com dimensões 3.42 m x 2.42 m e apoiam-se numa faixa continua, resiliente, de forma a minorar a ocorrência de transmissões marginais.

3. TEORIA

Para avaliação do desempenho destes sistemas de compartimentação horizontal a sons de percussão, foi aplicada uma excitação de impacto normalizada, registando-se o espectro do nível do som de percussão estabelecido na câmara reverberante receptora. A eficiência do sistema foi calculada de acordo com a seguinte equação:

$$\Delta L = L_{n_0} - L_n \quad (1)$$

Onde L_{n_0} representa o nível de pressão sonora normalizado registado na câmara reverberante (receptora) produzido pelo impacto normalizado dos martelos da máquina de percussão no sistema base e L_n a média do nível da pressão sonora normalizado correspondente à implementação da solução construtiva de melhoria. Neste contexto, o parâmetro ΔL representa a eficiência da solução de melhoria do sistema, nas diversas bandas de frequências. L_n e L_{n_0} são expressos em dB, e L_j são os níveis de pressão sonora. A média do nível de pressão sonora, por bandas de frequências, é obtida de acordo com a seguinte equação:

$$L = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \right) \quad dB \quad (2)$$

4. ENSAIOS REALIZADOS

Foram executadas duas “baterias” de ensaios em duas fases de avaliação de eficácia do sistema de compartimentação horizontal, as quais se descrevem seguidamente.

4.1 PRIMEIRA “BATERIA” DE ENSAIOS

Numa primeira fase deste tipo de análise, foram construídos 9 provetes, integrados em quatro soluções construtivas fundamentais, conforme se apresenta no Quadro 1

Quadro 1 – *Soluções construtivas da primeira “bateria” de ensaios*

	Descrição
<u>1º Conjunto:</u>	Duas lajes fungiformes algeiradas com blocos de aligeiramento FungiLECA [®] em betão ultra-leve com argila expandida da marca LECA [®] associados em três unidades de modo a constituir módulos de aligeiramento de 0.80 x 0.80m ² e nervuras de 0.10 cm. Uma das lajes tem uma espessura de 0.25 m e a outra 0.35 m, ambas com lâminas de compressão de 0.05 cm de espessura, ou seja, sendo os aligeiramentos de 0.20 m e 0.30 m.
<u>2º Conjunto</u>	Laje fungiforme, conforme descrito no conjunto anterior, mas com um enchimento de betão leve de argila expandida da marca Leca [®] com massa volúmica de 800 kg/m ³ (Leca [®] 3/8, areia e cimento). O enchimento tem 0.10 m de espessura.
<u>3º Conjunto</u>	Laje fungiforme com camada leve, de enchimento de piso, com 0.10 m de espessura e betonilha de regularização com 0.04 m de espessura, e vários tipos de revestimentos de piso (linóleo, cortiça, alcatifa).
<u>4º Conjunto</u>	Laje fungiforme com camada leve, de enchimento de piso com 0.10 m de espessura e camada resiliente com 3 mm de espessura, betonilha de regularização com 0.04 m de espessura, e vários tipos de revestimentos de piso (cerâmica, tacos, soalho).

No Quadro 2 indicam-se as características dimensionais dos vários provetes.

Quadro 2 - Características dimensionais dos provetes da primeira “bateria” de ensaios

	Designação do provete	Descrição da solução				
		Esp. da laje Fungi LECA® (m)	Esp. Do enchimento betão leve Leca® (m)	Esp. da camada resiliente (mm)	Esp. da betonilha (m)	Revest. final (m)
1º Conjunto	A	0.35	---	---		
	B	0.25	---	---		
2º Conjunto	C	0.35	0.10	---	0.04	
3º Conjunto	D	0.35	0.10	---	0.04	Alcatifa
	E		0.10	---	0.04	Cortiça
	F		0.10	---	0.04	Linóleo
4º Conjunto	G	0.35	0.10	3	0.04	Cerâmico
	H	0.35	0.10	3	0.04	Tacos
	I	0.35	0.10	3	0.04	Soalho

Na Figura 1 apresentam-se as secções transversais das soluções ensaiadas.

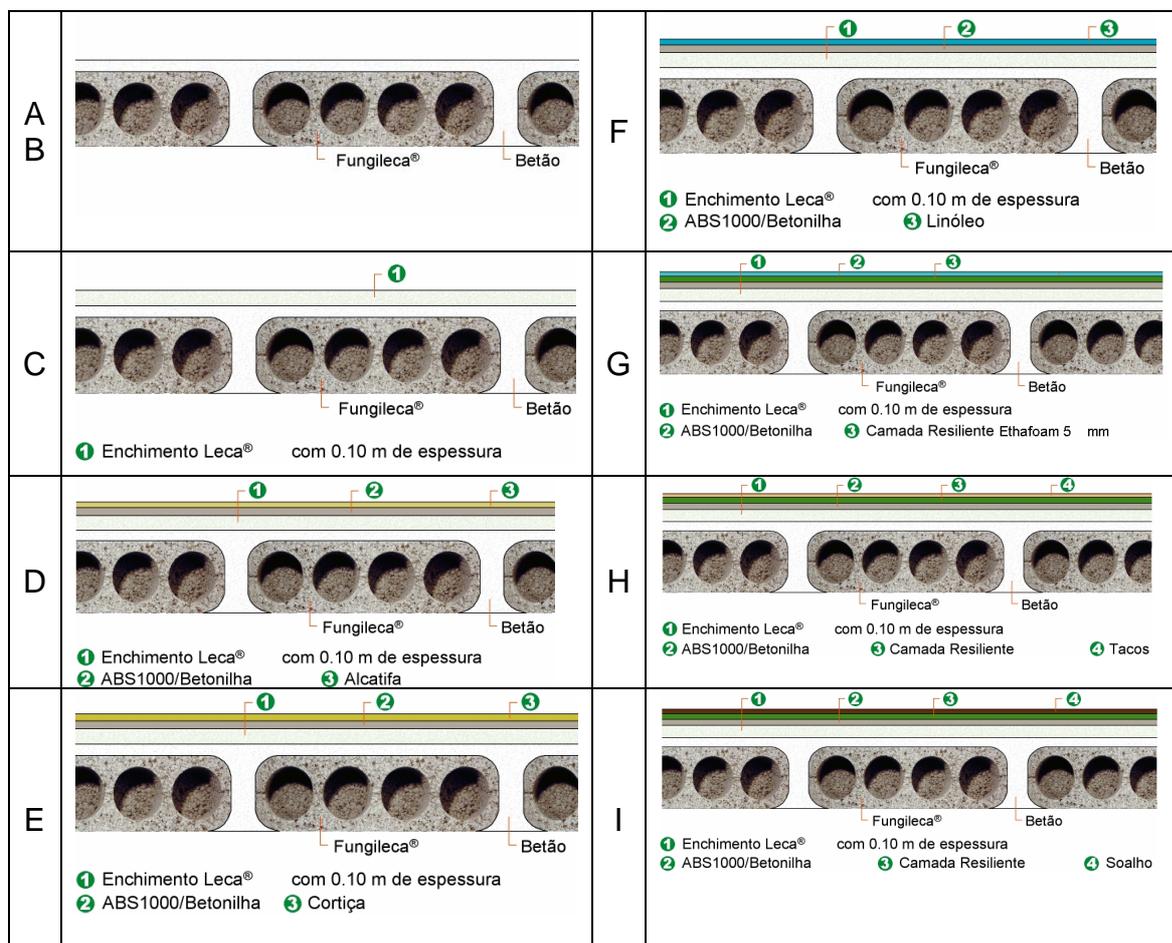


Figura 1 – Secções transversais dos provetes da primeira “bateria” de ensaios

4.1.1 RESULTADOS

Na Figura 2 ilustra-se, para cada provete, os resultados obtidos.

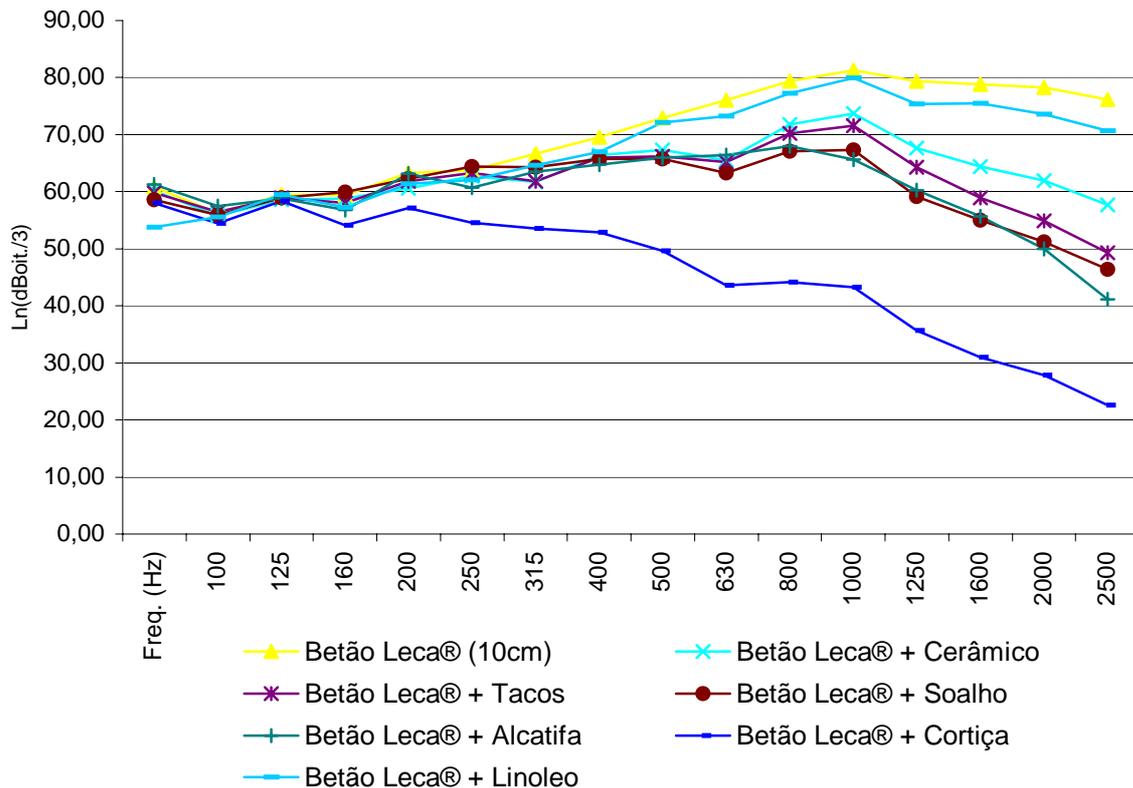


Figura 2 – Evolução do isolamento aos sons de percussão para cada solução ensaiada

No Quadro 3 indica-se o valor do isolamento a sons de percussão, para cada uma das soluções, calculado por bandas de frequências de 1/3 de oitava.

Quadro 3 – Valor do isolamento aos sons de percussão para cada solução ensaiada

Freq. (Hz)	Laje 0.25	Laje 0.35	Betão Leca® (10cm)	Betão Leca® + Alcatifa	Betão Leca® + Cortiça	Betão Leca® + Linoleo	Betão Leca® + Cerâmico	Betão Leca® + Tacos	Betão Leca® + Soalho
Des.	A	B	C	D	E	F	G	H	I
100			60,80	61,31	57,97	53,79	60,13	59,81	58,60
125			56,28	57,44	54,45	55,52	55,79	56,41	55,86
160			59,51	58,76	58,34	59,47	58,57	58,92	58,91
200			59,34	56,79	54,08	57,22	58,80	58,00	59,97
250			63,27	63,18	57,09	61,38	60,61	61,85	62,29

315			63,76	60,72	54,61	62,05	62,69	63,31	64,38
400			66,61	63,50	53,54	64,62	61,73	61,81	64,26
500			69,57	64,69	52,87	66,95	66,45	65,94	65,78
630			72,93	66,00	49,63	72,10	67,25	66,14	65,77
800			75,98	66,38	43,60	73,25	65,46	65,13	63,28
1000			79,34	67,92	44,14	77,25	71,80	70,25	67,13
1250			81,26	65,62	43,31	79,95	73,71	71,59	67,25
1600			79,35	60,23	35,62	75,37	67,62	64,30	59,13
2000			78,82	55,64	31,01	75,52	64,39	58,92	55,01
2500			78,26	49,94	27,86	73,59	61,96	54,85	51,21
3150			76,11	41,18	22,57	70,62	57,69	49,36	46,36
L_{nw} (dB)	90	90	85	65	50	81	72	67	64

Comentários aos resultados obtidos - considerando-se desprezável a contribuição da betonilha de regularização

1º - A espessura da laje não influencia no valor do parâmetro L_{nw} ;

2º - O enchimento em betão Leve Leca[®] contribui em 5 dB para a melhoria do isolamento aos sons de percussão (comparação entre as soluções A e C);

3º - A alcatifa contribui em 20 dB para a melhoria em causa (comparação entre as soluções C e D);

4º - A cortiça contribui em 35 dB para a melhoria do isolamento sonoro (comparação entre C e E);

5º - A solução com linóleo contribui em 4 dB para a melhoria do isolamento a sons de percussão (comparação entre as soluções C e F);

6º - Considerando-se também desprezável a contribuição do revestimento de piso final em ladrilho cerâmico, verifica-se que a camada resiliente de 3 mm de espessura assegura mais 13 dB de eficácia (comparação entre as soluções A e G);

7º - Analogamente, considerando-se também desprezável a contribuição do revestimento de piso em ladrilho cerâmico, verifica-se que o revestimento de tacos de madeira assegura mais 5 dB (comparação entre H e G);

8º - À semelhança dos “ítems”, considerando-se, do mesmo modo, desprezável a contribuição do revestimento cerâmico, verifica-se que o soalho assegura uma melhoria no isolamento de 8 dB (comparação entre as soluções I e G).

4.2 SEGUNDA “BATERIA” DE ENSAIOS

Com o objectivo de avaliar a contribuição de alguns produtos comercializados pelo grupo **maxitGroup**, em Portugal, desenvolveu-se um segundo conjunto de ensaios, os quais se descrevem no Quadro 4.

Quadro 4 – *Soluções construtivas da segunda “bateria” de ensaios*

	Descrição
<u>1º Conjunto</u>	Laje fungiforme com enchimento leve de piso com 0.10m de espessura, da marca Leca [®] Mix, betonilha de regularização com 0.03m de espessura da marca ABS 1000.
<u>2º Conjunto</u>	Laje fungiforme com enchimento leve de piso com 0.10m de espessura, da marca Leca [®] Mix, camada resiliente com 5mm e 5+5mm de espessura da marca Ethafoam e betonilha de regularização com 0.03m de espessura da marca ABS 1000.
<u>3º Conjunto</u>	Laje fungiforme com enchimento leve de piso com 0.15m de espessura em Leca [®] (enchimento manual 3/8), e betonilha de regularização com 0.03m de espessura da marca ABS 1000.

No Quadro 5 indicam-se as características dimensionais dos provetes ensaiados nesta segunda fase.

Quadro 5 - *Características dimensionais dos provetes da segunda “bateria” de ensaios*

	Designação do provete	Descrição da solução				
		Esp. da laje (m)	Esp. do enchimento Leca [®] Mix (m)	Esp. da camada resiliente (mm)	Esp. da betonilha ABS 1000 (m)	Revestimento (m)
1º Conjunto	<i>J</i>	0.35	0.10	---	0.03	---
2º Conjunto	<i>L</i>	0.35	0.10	5	0.03	---
	<i>M</i>	0.35	0.10	5+5	0.03	---
3º Conjunto	<i>N</i>	0.35	0.15	---	0.03	---

Na Figura 3 seguinte apresentam-se as secções transversais das soluções ensaiadas.

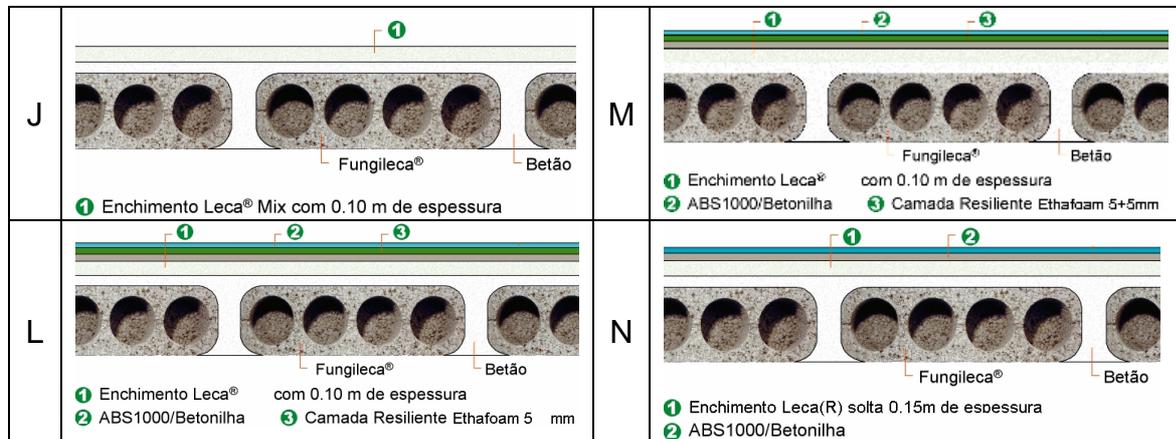


Figura 3 – Secções transversais dos provetes da segunda “bateria” de ensaios

4.2.1 RESULTADOS

Na Figura 4 ilustra-se, para cada provete, os resultados obtidos.

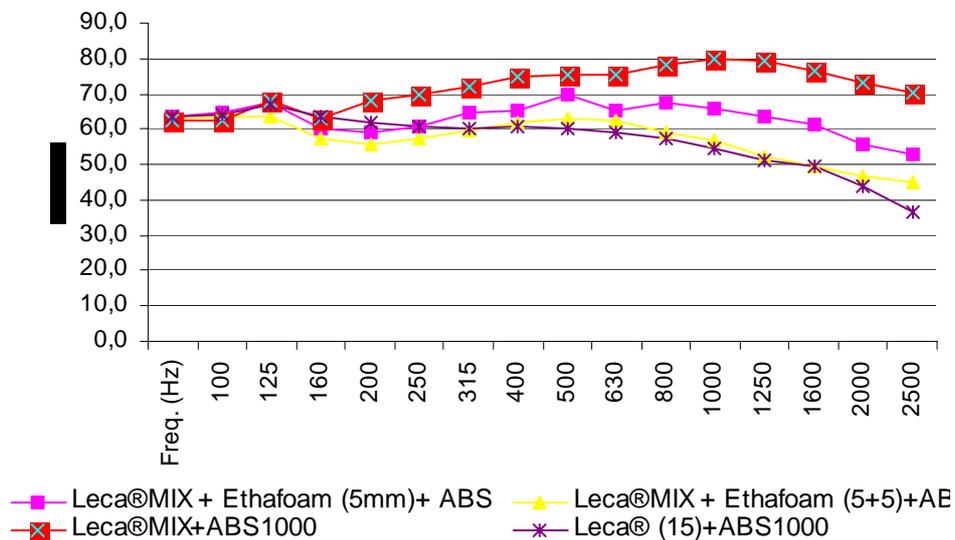


Figura 4 – Isolamento aos sons de percussão para cada solução ensaiada

No Quadro 6 indica-se o valor do isolamento a sons de percussão, para cada uma das soluções, calculado por bandas de frequências de 1/3 de oitava.

Quadro 6 – Valor do isolamento aos sons de percussão para cada solução ensaiada

Freq. (Hz)	Leca [®] Mix+ABS	Leca [®] Mix + Ethaf foam (5 mm)+ ABS	Leca [®] Mix + Ethaf foam (5+5 mm)+ABS	Leca [®] (15cm)+ABS
	M	J	L	N
100	62,7	63,4	63,2	63,7
125	62,2	64,6	63,6	64,4
160	68,2	67,5	63,4	66,9
200	62,7	60,4	57,1	63,3
250	68,3	58,8	55,8	62,0
315	69,6	60,8	57,5	61,0
400	72,0	64,5	59,4	60,0
500	75,0	65,3	61,8	60,5
630	75,3	69,9	63,1	60,1
800	75,3	65,0	62,5	59,1
1000	78,2	67,3	59,1	57,2
1250	79,9	65,9	57,1	54,5
1600	79,1	63,8	52,3	51,2
2000	76,7	61,5	49,3	49,4
2500	72,9	55,8	46,5	43,7
3150	70,2	52,8	44,9	36,7
L_{n,w} (dB)	82	67	60	59

Comentários aos resultados obtidos - considerando-se desprezável a contribuição da betonilha de regularização

1º - O enchimento em Leca[®] Mix contribui em 8 dB para a melhoria do isolamento aos sons de percussão (comparação entre as soluções construtivas A e M);

2º - A camada resiliente Ethaf foam 222E, com 5 mm de espessura, contribui em 15 dB para a melhoria em causa (comparação entre as soluções J e M);

3º - A camada resiliente Ethaf foam 222E, com 5+5 mm de espessura, contribui em 22 dB para a melhoria do isolamento em causa (comparação entre L e M);

4º - O enchimento em Leca[®] solta (enchimento manual 3/8), com 15 cm de espessura, assegura uma melhoria de 31 dB (comparação entre as soluções N e A).

5. CONCLUSÕES

Com base nos ensaios efectuados e considerando-se desprezável, para a melhoria do isolamento sonoro a sons de percussão, a contribuição dos materiais de maior massa volúmica, de pouca espessura e monolíticos (como é o caso da betonilha de regularização e do revestimento de piso final cerâmico), pode sumarizar-se, no Quadro 7, os resultados globais do comportamento de diversos tipos de materiais de enchimento e de revestimentos de piso, os quais poderão proporcionar aos projectistas valores importantes e objectivos para a execução do projecto acústico, particularmente no que se refere ao isolamento aos sons de percussão entre fogos.

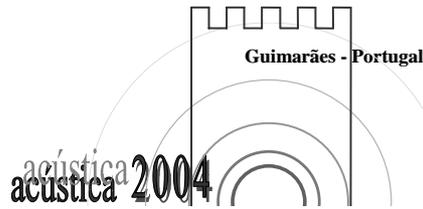
Quadro 7 – Resultados globais dos ensaios realizados

Descrição dos vários componentes do sistema de compartimentação horizontal	ΔL_{nw} (dB)
Laje fungiforme com blocos de aligeiramento FungiLeca®	90*
Enchimento de piso em betão leve Leca®, com 800 kg/m ³ e com 10 cm de espessura	5
Enchimento de piso em Leca® Mix, com 450 kg/m ³ e com 10 cm de espessura	8
Enchimento com Leca® solta, com 280 kg/m ³ e 15 cm de espessura	31
Camadas resilientes (correntes) com 3 mm de espessura	13
Camada resiliente Ethafoam 222E com 5 mm de espessura	15
Camada resiliente Ethafoam 222E com 5+5 mm de espessura	22
Revestimento final de piso com tacos de madeira	5
Revestimento de piso, final, em soalho	8
Revestimento de piso, final, em linóleo	4
Revestimento de piso, final, em cortiça	35
Revestimento de piso, final, em alcatifa	20

* Valor efectivo de L_{nw} da laje.

Por último, e apesar da análise exposta ter sido efectuada numa perspectiva estritamente cumulativa (o que nem sempre é representativo da eficácia esperada), podem, também, retirar-se algumas conclusões genéricas, complementares, a saber:

- O decréscimo da massa volúmica dos enchimentos leves de piso aumentam o valor de ΔL_{nw} ;
- O aumento da espessura da camada resiliente aumenta o valor do parâmetro ΔL_{nw} ;
- Os revestimentos de piso menos rígidos (mais resilientes) proporcionam o incremento de valor de ΔL_{nw} .



- d) Tendo em atenção os valores legais em vigor, o cumprimento das disposições respectivas, a sons de percussão, é uma tarefa que exige extremo cuidado na proposição das soluções, assim como na sua aplicação/construção em obra.

REFERÊNCIAS

- [1] Patrício, Jorge. – Acústica nos Edifícios, 2ª Ed., Lisboa – 2004.
- [2] MAIDANIK, G. - Power flow between linearly coupled oscillators. "Journal of Acoustical Society of America", New York, vol. 34, nº 5, May 1962, pp. 623-639.
- [3] EN 20354: Acoustics. Measurement of sound absorption in a reverberation room.
- [4] EN ISO 140-3 - Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements.
- [5] EN ISO 140-6 – Acoustics. Measurement of sound insulation in building elements. Part 6: Laboratory measurements of impact sound insulation of floors.
- [6] EN ISO 717-1/2- Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation; Part 2: Impact sound insulation.
- [7] Serra Neves, A. – Nova Geometria de Blocos de Aligeiramento em Lajes Fungiformes. PORTO, 2003.
- [8] Pavileca – Catálogo do FungiLeca® - 2004.