

PAVIMENTO FLUTUANTE COM AGLOMERADO DE CORTIÇA, DE DESEMPENHO ACÚSTICO OPTIMIZADO

António P. O. Carvalho, Vítor C. M. Rocha, Francisco J. C. X. Carvalho

Laboratório de Acústica, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto
carvalho@fe.up.pt, ec07153@fe.up.pt, xavierc@fe.up.pt

Resumo

Este trabalho apresenta os resultados do desenvolvimento de pavimentos flutuantes com aglomerado de cortiça com o objectivo de melhorar o seu isolamento sonoro a ruídos de percussão. Foram realizados ensaios de percussão a 26 tipos de pavimentos em câmara reverberante da FEUP com o apoio da empresa *SEDACOR*. Os resultados mostraram que o melhor desempenho acústico é atingido com a combinação dos produtos “012”, “contraplacado” e “51 PL”/“12 PL” ou “012”, “MDF” e “25 MS”. Foi possível apurar que outros tipos de *underlay* podem melhorar substancialmente o isolamento sonoro nas médias-altas frequências. Fundamentada na comparação dos resultados, foi sugerida uma adaptação à actual normalização através da aplicação da curva de ponderação tipo A.

Palavras-chave: Pavimento Flutuante, Acústica, Isolamento Sonoro, Ruído de Percussão, Cortiça.

Abstract

This work presents the results of the development of agglomerated cork floating floors through the optimization of their acoustic performance, with the goal of improving sound insulation to structure borne noise. Percussion tests were performed in 26 floors in the reverberation room of FEUP, and with the support of the cork company *SEDACOR*. The results showed that the best acoustic performance is attained with the combination of the “012”, “plywood” and “51 PL”/“12 PL” or “012”, “MDF” and “25” products. It was found that other *underlay* shapes can substantially improve sound insulation in medium-high frequencies. For a better comparison of results an adaptation of the current standardization is suggested, through the use of the A-weighting curve.

Keywords: Floating Floors, Acoustics, Sound Insulation, Structure Borne Noise, Cork.

PACS no. 43.50.Pn, 43.50.Gf

1 Introdução

O reduzido isolamento sonoro a ruídos de percussão é um dos maiores factores de incomodidade entre vizinhos. A evolução técnica tem levado ao desenvolvimento de novas soluções, como é o caso dos “pavimentos flutuantes”, em especial aqueles que têm cortiça na sua constituição, conferindo um acréscimo de isolamento sonoro e aumentando a privacidade dos ocupantes.

Neste estudo foram ensaiados 26 diferentes tipos de pavimento flutuante, comercialmente designados por *parquet*, tendo todos eles na sua composição diversos produtos de cortiça produzidos pela corticeira *SEDACOR*, especialmente aglomerados compostos de cortiça. Para isso, foram

disponibilizados 16 pavimentos (Pav. A ao P – Tabela 1), constituídos por um conjunto de sete pranchas de 19x91,5 cm² (Figura 1). Foi também disponibilizado um pavimento sem *underlay* e diversos subprodutos das linhas de montagem da *SEDACOR*, para que fossem criados outros tipos de *underlay*, sugeridos pelos autores, a partir de combinações de subprodutos da cortiça, originando um total de oito tipos de pavimentos (Pav. Q ao X – Tabela 1).

Tabela 1 – Constituição dos 26 pavimentos ensaiados (A a P – pavimentos comerciais sem verniz; Q a R – pavimentos comerciais com verniz; S a Z – pavimentos desenvolvidos pelos autores)

Pavimento	Decorativo (3 mm)	Elemento resistente (6 mm)	Subcamada (<i>underlay</i>)	Espessura do <i>underlay</i> (mm)
A	52 CLK	MDF	51 PL	1,2
B	52 CLK	MDF	12 PL	1,2
C	52 CLK	MDF	25 MS	1,2
D	52 CLK	Contraplacado	51 PL	1,2
E	52 CLK	Contraplacado	12 PL	1,2
F	52 CLK	Contraplacado	25 MS	1,2
G	52 CLK	MDF	51 PL	2,2
H	52 CLK	MDF	12 PL	2,2
I	Mono 215	MDF	51 PL	2,2
J	Mono 215	MDF	12 PL	2,2
K	012	MDF	51 PL	2,2
L	012	MDF	12 PL	2,2
M	52 CLK	MDF	40 BR	1,2
N	52 CLK	----- HDC (<i>high density cork</i>) -----		-
O	52 CLK	MDF	12 PL	3,2
P	52 CLK	MDF	51 PL	3,2
Q	52 CLK	MDF	51PL + verniz	2,2
R	52 CLK	MDF	12 PL + verniz	2,2
S	52 CLK	MDF	Tira de amortecedor	-
T	52 CLK	MDF	2/3 de tira de amortecedor	-
U	52 CLK	MDF	1 tira de 15 MS	-
V	52 CLK	MDF	2 tiras de 15 MS	-
W	52 CLK	MDF	Meio bastão	-
X	52 CLK	MDF	Meio bastão + lâ de rocha	-
Y	52 CLK	MDF	Folha de 15 MS furada com elipses	-
Z	52 CLK	MDF	Granulado	-

Porém, por questões logísticas, o envernizamento final de protecção da camada superior do pavimento não foi aplicado. É de salientar que tal facto não inviabilizou a metodologia de comparação dos vários pavimentos. Para avaliar o efeito do envernizamento no desempenho acústico deste tipo de pavimentos, envernizaram-se os pavimentos G e H, criando assim os pavimentos Q e R (Tabela 1).

Os pavimentos em estudo são dotados de um sistema de encaixe macho-fêmea, sendo compostos por três camadas distintas (Figura 2): o decorativo, o elemento resistente e o *underlay*. Em todas as amostras, as duas camadas superiores tinham a mesma espessura, 3 e 6 mm respectivamente.

Além deste tipo de pavimento, também foi ensaiado um outro (Pav. N – Tabela 1) que visa ser totalmente feito de cortiça, constituído apenas por duas camadas: uma de alta densidade – em substituição do elemento resistente e de *underlay*, e outra de média densidade como decorativo.

Os pavimentos estão agrupados em três grupos: Pav. A a P – pavimentos comerciais integrantes do estudo da influência das diversas camadas; Pav. Q e R – pavimentos envernizados usados para avaliar

o efeito do envernizamento; Pav. S a Z – pavimentos propositadamente desenvolvidos para este estudo (não comerciais) onde o que varia é o *underlay*.

Todas as designações indicadas nas camadas de cada pavimento são códigos comerciais usados na identificação dos subprodutos fabricados na *SEDACOR*. À exceção da lã de rocha, todos os outros produtos que constituem o *underlay* dos pavimentos desenvolvidos (Pav. S a Z) são subprodutos de linhas de produção desta empresa corticeira.



Figuras 1 (esq.) e 2 (dir.) – esq.: Pranchas isoladas (atrás) e Pavimento depois da montagem (à frente); dir.: Corte esquemático das várias camadas dos pavimentos flutuantes de cortiça e do tipo de encaixe

2 Metodologia de ensaio

A classificação dos pavimentos flutuantes teve por base a determinação do índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão normalizado ($L_{n,r,w}$) e da redução da transmissão de ruídos de percussão de revestimentos de piso em condições normalizadas (ΔL_w) para cada uma das amostras dos diferentes pavimentos, segundo as NP EN ISO 140-8 e 717-2. Apesar da norma ISO 140-8 ter vindo a ser substituída pela nova ISO 10140-3 mas como as alterações técnicas não são significativas, foi usada ainda a ISO 140-8 como método de ensaio em câmara reverberante. As medições foram realizadas nas instalações do Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

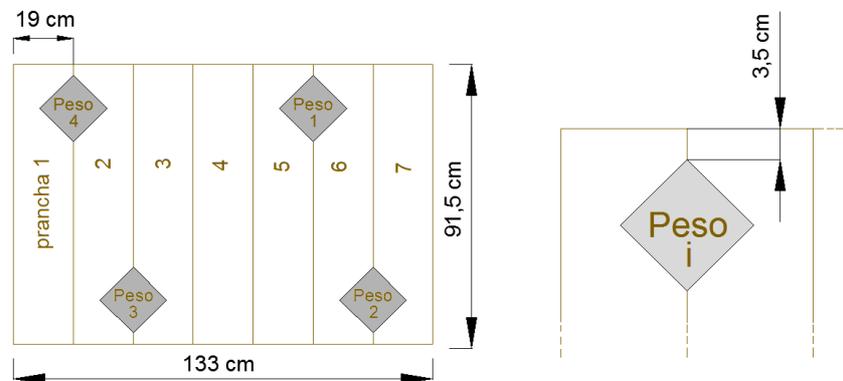


Figura 3 – Disposição dos pesos (7,6 kg/cada) sobre as 7 pranchas de cada amostra ensaiada

Sendo este pavimento da categoria II, para cada ensaio é necessária uma amostra de 10 m². No entanto, devido ao elevado número de amostras (26), foram ensaiados pavimentos de menores dimensões (1,22 m²) mas nas mesmas condições de ensaio, para que fosse possível ter uma ideia do valor muito aproximado do desempenho acústico de cada pavimento e poder comparar o comportamento dos diversos pavimentos entre si. Além disso, esta categoria remete ao ensaio sob o efeito de cargas que simulem o peso de um mobiliário normal. Para tal, foram colocados quatro provetes cúbicos de betão de 15 cm (7,6 kg cada) sobre as juntas de encaixe das pranchas em posições opostas e alternadas, a 3,5 cm da extremidade (Figura 3), facilitando a propagação das vibrações entre pranchas. Os ensaios foram realizados com seis posições de microfones combinados com quatro da máquina de percussão, rodando a máquina sobre o centro da amostra (Figura 4).

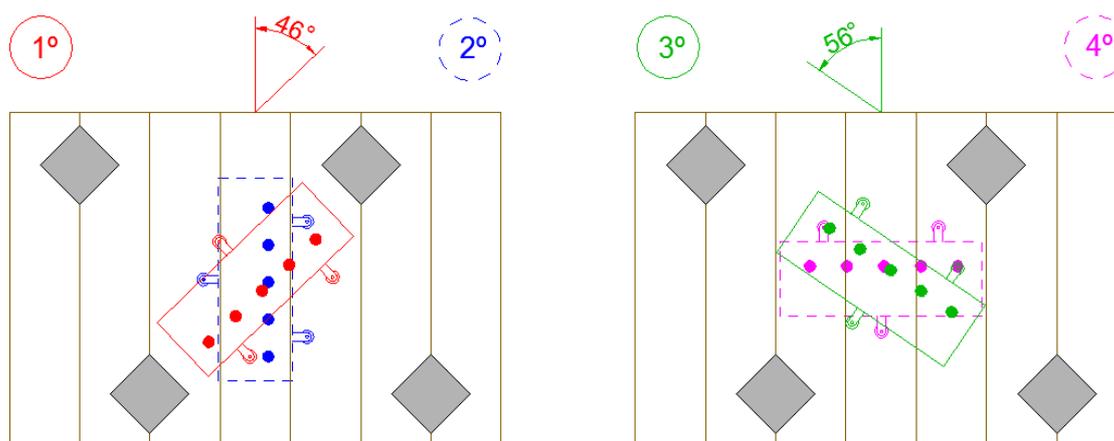


Figura 4 – Representação das quatro posições de ensaio da máquina de percussão e das zonas de impacto dos martelos sobre o pavimento

3 Resultados

3.1 Análise preliminar

A análise do comportamento acústico dos pavimentos dividiu-se em duas categorias: Pavimentos comerciais (incluindo os envernizados) com o objectivo de avaliar a influência do tipo de material em cada camada, da espessura do *underlay*, e do envernizamento; Pavimentos desenvolvidos para avaliar a influência do tipo e forma de *underlay*.

3.2 Pavimentos comerciais

3.2.1 Influência do tipo de decorativo

Nesta análise avaliou-se o comportamento ao isolamento sonoro a ruídos de percussão de seis pavimentos (Pav. G, H, I, J, K e L), todos eles com o mesmo elemento resistente (MDF), agrupando os decorativos “52 CLK”, “Mono 215” e “012” em função do tipo de *underlay*, “51 PL” e “12 PL”. Como os resultados dos pavimentos com *underlay* de “51 PL” e de “12 PL” não evoluíam com o mesmo incremento aquando da variação do decorativo, a Figura 5 retrata a variação do nível de pressão sonora normalizado em função do tipo de decorativo para os dois tipos de *underlay*.

Apesar de não ser acentuada a diferença entre os diferentes tipos de decorativos, no caso do *underlay* “51 PL”, o decorativo “012” (Pav. K) apresenta o melhor comportamento acústico, propiciando um acréscimo de isolamento sonoro nas bandas acima dos 500 Hz, chegando a diminuir a propagação do ruído em 2 dB para frequências superiores a 2,5 kHz, em relação aos outros pavimentos. No *underlay* “12 PL”, o decorativo “012” continuou a apresentar o melhor desempenho acústico, porém a melhoria não é tão acentuada, sendo esse acréscimo de isolamento menor que 1 dB e não tão predominante na maioria das bandas de frequências, como o que aconteceu com o caso do *underlay* “51 PL”.

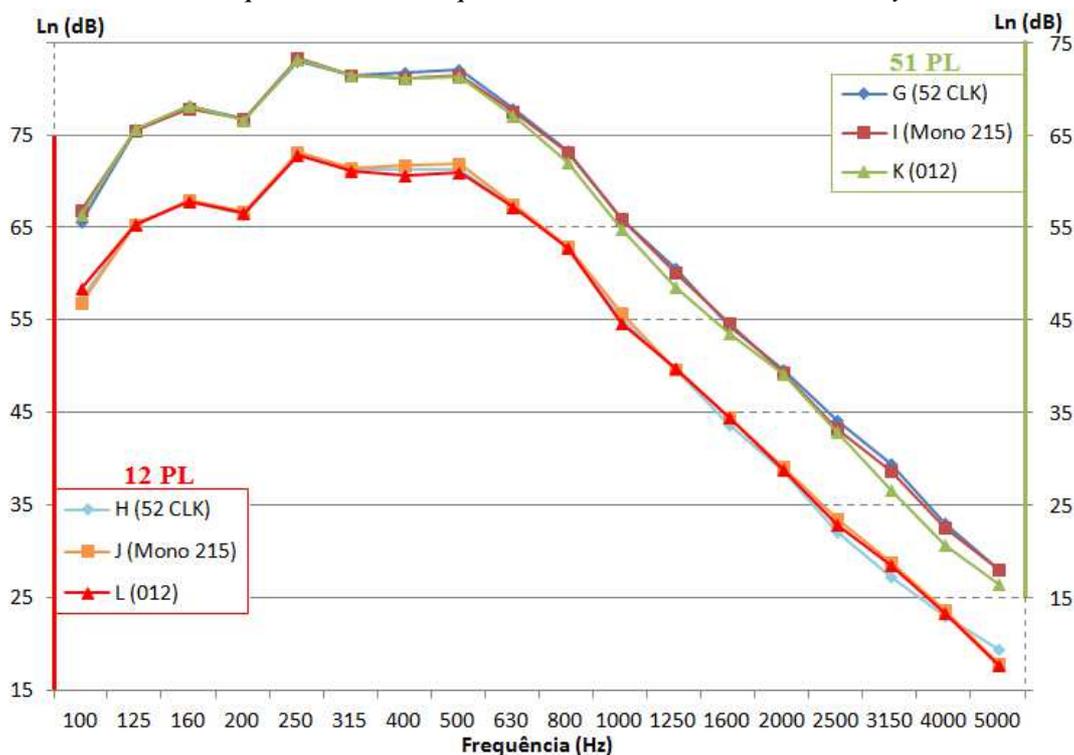


Figura 5 – Níveis de pressão sonora normalizados dos pavimentos comerciais de *underlay* “12 PL” (H, J e L – eixo vermelho, esquerda) e “51 PL” (G, I e K – eixo verde, direita)

3.2.2 Influência do tipo de elemento resistente

Para avaliar a influência do tipo de elemento resistente no isolamento sonoro, analisaram-se seis amostras (Pav. A, B, C, D, E e F), todas com o mesmo decorativo “52 CLK”, variando o elemento resistente entre “contraplacado” e “MDF”. Para obter resultados mais vastos, repetiu-se essa variação para três tipos de *underlay* distintos, “51 PL”, “25 MS” e “12 PL”.

Como a diferença entre os dois elementos resistentes não era proporcional entre vários tipos de *underlay*, resumiu-se na Figura 6 os resultados da melhoria acústica do “contraplacado” em relação ao “MDF” em função do tipo de *underlay*.

Verifica-se que não existe um ganho de isolamento sonoro generalizado entre o “MDF” e o “contraplacado”. Todavia é possível aferir que existe na maior parte das frequências uma ligeira melhoria do isolamento sonoro a ruídos de percussão quando é combinado o “contraplacado” com o *underlay* “51 PL” ou “12 PL” (Pav. D ou E) e quando é combinado o “MDF” com *underlay* “25 MS” (Pav. F).

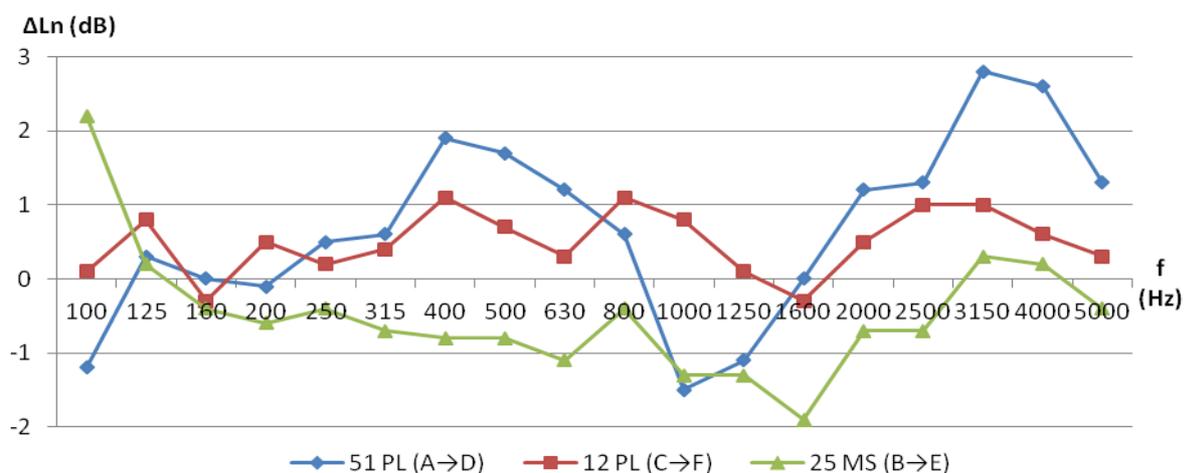


Figura 6 – Ganho de isolamento sonoro do Contraplacado em relação ao MDF

3.2.3 Influência do tipo de *underlay*

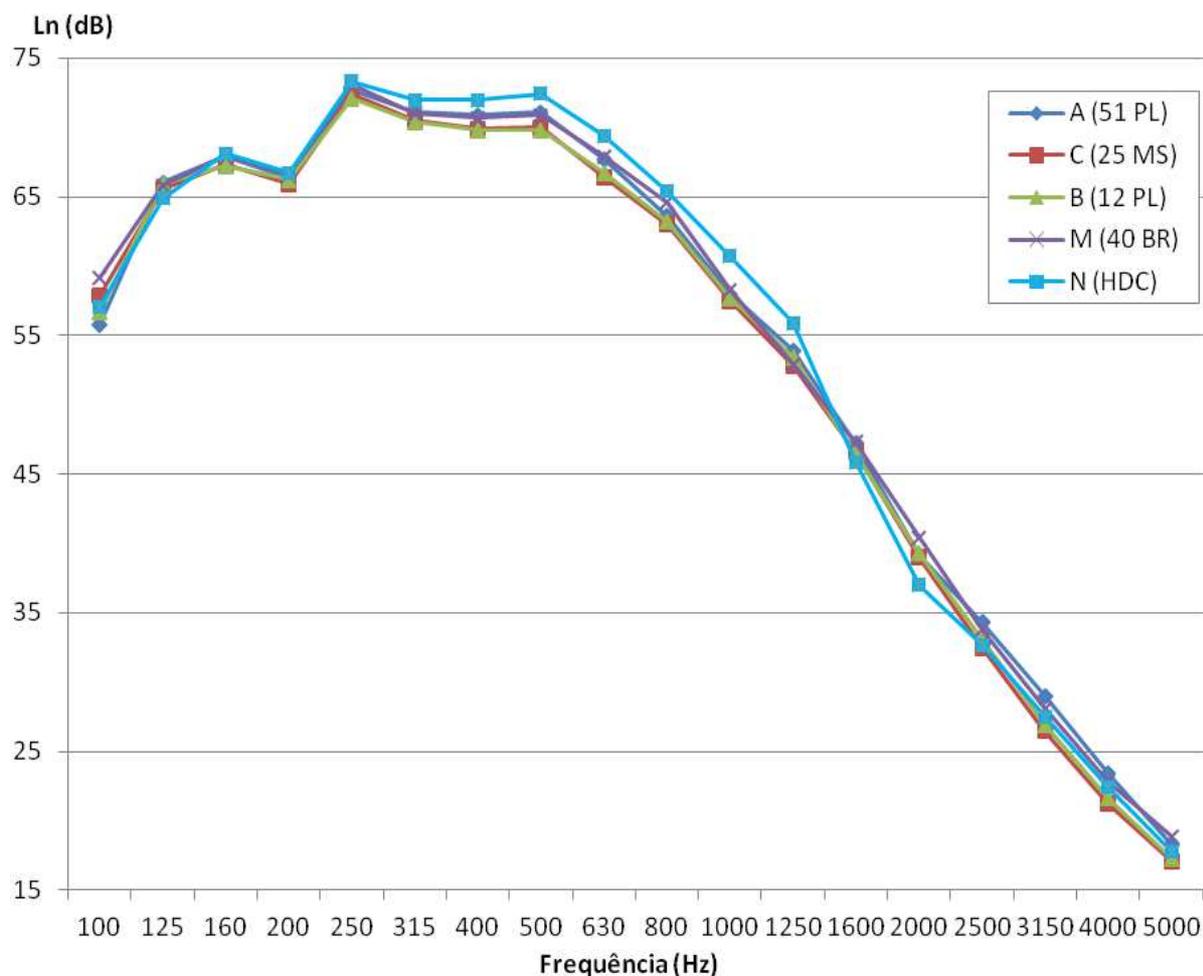


Figura 7 – Níveis de pressão sonora normalizados dos pavimentos comerciais (A, B, C, M e N) para averiguar a influência do tipo de *underlay*

Como o maior responsável pela transmissão do ruído de percussão em pavimentos flutuantes é o *underlay* [1, 2] e com o intuito de entender melhor o comportamento dos pavimentos flutuantes em função do tipo do *underlay*, ensaiaram-se quatro tipos de pavimentos (Pav. A, B, C e M) com a mesma constituição, à exceção do tipo de *underlay*, tendo-se sido ensaiados pavimentos de *underlay* constituído por “51 PL”, “25 MS”, “12 PL” e “40 BR”. Além desses pavimentos, ensaiou-se o pavimento feito totalmente de cortiça (Pav. N), onde o MDF e o *underlay* foram substituídos por cortiça de alta densidade, “HDC” (Figura 7).

Verifica-se que o pavimento de cortiça de alta densidade “HDC” tem um pior comportamento entre as bandas de frequência 315 e 1,25k Hz, com maior amplitude nos 1 e 1,25 kHz, chegando a aumentar o ruído em 2,5 dB em relação aos outros pavimentos, um pouco devido à sua composição rígida que aumenta a transmissão das vibrações originadas pela máquina de percussão. Na banda de frequência dos 2 kHz, o mesmo pavimento tem um abaixamento do ruído de percussão em 2 dB. O pavimento do *underlay* de “40 BR” também tem um ligeiro aumento do ruído ao longo das frequências, quando comparado com o grupo de pavimentos com comportamento mais idêntico. Os outros pavimentos apresentaram comportamentos muito similares, ressaltando-se que os pavimentos com o *underlay* “25 MS” e “12PL” obtiveram um melhoramento do isolamento sonoro, rondando 1 dB nas bandas de frequência dos 400 aos 630 Hz e dos 2,5 aos 5 kHz.

3.2.4 Influência da espessura do *underlay*

Para se investigar a influência da espessura do *underlay* estudou-se o comportamento de pavimentos com *underlay* de “51 PL” e “12 PL”, combinados com espessuras de 1,2 a 3,2 mm (Pav. A, G, P, B, H e I). Como os incrementos de espessura tinham uma melhoria de isolamento sonoro idêntico nos dois tipos de *underlay* (51 PL e 12 PL), representou-se na Figura 8 a média aritmética do ganho de redução sonora originada pelo aumento da espessura dos dois tipos de *underlay*.

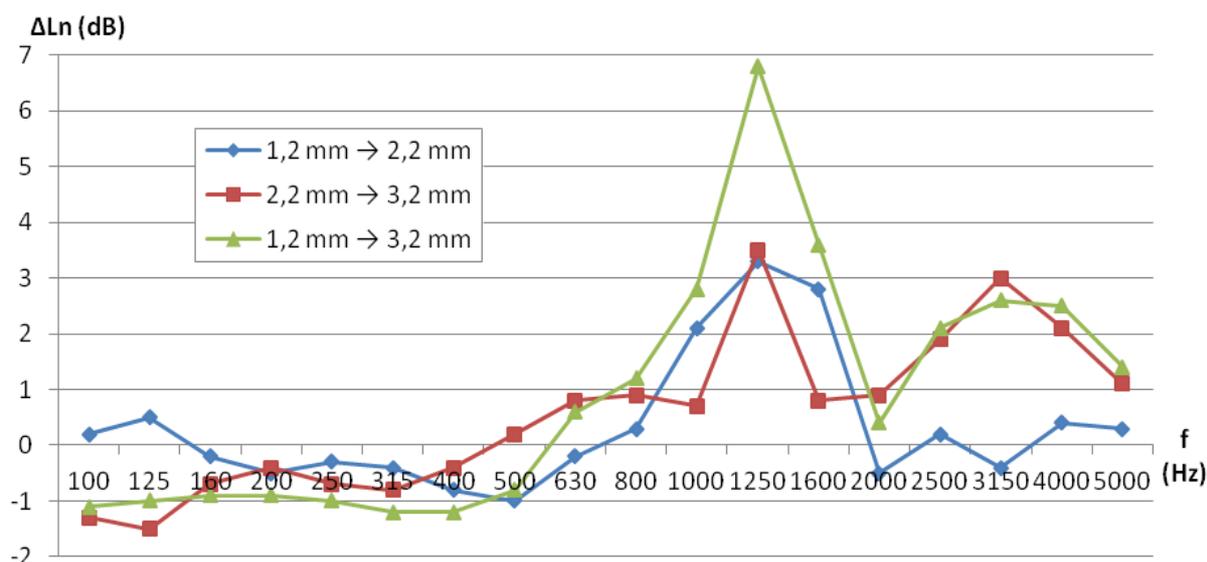


Figura 8 – Ganho médio de redução sonora criada pelo aumento da espessura do *underlay* dos pavimentos comerciais A, B, G, H, O e P

Através da Figura 8 verifica-se que a variação do ΔL_n não é proporcional ao aumento da espessura do *underlay*. Apesar disso, em cada incremento de espessura verifica-se um aumento significativo do isolamento entre as bandas de frequência dos 800 e dos 2k Hz, tendo-se registado apenas no segundo incremento (2,2→3,2 mm) um outro aumento substancial do isolamento sonoro para bandas de frequência superiores a 2 kHz. No entanto, quanto maior a espessura do *underlay*, maior é a

propagação do ruído para frequências entre os 125 e os 500 Hz.

Assim, salienta-se que o aumento de 2 mm do *underlay* aumenta o isolamento sonoro a ruídos de percussão para frequências superiores a 500 Hz, atingindo uma redução de quase 7 dB nos 1,25 kHz.

3.2.5 Efeito do envernizamento

Para avaliar o efeito do envernizamento nos pavimentos flutuantes, envernizaram-se dois pavimentos comerciais (G e H), e analisaram-se os resultados dos pavimentos após envernizamento (Q e R).

Para perceber se tal efeito tem mais importância num ou noutro tipo de *underlay*, analisou-se o incremento do nível de pressão sonora normalizado nos diferentes tipos de *underlay* (Figura 9).

A aplicação do verniz aumenta a propagação do ruído, com uma tendência crescente em frequência, tendo acima dos 800 Hz valores a rondar os 2 dB. No caso do “51 PL”, o aumento do ruído (mais de 1dB) verifica-se desde os 400 Hz e no “12 PL” regista-se a partir dos 1 kHz.

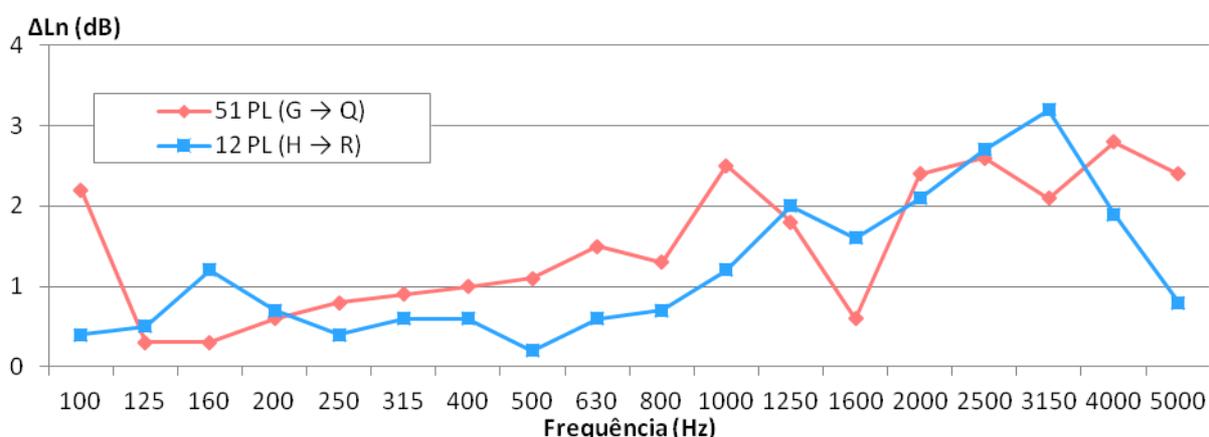


Figura 9 – Aumento do nível de pressão sonora normalizado dos pavimentos G e H quando submetidos a envernizamento

3.3 Pavimentos desenvolvidos

Os tipos de *underlay* desenvolvidos pelos autores, apoiados em ideias de melhoria da redução sonora, são resumidos em três grupos de experiências: “1 - tiras e amortecedores”, “2 - elipses e bastões” e “3 - granulado”.

Na “experiência 1 – tiras e amortecedores”, criou-se um pavimento composto por tiras de cortiça “15 MS” como *underlay* (Figura 10 – Pav. U), com 51% de área de pavimento sem contacto com o piso, para verificar se a diminuição da área de contacto também diminui a propagação do ruído.

De seguida, duplicou-se a espessura do *underlay* através da colocação de uma nova camada de tiras de “15 MS” (Figura 10 – Pav. V), com a esperança de aumentar o isolamento sonoro.

Posteriormente acrescentaram-se duas tiras finas de 2 mm de cortiça de alta densidade (HDC) entre as tiras “15 MS”, de maneira a criar uma espécie de amortecedor de cortiça (Figura 10 – Pav. S).

Para finalizar a ideia das “tiras e amortecedores”, decidiu-se diminuir ainda mais a área de contacto do pavimento com o piso, dividindo cada tira de amortecedor em dois (Figura 10 – Pav. T), passando a percentagem de espaços vazios para 66%.

Na “experiência 2 – elipses e bastões” desenvolveu-se um padrão de recortes no *underlay*, com 46% de espaços vazios (Figura 11 – Pav. Y), criando um confinamento dos espaços de ar e podendo, possivelmente, conduzir ao benefício dos espaços de ar fechados como molas amortecedoras [2].

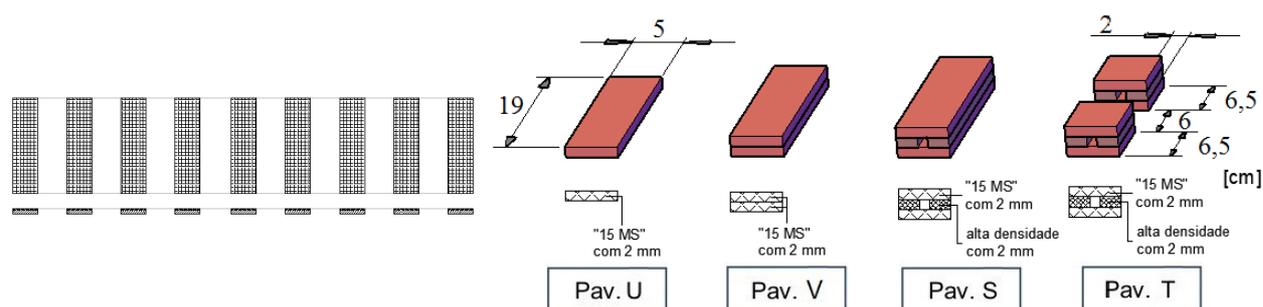


Figura 10 – Pavimentos (U, V, S e T) desenvolvidos a partir de combinações de tiras de cortiça

Por seguinte, foi criado um outro pavimento através da utilização de bastões de cortiça cortados ao meio, em substituição das zonas de cortiça do anterior pavimento (Figura 11 – Pav. W), simulando assim a morfologia do comum soalho flutuante apoiado em ripado.

Por último, desenvolveu-se um outro tipo de pavimento através da adição de lã de rocha (30 kg/m^3) entre os meios bastões (Figura 11 – Pav. X) com o intuito de baixar o pico do nível de pressão sonora verificado nos 250 Hz, possivelmente originado pela ressonância do sistema e caixa-de-ar.

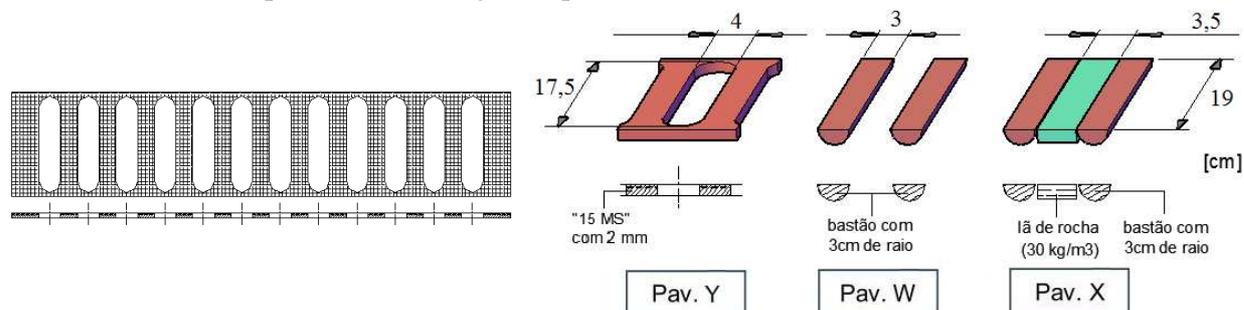


Figura 11 – Pavimentos (Y, W e X) desenvolvidos a partir das elipses e dos bastões

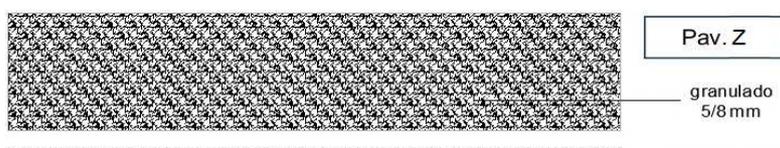


Figura 12 – Pavimento Z desenvolvido com *underlay* em granulado 5/8 mm

Por fim, com a “experiência 3 – granulado” desenvolveu-se um pavimento composto por granulado de cortiça de calibre 5/8 mm colado como *underlay* (Figura 12), de maneira a tirar partido do amortecimento do granulado e da baixa área de contacto entre este e o piso. Para avaliar o comportamento dos pavimentos desenvolvidos, compararam-se os resultados destes com a média energética daqueles que aparentavam ter características idênticas (Pav. G e H, “51 PL” e “12 PL”).

A experiência 1 mostrou que a diminuição da área de contacto entre o pavimento flutuante e o piso (Pav. U), em média, prejudicou 1 dB o isolamento sonoro nas bandas de frequência dos 500 aos 3,15k Hz em relação à média da *SEDACOR* (pavimento de referência). A duplicação da espessura das tiras de *underlay* (Pav. V) apresenta uma melhoria em mais de 2 dB (em relação à referência), chegando a atingir valores superiores a 3 dB. A inclusão de tiras de cortiça de alta resistência no *underlay* (Pav. S) piorou o desempenho, tendo um ruído maior que a média da *SEDACOR*, na maior parte das frequências, e maior que o seu pavimento antecessor (Pav. V), em todas as bandas frequências, chegando a ter um aumento de 2 a 3,5 dB para frequências superiores a 800 Hz. Com a redução da área de contacto entre o pavimento e o piso (Pav. T), os valores de L_n do pavimento S sofreram um

abaixamento, porém, tal estratégia não foi suficiente para obter um maior isolamento que o pavimento V, tendo T valores de ruído superiores a V na ordem de 1 dB nas bandas dos 1,25 aos 4 kHz, com uma perda de isolamento de 3 e 2 dB nos 1,25 e 1,6 kHz respectivamente.

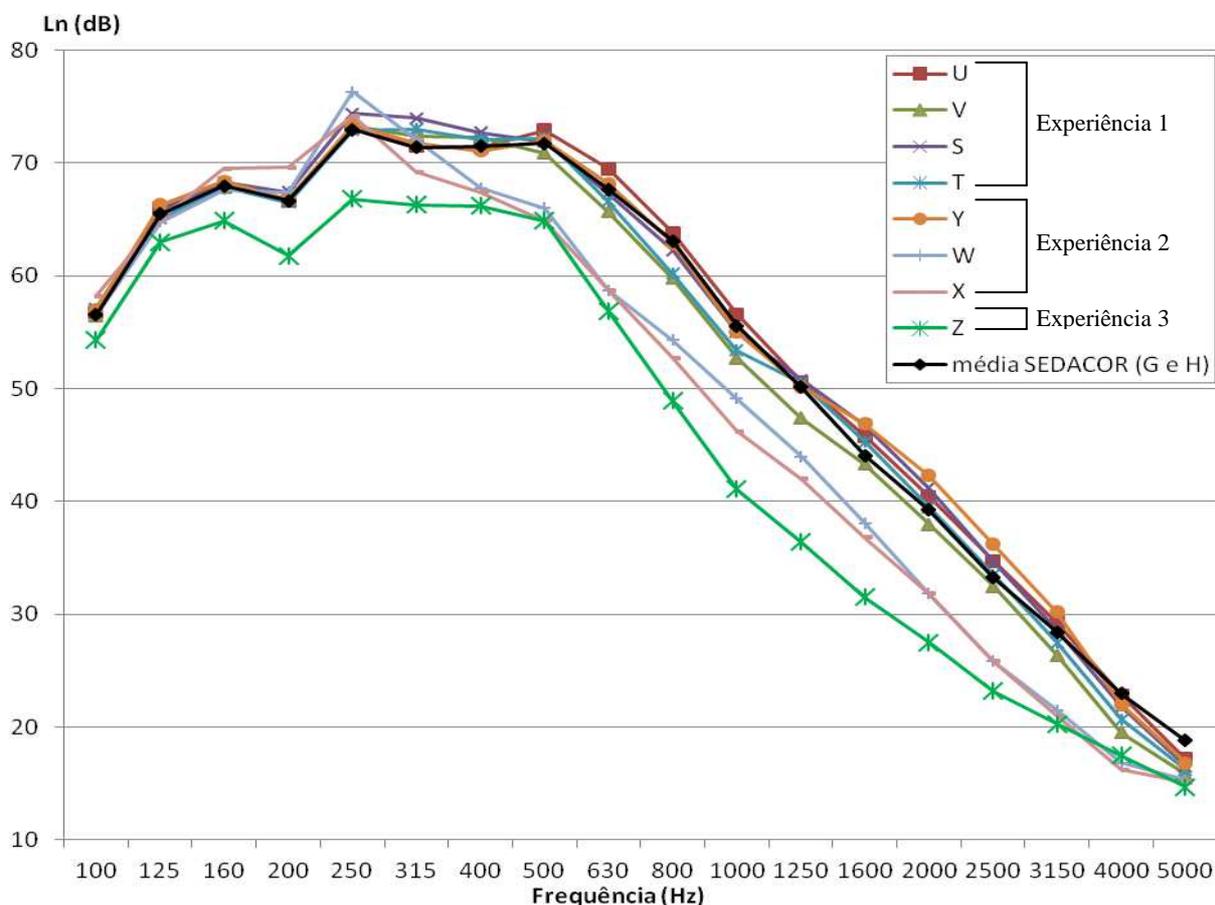


Figura 13 – Níveis de pressão sonora normalizados dos oito pavimentos desenvolvidos (U, V, S, T, Y, W, X e Z) comparados com a média energética dos pavimentos comerciais G e H

Dos resultados da experiência 2 (Pav. Y, W e X) verifica-se que o pavimento Y, ao qual foram retiradas elipses no *underlay*, teve um comportamento pior que o pavimento de referência aumentando o ruído em 3 dB entre as bandas 1,6 e 3,15 kHz, apesar de ter uma singular melhoria de 2 dB nos 5 kHz. O pavimento W apresentou uma grande melhoria para frequências acima dos 400 Hz, tendo registado na maioria das frequências uma diminuição superior a 6 dB, porém teve um aumento de 3 dB na banda dos 250 Hz, possivelmente devido à ressonância do sistema e caixa-de-ar. Com o pavimento X, criado a partir da adição de lã de rocha entre os meios bastões do pavimento W para tentar absorver a tal ressonância, apesar de ocorrer um aumento de 2 dB nas frequências dos 160 e 200 Hz, foi possível obter um abaixamento de 2 dB no pico dos 250 Hz em relação ao valor verificado no pavimento W, tendo nessa frequência um comportamento próximo da média dos pavimentos G e H. A lã de rocha permitiu baixar um pouco mais a fasquia mínima do nível de intensidade sonora atingido pelo pavimento W nas bandas de frequência dos 250 aos 1,6k Hz.

Pela experiência 3, verifica-se que o pavimento Z é aquele que obteve melhores resultados, tendo uma melhoria do isolamento em todas as frequências, com mais de 10 dB entre as bandas dos 630 e dos 2,5k Hz em relação à média energética dos pavimentos G e H. Porém, este pavimento é aquele que aparenta ser o mais instável à fluência, dado que o granulado não foi compactado.

3.4 Resultados finais

Para caracterizar os pavimentos seguiu-se a metodologia de cálculo do $L_{n,r,w}$, descrita na NP EN ISO 717-2. No entanto, como quase não há diferença entre os pavimentos (≈ 60 dB), decidiu-se aplicar a Curva de Referência por incrementos decimais, ao invés dos incrementos unitários normativos, obtendo-se assim valores *Não Normativos* com uma casa decimal ($L_{n,r,w}$ NN).

Porém, verificou-se que os pavimentos W e X, que propiciavam uma considerável redução do ruído, especialmente nas altas frequências, tinham valores de $L_{n,r,w}$ (normativo e NN) idênticos aos registados por outros pavimentos que tinham um pior desempenho nesse intervalo de frequências, intervalo esse caracterizado por ser uma zona de alta sensibilidade auditiva humana. Como a actual normalização “despreza” (nos cálculos) o contributo do isolamento sonoro nas altas frequências, é entendido que o mesmo método não se ajusta à reacção auditiva dos indivíduos. Assim, adaptando o actual método, aplicou-se o filtro A à curva dos $L_{n,r}$ e calculou-se a sua soma energética, obtendo-se assim o Nível sonoro contínuo equivalente ponderado A, aplicado ao pavimento de referência (denominada aqui por $LAeq,r$).

Tabela 2 – Valores de $L_{n,r,w}$ e ΔL_w dos 26 pavimentos ensaiados, segundo a NP EN ISO 717-2, bem como os valores de $L_{n,r,w}$ NN e ΔL_w NN (Não Normativos) e o novo $LAeq,r$

Pav.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
$L_{n,r,w}$ (dB)	60	60	60	60	59	60	60	60	60	60	60	60	61
$L_{n,r,w}$ NN (dB)	59,7	59,2	59,3	59,2	58,8	59,6	60,0	59,9	60,0	60,1	59,9	59,9	60,2
ΔL_w (dB)	18	18	18	18	19	18	18	18	18	18	18	18	17
ΔL_w NN (dB)	18,3	18,8	18,7	18,8	19,2	18,4	18,0	18,1	18,0	17,9	18,1	18,1	17,8
$LAeq,r$ (dB)	67,2	66,4	66,4	66,3	65,8	67,1	67,6	67,2	67,3	67,5	67,1	66,9	67,3
Pav.	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
$L_{n,r,w}$ (dB)	61	60	61	61	61	61	61	61	60	60	60	61	56
$L_{n,r,w}$ NN (dB)	60,5	59,6	60,5	61,0	60,5	60,8	60,1	60,4	60,0	59,2	59,3	60,3	55,3
ΔL_w (dB)	17	18	17	17	17	17	17	17	18	18	18	17	22
ΔL_w NN (dB)	17,5	18,4	17,5	17,0	17,5	17,2	17,9	17,6	18,0	18,8	18,7	17,7	22,7
$LAeq,r$ (dB)	68,4	66,3	67,7	68,7	67,7	68,2	67,6	68,0	67,1	65,6	64,8	67,6	61,1

Na Tabela 2 verifica-se que o $L_{n,r,w}$ entre os pavimentos comerciais (Pav. A a P) não varia mais que 1 dB em torno do valor médio dos 60 dB, sendo o pavimento E aquele que obteve melhor resultado (59 dB). No que toca ao parâmetro *Não Normativo* ($L_{n,r,w}$ NN), a diferença entre os pavimentos comerciais (17,5 a 19,2 dB) não é muito expressiva. Como o que aconteceu no $L_{n,r,w}$, o pavimento E mantém-se com o melhor resultado (58,8 dB) tendo os pavimentos N e P os piores desempenhos (60,5 dB). Avaliando o $LAeq,r$ deste grupo de pavimentos, o pavimento E continua a ser o melhor (65,8 dB), passando o N a destacar-se como sendo aquele com pior resultado (68,4 dB).

No que toca ao envernizamento (G→Q e H→R), verifica-se que quanto maior for o $L_{n,r,w}$ NN ou $LAeq,r$ do pavimento sem envernizar, maior será o valor de cada um desses parâmetros depois de envernizado o pavimento. Em média, o envernizamento aumenta o $L_{n,r,w}$ NN e o $LAeq,r$ em 0,8 dB.

No caso dos novos pavimentos o caso repete-se, tendo estes pavimentos apresentado valores de $L_{n,r,w}$ superiores ao espectável (60 e 61 dB), à excepção do pavimento Z que teve o melhor resultado de todos os pavimentos ensaiados (56 dB). Salienta-se o facto dos pavimentos S, T, U, V e Y ostentarem valores de $L_{n,r,w}$ NN superiores à média dos pavimentos comerciais (59,8 dB), acontecendo o mesmo em relação à média dos valores de $LAeq,r$ dos pavimentos comerciais (67,0 dB).

Os pavimentos W e X têm um $L_{n,r,w}$ igual ao de muitos dos pavimentos ensaiados (60 dB), apesar do abaixamento considerável dos L_i para frequências superiores a 400 Hz. O caso torna-se mais interessante quando se analisam os valores Não Normativo ($L_{n,r,w}$ NN) dos pavimentos W e X e se verifica que têm valores (59,2 e 59,3 dB) acima do que foi obtido com o pavimento E (58,8 dB),

levando a crer que os pavimentos W e X são piores que o E. No entanto tal não traduz a realidade, pois é mais importante a variação do ruído nas bandas de frequência mais incomodativas (altas frequências) do que nas bandas menos incomodativas (baixas frequências). Com o uso dos LAeq,r conseguiu-se obter uma classificação mais realista tendo em conta a reacção auditiva dos indivíduos, tendo os pavimentos W e X obtido 65,6 e 64,8 dB, destacando-se da média dos pavimentos comerciais (67,0 dB) e estando abaixo do valor do melhor desses pavimentos (Pav. E = 65,8 dB).

O pavimento Z é o que tem o melhor desempenho acústico de todos os pavimentos desenvolvidos e de todos os ensaiados durante este estudo com um alto índice de redução sonora a ruídos de percussão normativo (22 dB) e não normativo (22,7 dB), com o LAeq,r destacadamente mais baixo (61,1 dB).

De todos os pavimentos ensaiados, o pior é o S, pois obteve o mais alto $L_{n,r,w}$ NN (60,8 dB) e o segundo pior valor de LAeq,r (68,2 dB).

4 Conclusões

O melhor desempenho acústico neste tipo de pavimento flutuante é atingido com a combinação dos produtos “012”+“contraplacado”+ “51 PL”/”12 PL” ou “012”+”MDF”+“25 MS”.

O aumento de espessura do *underlay* propicia o aumento do isolamento nas altas frequências, atingindo uma melhoria de mais de 3 dB para um aumento de 1 mm de espessura.

O envernizamento é responsável pelo aumento da propagação do ruído de percussão em 1 dB nas baixas frequências e 2 dB nas altas.

Segundo os tipos de *underlay* desenvolvidos, conclui-se que a diminuição da área de contacto entre o *underlay* do pavimento flutuante e o piso não está directamente relacionado com a diminuição da propagação do ruído. Porém, outros formatos de *underlay* podem melhorar substancialmente o isolamento sonoro nas médias-altas frequências.

De todos os tipos de *underlay* desenvolvidos, aqueles que merecem ser alvo de apreciação técnico-económica são os pavimentos W, X e Z pois reduzem substancialmente o ruído de percussão nas altas frequências, zona de melhor sensibilidade auditiva humana,

Numa perspectiva de interesse comercial dos pavimentos já produzidos, o pavimento E é aquele que obteve a melhor classificação ($\Delta L_w = 19$ dB).

Verificou-se que a actual caracterização normativa dos sistemas flutuantes não tem em conta o contributo da melhoria do isolamento sonoro a ruídos de percussão nas altas frequências. Com as adaptações sugeridas neste trabalho é possível melhorar a utilidade desses índices e classificar os diferentes pavimentos tendo em conta a reacção auditiva do ser humano, obtendo assim uma caracterização mais realista (centrada nas frequências médias).

Parece existir potencialidade para aplicação do filtro A nos valores normalizados, ou até mesmo na curva de referência [3].

Referências

- [1] Lopes, G., *Isolamento Activo a Ruídos de Percussão em Pavimento Flutuante*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST, 2009.
- [2] Ferraz, R., *Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de pavimentos múltiplos*, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas, DEES - UFMG, 2008.
- [3] Rocha, V., *Desenvolvimento de pavimento flutuante com aglomerado de cortiça, de desempenho acústico otimizado*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUP, 2012.