



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Avaliação da transmissão indireta de ruídos de percussão – Estudo de casos

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Construções

Autor

Maria Teresa Moreira Martins Pessoa Garcia

Orientadores

Professor Doutor Diogo Manuel Rosa Mateus

Professora Doutora Andreia Sofia Carvalho Pereira

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, Outubro, 2013

RESUMO

A transmissão de sons de percussão entre dois compartimentos adjacentes, de um piso superior para um espaço adjacente inferior, depende da transmissão direta, através do próprio elemento construtivo, assim como da transmissão indireta que ocorre através dos elementos adjacentes àquele que foi percutido. Em projeto, a previsão deste tipo de transmissão pode ser feita com base nos métodos constantes na norma EN 12354-2. No entanto, no caso de transmissão de um compartimento de um piso inferior para um sobrejacente, ou mesmo entre compartimentos do mesmo piso, a transmissão sonora ocorre apenas pela via indireta ou marginal. Neste caso é mais difícil realizar uma quantificação rigorosa em fase de projeto, pelo facto de atualmente não existirem na normalização em vigor, metodologias simples para a sua previsão.

Deste modo, a realização deste trabalho visa analisar e comparar alguns casos de transmissão sonora de sons de percussão, nos sentidos descendente, ascendente e lateral, quer através de simulações, recorrendo a *software* específico, quer através de medições acústicas realizadas *in situ* de acordo com as normas NP EN ISO 140-7 e EN ISO 717-2. Adicionalmente, o uso de revestimentos de piso flexíveis e pavimentos flutuantes, quer experimentalmente, quer em simulação, avaliará o desempenho efetivo destes elementos nos vários casos de transmissão estudados. Os resultados experimentais, juntamente com resultados previstos da simulação, serão comparados com valores obtidos através de metodologias simplificadas recentemente propostas (fórmulas empíricas).

ABSTRACT

The impact sound transmission between two adjacent rooms of different floors, where the emitting room is placed bellow the receiving one, depends on direct sound transmission through the floor, as well as indirect transmission occurred through the elements adjacent to that which was impacted. In design, the prediction of this type of transmission can be performed with the methods described in the EN 12354-2. However, when the impact sound transmission occurs between a lower room to an upper room, or between two adjacent rooms on the same floor, the impact sound insulation is more difficult to quantify, because the transmission is performed only through the adjacent elements. In this case it is more difficult to conduct a rigorous quantification in the design stage, because currently there are no standard methods, to predict this type of transmission.

This work intends to analyze and compare some cases of sound insulation transmission between rooms placed bellow the receiving one, between a lower to an upper room and between rooms on the same floor, using simulations with a specific software and acoustic measurements performed in the local, according to the NP EN ISO 140-7 and EN ISO 717 – 2. Additionally, the use of flexible floor coverings and floating floors, experimentally and in simulations, will evaluate the performance of these floors in the cases of transmission. The experimental results along with the expected results of the simulation will be compared with results obtained using simplified methods recently proposed (empirical formulas).

ÍNDICE

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
ÍNDICE.....	iii
SIMBOLOGIA	v
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Estrutura da dissertação	3
2 CONCEITOS GERAIS DE ACÚSTICA	4
2.1 Introdução.....	4
2.2 Noções básicas.....	5
2.2.1 Propagação do som.....	5
2.2.2 Gama de frequências e bandas de frequências	6
2.2.3 Tempo de reverberação	8
2.2.4 Aparelhos de medição	11
2.3 Isolamento a sons de percussão	13
2.3.1 Isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão.....	15
2.3.2 Determinação do índice de isolamento sonoro a sons de percussão	16
2.3.3 Determinação do índice de redução sonora a sons de percussão, conferido por revestimentos de piso	18
2.3.4 Previsão do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, em projeto.....	20
3 ENSAIOS REALIZADOS <i>IN SITU</i>	22
3.1 Introdução.....	22
3.2 Compartimentos de ensaio	22
3.3 Condições de ensaio	24
3.4 Soluções de revestimentos de piso testadas.....	26
3.5 Medição do tempo de reverberação.....	29
3.6 Medição do ruído de fundo.....	29
4 METODOLOGIAS SIMPLIFICADAS DE PREVISÃO E SIMULAÇÃO COM <i>SOFTWARE</i>	31
4.1 Introdução.....	31
4.2 Metodologias de cálculo simplificadas de previsão	32

4.2.1	Transmissão descendente	32
4.2.2	Transmissão ascendente	32
4.2.3	Transmissão Lateral.....	34
4.3	Simulação com <i>Software</i>	35
5	TRATAMENTO, ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS	36
5.1	Introdução.....	36
5.2	Apresentação e análise de resultados obtidos <i>in situ</i>	36
5.3	Resultados teóricos <i>versus</i> resultados <i>in situ</i>	52
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	ANEXOS	63
	ANEXO A – NÍVEL SONORO DE PERCUSSÃO	64
	ANEXO B – TEMPO DE REVERBERAÇÃO	69

SIMBOLOGIA

ΔL	Redução sonora conferido por revestimentos de piso, no domínio da frequência, expresso em decibel
$\Delta L_{r,w}$	Índice de redução sonora, conferida por revestimentos de piso, relativamente ao pavimento de referência, expresso em decibel
ΔL_w	Índice de redução sonora, conferida por revestimentos de piso, expresso em decibel
$\Delta L_{w,ef}$	Redução sonora <i>in situ</i> conferida por revestimentos de piso, expresso em decibel (designação atribuída nos ensaios experimentais realizados)
$\Delta L'_w$	Índice de redução sonora conferida por revestimentos de piso, corrigido com fator de correção k , expresso em decibel (metodologias de cálculo simplificadas propostas, transmissão ascendente)
A	Área de absorção equivalente em m^2
A_0	Área de absorção de equivalente de referência, igual a $10 m^2$
d	Distância entre a zona central da laje percutida (na transmissão lateral) e a parede mais próxima do compartimento recetor (metodologias de cálculo simplificadas propostas)
f_{inf}	Frequência limite inferior, em Hertz
f_{sup}	Frequência limite superior, em Hertz
Hz	Hertz
K	Fator de correção devido à ocorrência de transmissão marginal, na transmissão ascendente (metodologias de cálculo simplificadas propostas)
K	Fator de correção devido à ocorrência de transmissão marginal
L'_n	Nível de pressão sonora, normalizado, de percussão, expresso em decibel (medições <i>in situ</i>)
$L'_{n,w}$	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão, normalizado, expresso em decibel (medições <i>in situ</i>)
L'_{nT}	Nível de pressão sonora, padronizado, de percussão, expresso em decibel (medições <i>in situ</i>)
$L'_{nT,w}$	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado, expresso em decibel (medições <i>in situ</i>)
L_b	Nível sonoro do ruído de fundo, em decibel
L_{ER}	Comprimento total de junções com continuidade do piso inferior para o piso superior, na transmissão ascendente, em metros (metodologias de cálculo simplificadas propostas)

L_i	Nível de pressão sonora, devido à excitação de impacto, na banda de frequências i , expresso em decibel
$L_{n,r}$	Nível de pressão sonora, normalizado, devido à excitação de impacto, calculado para o pavimento de referência com o revestimento de piso em ensaio, expresso em decibel
$L_{n,r,0}$	Nível de pressão sonora, normalizado, devido à excitação de impacto, definido para o pavimento de referência, expresso em decibel
$L_{n,r,0,w}$	índice obtido a partir de $L_{n,r,0}$ de acordo com o procedimento 4.3.1 da norma EN ISO 717-2
$L_{n,r,w}$	índice obtido a partir de $L_{n,r}$ de acordo com o procedimento 4.3.1 da norma EN ISO 717-2
L_{sb}	Nível sonoro da fonte e ruído de fundo, combinados, em decibel
m'	Massa superficial do pavimento percutido, em kg/m^2 (EN 12354-2)
m'_0	Massa superficial de referência, em kg/m^2 (EN 12354-2)
m_i	Massa da laje de piso percutida, na transmissão ascendente, em kg/m^2 (metodologias de cálculo simplificadas propostas)
m_L	Massa da laje de piso percutida, na transmissão lateral, em kg/m^2 (metodologias de cálculo simplificadas propostas)
S	Área (m^2)
S_E	Área do piso emissor (m^2)
S_i	Área da superfície i (m^2)
S_R	Área do piso recetor (m^2)
T_0	Tempo de reverberação de referência, em segundos
T_r	Tempo de reverberação, em segundos
V	Volume (m^3)
α	Coefficiente de absorção sonora
α_i	Coefficiente de absorção do elemento i

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Nos dias de hoje, um bom desempenho acústico do edifício é preponderante na criação de condições de conforto e habitabilidade. O ruído, entendido como um som desagradável, incomodativo e que não transmite qualquer conteúdo informativo ao recetor, faz parte do quotidiano e provém tanto do exterior do edifício como do seu interior (Patrício, 2010a). É por isso necessário garantir, que os efeitos por ele causados sejam minimizados desde logo na fase de conceção (projeto) do edifício, verificando posteriormente o cumprimento dos requisitos aplicáveis na fase de utilização. Essa minimização é conseguida com uma adequada articulação e harmonização entre as diversas especialidades intervenientes na conceção do edifício, como por exemplo arquitetura e instalações técnicas, bem como pelo uso de materiais adequados e boas práticas de execução (Silva, 2007).

No que se refere à proveniência do ruído, este pode ter origem, como já referido, no exterior e no interior do próprio edifício. O ruído de tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo, instalações industriais, estaleiros ou outros, são fontes comuns de ruído vindo do exterior dos edifícios e que pode ser causador de desconforto. Já no interior, o ruído pode ter inúmeras fontes, normalmente associadas ao tipo de uso e ocupantes ou a equipamentos instalados. Considerando estas duas proveniências, é necessário assegurar para a primeira um adequado isolamento sonoro da envolvente exterior do edifício e para o seu interior um correto isolamento da compartimentação.

Definida a sua origem, o ruído pode ainda ter duas formas de propagação entre um local emissor e um recetor. No caso de solicitações mecânicas que ocorrem diretamente sobre um elemento construtivo, como por exemplo o arrastar de móveis, equipamentos, passos em pavimentos ou choques, a propagação de som ocorre por via sólida, designando-se neste por ruído de percussão. Quando não se verifica essa ação direta sobre os elementos, como por exemplo na audição de música ou conversação entre pessoas, estão em causa sons aéreos.

O presente trabalho, visa o estudo da propagação de sons de percussão entre compartimentos. Este tipo de propagação pode dar-se por duas vias: via direta, em que a transmissão ocorre

diretamente através do elemento percutido, normalmente o pavimento, e via indireta ou marginal, onde a transmissão ocorre através dos elementos adjacentes àquele que foi solicitado (paredes). Em fase de projeto é possível prever e quantificar a propagação por via sólida entre um compartimento de um piso superior para um adjacente num piso inferior, onde a transmissão ocorre tanto por via direta como indireta. Nos casos de transmissão entre compartimentos do mesmo piso e de baixo para cima, a transmissão que ocorre apenas por via indireta, é de mais difícil modelação. Este tipo de transmissão, é muitas vezes desprezada pelos projetistas, sendo frequentemente motivo para o incumprimento dos requisitos acústicos dos edifícios, particularmente nos casos em que o piso inferior é de comércio ou serviços e o superior é de habitação.

A avaliação do desempenho acústico de um edifício, é feita com base na determinação de índices de isolamento sonoro, os quais têm que respeitar limites regulamentares consoante o tipo de utilização a que se destina o edifício. Essa determinação deverá ocorrer em fase de projeto, de modo a verificar a conformidade com os requisitos aplicáveis, mas também *in situ* através de medições acústicas.

1.2 Objetivos

É objetivo deste trabalho avaliar a transmissão pela via indireta, de sons de percussão. Para isso, foram realizados diversos ensaios entre compartimentos adjacentes de um mesmo piso, de um piso inferior para um compartimento sobrejacente, bem como entre compartimentos de um piso superior para um inferior, quer adjacentes, quer separados por um piso intermédio. Este tipo de transmissão é de difícil quantificação, não existindo atualmente normalização que disponibilize métodos de aplicação simplificada para a sua previsão. Assim, o desenvolvimento deste tema contemplará as seguintes fases:

- Realização de medições acústicas *in situ* de acordo com a norma NP EN ISO 140-7, entre compartimentos, de baixo para cima, entre compartimentos do mesmo piso, bem como de cima para baixo;
- Tratamento de dados recolhidos experimentalmente com recurso à norma referida anteriormente, bem como à EN ISO 717-2, determinando os índices de isolamento sonoro a sons de percussão e índices de redução sonora conferidos pelos revestimentos de piso ensaiados;
- Análise e comparação de resultados obtidos nos ensaios de transmissão apenas por via indireta, face aos ensaios realizados de cima para baixo, onde a transmissão ocorre pelas vias direta e indireta;
- Aplicação de um modelo simplificado de previsão, proposto recentemente por docentes do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra (DEC-

UC) baseado na norma EN 12354-2, e que permite a determinação de índices de isolamento sonoro a sons de percussão para os sentidos ascendente e lateral, em fase de projeto; simulação de ensaios em *software* adequado;

- Análise e comparação de resultados teóricos e experimentais.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação é constituída por 6 capítulos, incluindo este, dedicados ao estudo da transmissão indireta de sons de percussão. Todos os capítulos são iniciados com uma pequena introdução, onde se procura definir as linhas gerais do que vai ser abordado e analisado em cada capítulo.

No capítulo 2 apresentam-se algumas definições e conceitos teóricos que se entenderam necessários para a compreensão do tema tratado. Após a introdução inicial, a secção 2.2 apresenta algumas noções básicas de acústica relacionadas com propagação e receção de som, comportamento acústico de um espaço fechado e aparelhos de medição de nível sonoro. Segue-se a secção 2.3 onde se aborda concretamente a propagação de sons de percussão em edifícios, bem como a normalização em vigor para tratamento e análise de dados obtidos através de medições acústicas realizadas *in situ*.

O capítulo 3 é dedicado à descrição dos ensaios experimentais realizados, pormenorizando os procedimentos, condições de ensaio, compartimentos e materiais utilizados.

O quarto capítulo descreve o modelo simplificado de previsão recentemente proposto (Mateus e Pereira, 2012) aplicado no desenvolvimento deste trabalho, bem como o *software* de simulação, utilizados na obtenção de resultados teóricos.

O capítulo 5, depois de uma introdução inicial que procura estruturar a apresentação de resultados que se seguirá, apresenta primeiramente os resultados obtidos com os ensaios experimentais realizados, analisando e comparando as várias situações de transmissão ensaiadas. A partir da secção 5.3, os resultados anteriores são comparados com os resultados teóricos, obtidos com a aplicação do modelo simplificado de previsão e *software*.

O sexto e último capítulo, engloba e sistematiza as principais conclusões do trabalho desenvolvido.

2 CONCEITOS GERAIS DE ACÚSTICA

2.1 Introdução

A Acústica é a ciência que se dedica ao estudo do som. O som resulta de uma perturbação no equilíbrio de um dado meio acústico, causada por uma dada fonte sonora. A tentativa de restauração desse equilíbrio, leva à propagação de energia sob a forma de ondas sonoras. Essa propagação poderá ocorrer tanto em meio líquido, como em meio gasoso ou sólido, influenciando assim o modo e velocidade de propagação das ondas. Ao recetor chega o resultado dessa propagação, sendo que o modo como é interpretado por ele pode variar dependendo muitas vezes do contexto e das suas capacidades auditivas (Tadeu *et al.*, 2010a). O som pode ser percebido pelo recetor como agradável e desejável, como por exemplo no caso de uma conversa ou audição de música, ou mesmo útil no caso em que haja transmissão de informação. Por outro lado, o som pode ter um papel incomodativo, independentemente da sua intensidade, quando tem um efeito negativo no auditor, denominando-se neste caso como ruído. O ruído é um som entendido pelo recetor como desagradável e incómodo, pelo facto de interferir com ele na deteção de outros sons, ter efeitos nocivos na sua audição, saúde física e mental, perturbação do sono ou do seu desempenho e não ter qualquer conteúdo informativo (Patrício, 2010b). O som está presente na vida quotidiana sendo que cada vez mais, na sociedade moderna, é considerado um ruído.

A acústica aplicada aos edifícios, procura determinar e desenvolver medidas minimizadoras dos efeitos negativos que a propagação do som pode ter, no que se refere à sua propagação no interior de um espaço fechado, propagação entre espaços separados fisicamente, bem como a sua propagação por via sólida devido a choque ou impactos (Tadeu *et al.*, 2010b). Esta última situação, propagação de sons de percussão, é o objeto de estudo deste trabalho.

Neste capítulo são apresentadas algumas noções teóricas, que se entendem ser importantes para uma compreensão mais facilitada do trabalho desenvolvido. Numa fase inicial, a secção 2.2 apresenta conceitos básicos, relativos ao fenómeno de transmissão do som, a sua percepção pelo recetor, comportamento acústico de um espaço fechado e formas de medição do nível sonoro.

Posteriormente, a secção 2.3, dedica-se mais concretamente à transmissão de sons de percussão e isolamento acústico deste tipo de sons. É apresentado o método de avaliação experimental do isolamento a sons de percussão, no domínio da frequência, de acordo com a norma NP EN ISO 140-7 para ensaios a realizar *in situ*, bem como o processo de determinação do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, de acordo com o especificado na norma EN ISO 717-2. A consideração do efeito de revestimentos de piso é tida em conta também na norma EN ISO 717-2, através da determinação do índice de redução sonora conferida por um dado revestimento, cujo processo de cálculo é igualmente aqui demonstrado. É ainda referido o método simplificado constante na norma EN 12354-2:2000, usado na estimação do índice de isolamento sonoro entre dois espaços, em situação de projeto. É com base neste método, que se desenvolveram as novas metodologias de cálculo simplificadas recentemente propostas (Mateus e Pereira, 2012) e usadas neste trabalho, para previsão do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, na transmissão de baixo para cima e lateralmente.

2.2 Noções básicas

2.2.1 Propagação do som

O som é uma forma de energia que é transmitida ao longo de um dado meio de propagação, sob a forma de ondas sonoras. Esta energia é o resultado de uma perturbação provocada por uma fonte sonora e pode propagar-se tanto em meio fluido (ar ou líquido), como em meio sólido (Tadeu *et al.*, 2010c). Em edifícios, as fontes sonoras mais comuns são a conversação, atividades do dia-a-dia, deslocação de pessoas, audição de música, entre outras.

O meio aéreo é composto por um conjunto de moléculas que se encontram em equilíbrio, quando não existe qualquer perturbação. Quando uma fonte produz energia, faz variar a posição dessas moléculas, que ao oscilarem provocam uma variação de pressão relativamente à pressão atmosférica, como ilustrado na Figura 2.1. Esta oscilação conduz à propagação das ondas sonoras, ocorrendo dissipação de energia até ser restaurado um novo ponto de equilíbrio. A flutuação de pressão, relativamente ao estado de equilíbrio define-se como pressão sonora.

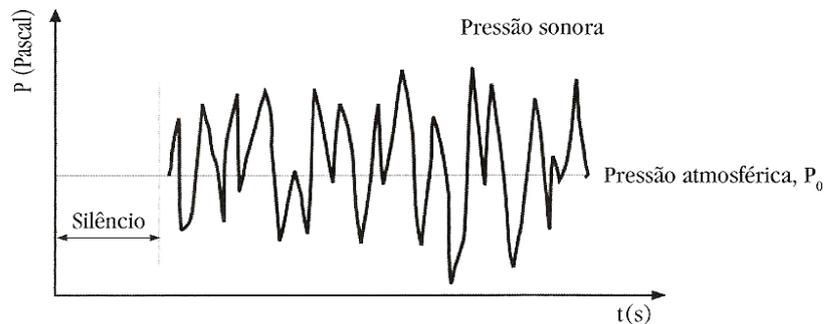


Figura 2.1 – Variação da pressão com o tempo, na propagação do som em meio aéreo (Patrício, 2010)

As ondas, ao interagirem com um meio sólido, percorrem o elemento construtivo, são radiadas por ele e são conduzidas novamente em meio fluido até ao receptor. No ouvido humano, são sentidas estas flutuações de pressão que produzem sensação auditiva. No entanto, esta estimulação do ouvido apenas ocorre para determinadas amplitudes e frequências percebidas pelo receptor.

A propagação de energia pode também ter origem diretamente num elemento sólido. Quando ocorre um impacto ou um choque sobre um elemento construtivo, uma parte da energia gerada é dissipada e a restante é transmitida pelo material. A quantidade de energia transmitida, depende da rigidez do material sendo que, quanto maior ela for, maior será a quantidade de energia transmitida. Nas fronteiras do elemento, as ondas são refletidas agitando as moléculas de ar e produzindo som (Tadeu *et al.*, 2010d).

2.2.2 Gama de frequências e bandas de frequências

As ondas sonoras, além de caracterizadas pela sua energia, definem-se também pela sua intensidade (sons fracos ou fortes), duração, timbre e frequência (sons agudos ou sons graves). O ouvido humano tem a capacidade de detetar as flutuações de pressão, em relação ao valor da pressão estática do ar, numa gama compreendida entre os 20 μPa e os 20 Pa. O valor de 20 μPa corresponde ao valor mínimo de pressão sonora que o ouvido consegue detetar e os 20 Pa ao valor máximo, definindo assim o limiar de audição e o limiar de dor, respetivamente. No caso de valores superiores, poderão ocorrer possíveis danos ao receptor (Patrício, 2010c).

Verifica-se que o ouvido humano responde à receção do som de um modo próximo da escala logarítmica. Por este motivo, e atendendo também ao facto de que a consideração da gama audível numa escala linear é demasiado extensa, utiliza-se o logaritmo da relação entre os quadrados da pressão medida e da pressão de referência (correspondente ao limiar da

audição), multiplicado por 10. A grandeza daí resultante, denomina-se decibel (dB) e define a escala de potência sonora de 0 dB a 120 dB (Tadeu *et al.*, 2010e). A Figura 2.2, pretende ilustrar essa correspondência entre escalas.



Figura 2.2 – Correspondência de escalas de pressão sonora em Pa e nível de pressão sonora em dB (Galante, 2010).

Sendo a gama de frequências detetada pelo ouvido bastante alargada, o tratamento de informação relativo a medições de níveis sonoros e de pressão sonora, é efetuado por bandas de frequência com largura pré-definida e normalizada (Patrício, 2010d). São adotados usualmente, filtros de bandas de frequências com a largura de uma oitava e de um terço de oitava. Entende-se como uma oitava, uma banda de frequências em que a frequência limite superior, f_{sup} , é aproximadamente o dobro da frequência limite inferior, f_{inf} , ou seja,

$$f_{sup} \approx 2 f_{inf} \quad (1)$$

A frequência central desta banda, f_c , é definida por um valor próximo da média geométrica entre as frequências limites superior e inferior.

Quando se pretende uma análise mais fina, o intervalo de uma oitava é dividido em três intervalos de 1/3 de oitava, tendo-se nesse caso,

$$f_{sup} = \sqrt[3]{2} f_{inf} \quad (2)$$

No quadro 2.1 apresentam-se os valores das frequências centrais e os respetivos limites superior e inferior das bandas de frequência mais usadas em acústica de edifícios. Em

laboratório as bandas utilizadas são as de um terço de oitava, já em medições *in situ* para além dessas podem ser usados filtros com a largura de uma oitava.

Frequência Central (Hz)	Banda de Terços de Oitava (Hz)	Banda de Oitava (Hz)
50	44,7 – 56,2	
63	56,2 – 70,8	44,7 – 89,1
80	70,8 – 89,1	
100	89,1 – 112	
125	112 – 141	89,1 - 178
160	141 – 178	
200	178 – 224	
250	224 – 282	178 - 355
315	282 – 355	
400	355 – 447	
500	447 – 562	355 - 708
630	562 – 708	
800	708 – 891	
1000	891 – 1120	708 - 1410
1250	1120 – 1410	
1600	1410 – 1780	
2000	1780 – 2240	1410 - 2820
2500	2240 – 2820	
3150	2820 – 3550	
4000	3550 – 4470	2820 - 5620
5000	4470 – 5620	
6300	5620 – 7080	
8000	7080 – 8910	5620 - 11200
10000	8910 – 11200	

Quadro 2.1 – Limites e frequências centrais de bandas de oitava e de terços de oitava
(Patrício, 2010)

2.2.3 Tempo de reverberação

Quando uma onda sonora atinge um elemento definidor de compartimentação (parede, pavimento ou envidraçado) ou outro obstáculo, uma parte da sua energia é refletida pelo elemento e devolvida ao meio de propagação de onde provém, outra é dissipada no elemento e a restante é transmitida ao espaço adjacente. A energia sonora refletida sofrerá múltiplas reflexões no compartimento onde foi emitida, que se irão manter mesmo quando a fonte sonora é interrompida. A duração deste fenómeno de reflexão dependerá da capacidade dissipativa dos materiais da envolvente ou seja, da sua absorção sonora. A energia refletida permanecerá tanto mais tempo nesse espaço, quanto menor for a absorção sonora de toda a envolvente incluindo mobiliário, equipamentos ou mesmo pessoas (Patrício, 2010e).

Define-se assim o tempo de reverberação de um compartimento fechado, como o intervalo necessário para que o nível sonoro decresça no valor de 60 dB, após a interrupção da fonte sonora, para uma dada banda de frequências. A Figura 2.3 ilustra este conceito.

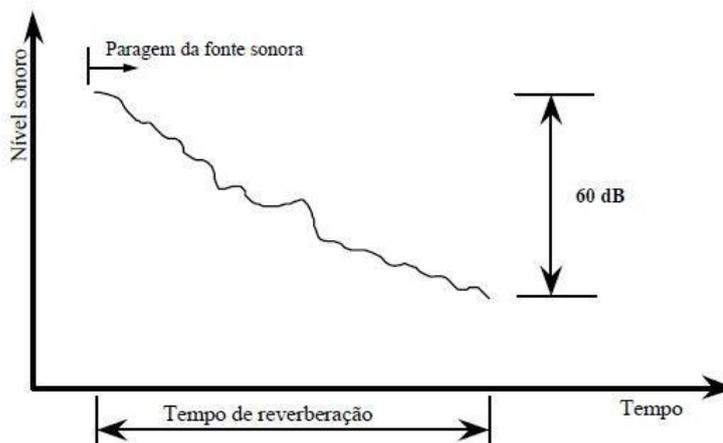


Figura 2.3 – Conceito de tempo de reverberação (Tadeu *et al.*, 2010)

Por vezes, a redução de 60 dB no valor do nível sonoro do espaço onde se está a medir, pode não ser possível. A presença de ruído de fundo pode impedir a obtenção deste decréscimo, pelo que deixa de ser possível avaliar o tempo de reverberação real do espaço. Existe no entanto a possibilidade de contornar este problema, realizando a medição correspondente a decaimentos de 20 dB ou 30 dB, que de forma simples pode ser extrapolada para os 60 dB (Tadeu *et al.*, 2010f).

Sendo a duração do tempo de reverberação dependente dos materiais envolventes (construtivos e de revestimento) e do recheio da compartimentação, a melhoria das condições acústicas do espaço pode ser conseguida à custa da adoção de materiais com uma absorção sonora adequada ao local e ao tipo de utilização. Em função do volume do espaço e para o tipo de utilização específica, são mostrados na Figura 2.4 alguns valores de tempo de reverberação aconselhados para a banda de frequências de 500 Hz, de alguns recintos.

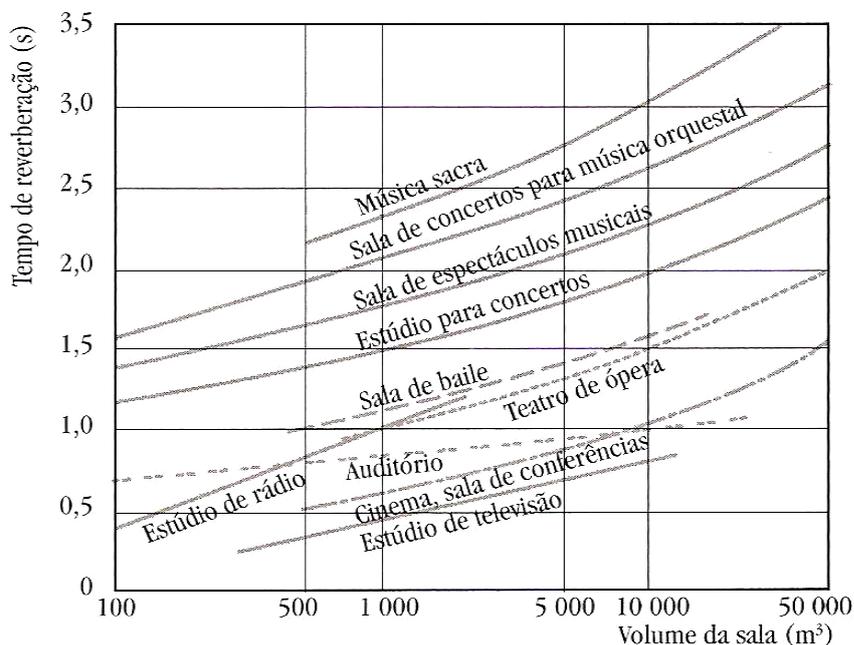


Figura 2.4 – Valores de tempo de reverberação aconselhados para diferentes tipos de recintos, na frequência de 500 Hz (Patrício, 2010)

A medição do valor deste parâmetro, pode ser efetuada com recurso a um gerador de ruído, que juntamente com um sonómetro ou um analisador, realizará a análise para as diversas bandas de frequência.

Para a estimação do seu valor, é frequente utilizarem-se fórmulas para a sua determinação por bandas de frequência, como por exemplo as fórmulas de Sabine e Millington – equações (3) e (4) (Patrício, 2010g). Estas fórmulas, têm em conta o volume do compartimento, V , a área da superfície envolvente exposta, S , e o coeficiente de absorção sonora dos diversos elementos construtivos, de revestimento e de recheio do local, α . A fórmula de Sabine recorre ao coeficiente de absorção médio do compartimento, para cada banda de frequências, já a de Millington considera os coeficientes de absorção sonora α_i , das áreas parciais S_i , expostas.

$$T_r = \frac{0,161V}{S \bar{\alpha}} \quad (3)$$

$$T_r = - \frac{0,161V}{\sum_i S_i \ln(1-\alpha_i)} \quad (4)$$

De notar que a fórmula de Sabine deixa de ser válida quando existem zonas na envolvente, consideravelmente mais absorventes que outras, pois não se considera um campo sonoro difuso neste caso.

2.2.4 Aparelhos de medição

Existem diversos tipos de aparelhos, capazes de medir pressão sonora e vibrações mecânicas. Ainda que a diversidade possa ser alargada, todos eles têm três partes essenciais (Tadeu et al, 2010g):

- o transdutor, que pode ser um microfone no caso de medições de nível sonoro, ou um acelerómetro no caso da medição de vibrações mecânicas;
- o condicionador, que tem a capacidade de amplificar ou reduzir o sinal recebido;
- o dispositivo de leitura de sinal, tratamento e análise.

Destes aparelhos distinguem-se aqueles que permitem a medição da pressão sonora, nomeadamente os sonómetros (Figura 2.5) e os dosímetros (Figura 2.6), e aqueles que medem intensidades sonoras, as sondas de intensidade (Figura 2.7).



Figura 2.5 – Exemplos de sonómetros (Tadeu *et al.*, 2010)



Figura 2.6 – Exemplos de dosímetros (Tadeu *et al.*, 2010)



Figura 2.7 – Exemplos de sondas de intensidade (Tadeu *et al.*, 2010)

Existem ainda aparelhos capazes de medir simultaneamente pressão e intensidade sonoras mas também vibrações mecânicas no caso de o transdutor ser um acelerómetro, os analisadores em paralelo (Figura 2.8). Estes aparelhos podem medir em espectros de frequência em bandas de oitava até $1/n$ oitava.



Figura 2.8 – Analisadores em paralelo (Tadeu *et al.*, 2010)

Além dos aparelhos de medição, existem ainda equipamentos emissores de ruído aéreo (Figura 2.9) e de percussão (Figura 2.10).

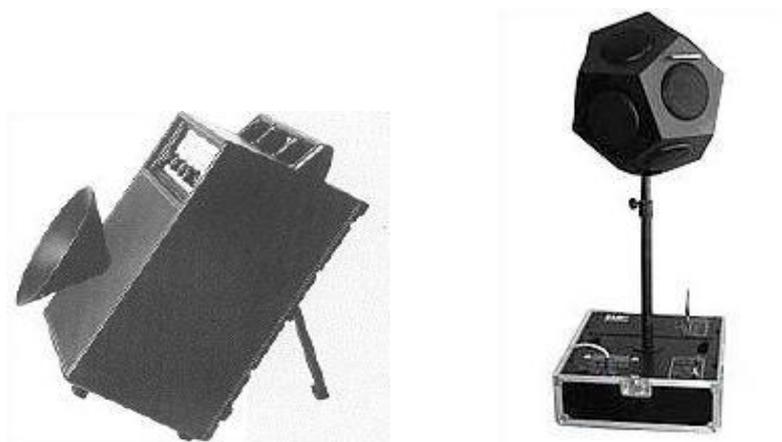


Figura 2.9 – Equipamentos emissores de ruído aéreo (Tadeu *et al.*, 2010)



Figura 2.10 – Máquina de percussão normalizada (Tadeu *et al.*, 2010)

2.3 Isolamento a sons de percussão

Os sons de percussão são o resultado de uma ação de choque exercida diretamente sobre um elemento construtivo que define uma compartimentação. A sua propagação é facilitada pela rigidez dos elementos, massa, amortecimento interno, bem como pelas ligações entre materiais. São exemplo deste tipo de ações, o arrastar de móveis, deslocação de pessoas, máquinas em funcionamento e qualquer outra atividade que tenha um impacto direto não só nas paredes, mas principalmente no pavimento de um compartimento (Figura 2.11). Estas ações poderão gerar condições de desconforto acústico, tanto nos compartimentos situados de forma adjacente àquele onde ocorreu a ação (segundo as direções vertical e horizontal), mas também em locais mais afastados da origem onde poderá ainda verificar-se um campo sonoro com alguma intensidade.

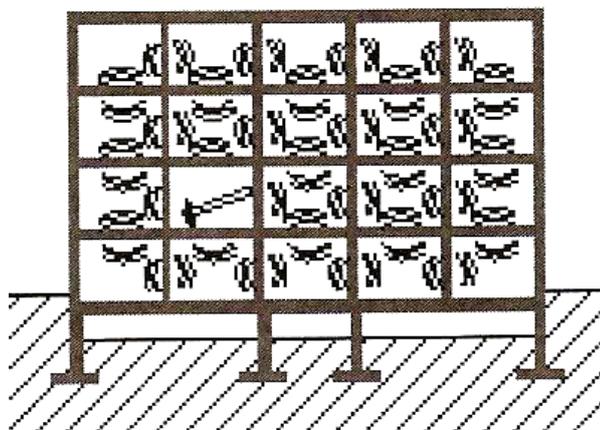


Figura 2.11 – Propagação de sons de percussão na compartimentação de um edifício (Mendes *et al.*, 2012)

A transmissão de sons de percussão entre compartimentos, pode efetuar-se por via direta ou indireta (Figura 2.12). No primeiro caso, a transmissão dá-se diretamente através do elemento percutido, o pavimento, devido à ação de impacto aplicada sobre ele. No caso da transmissão indireta ou marginal, a transmissão de sons de percussão ocorre através dos elementos adjacentes ao pavimento, as paredes.

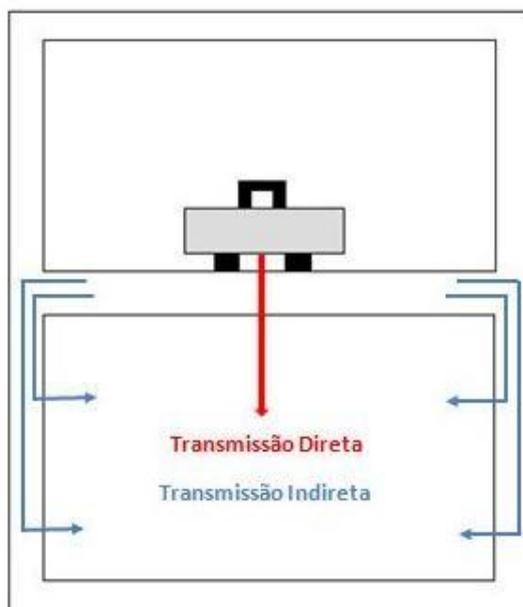


Figura 2.12 – Transmissão de sons de percussão, pelas vias direta e marginal

O isolamento a sons de percussão dos pavimentos, é um dos aspetos mais importantes no âmbito do conforto acústico de edifícios. Existem vários métodos de caracterização deste isolamento, nomeadamente métodos de medição e métodos de estimação ou projeto que, sob a forma de um índice, caracterizam o desempenho acústico de um elemento horizontal de compartimentação. Este parâmetro, designado por índice de isolamento sonoro a sons de percussão pela legislação aplicável, assumirá um valor tanto mais baixo, quanto melhor for o desempenho do elemento da solução construtiva. O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) é o documento que estabelece, consoante o tipo de utilização dos edifícios, os limites referentes a este índice e que satisfazem as exigências funcionais e de qualidade dos edifícios.

As normas europeias aplicáveis, tanto no que se refere à caracterização *in situ* de elementos de construção em termos de isolamento a sons de percussão, como para aplicação em projeto, são apresentadas nas subsecções seguintes.

2.3.1 Isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão

A norma NP EN ISO 140-7, estabelece um método para a medição, *in situ*, do isolamento a sons de percussão de um pavimento, recorrendo a uma máquina de percussão normalizada. Esta norma é aplicável tanto a pavimentos revestidos, como sem revestimento. A aplicação do procedimento experimental, consiste em colocar uma máquina de percussão normalizada num compartimento emissor, que ao atuar sobre o pavimento produz um dado nível sonoro num compartimento recetor. Esse nível sonoro é medido, no domínio da frequência, com recurso a um microfone no recetor, permitindo assim, posteriormente, caraterizar o desempenho acústico dos elementos de compartimentação. A Figura 2.13 ilustra o procedimento realizado, sendo que a configuração mostrada poderá variar, isto é, os compartimentos poderão não estar na vertical, a percussão pode ser realizada no pavimento do compartimento inferior ou poderá mesmo existir outra compartimentação entre o emissor e o recetor.

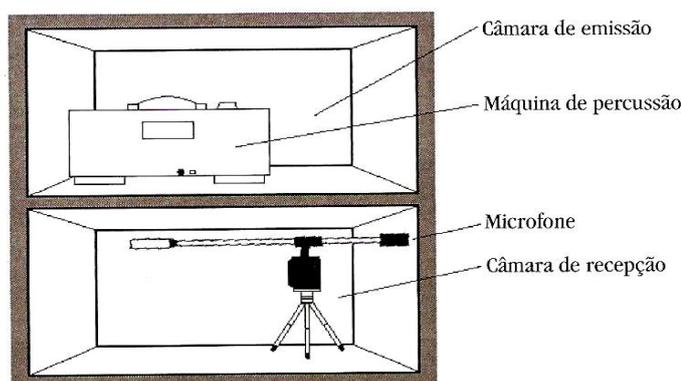


Figura 2.13 – Representação esquemática do procedimento de ensaio para medição do isolamento a sons de percussão em pavimentos (Patrício, 2010)

As medições *in situ*, devem ser efetuadas por bandas de terço de oitava, salvo acordo prévio para a sua realização em bandas de oitava, tendo pelo menos, segundo a norma NP EN ISO 140-7, as seguintes frequências centrais, em hertz (Quadro 2.2):

Frequências Centrais em Hz (1/3 de oitava)	100	125	160	250	315	400	500	630
	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	

Quadro 2.2 – Frequências centrais, em bandas de terço de oitava, consideradas para medições *in situ*

Para a caracterização do isolamento a sons de percussão, a referida norma define dois parâmetros, que permitem avaliar o nível de pressão sonora no domínio da frequência para medições a realizar no local. Define-se assim o nível de pressão sonora, normalizado, de percussão L'_n , que é dado por:

$$L'_n = L_i + 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right) \quad (5)$$

sendo L'_n o nível de pressão sonora médio normalizado, no compartimento recetor em dB; L_i o nível de pressão sonora médio, na frequência i , medido no compartimento recetor, em dB; A a área de absorção sonora equivalente do compartimento de receção, em m^2 ; A_0 a área de absorção sonora equivalente de referência, usualmente igual a $10 m^2$. A área de absorção equivalente, A , pode ser determinada com base no tempo de reverberação, T , em segundos, e no volume, V , do compartimento recetor, em m^3 , de acordo com a fórmula de Sabine:

$$A = \frac{0,16 V}{T} \quad (6)$$

A norma define também o nível de pressão sonora, padronizado, de percussão L'_{nT} , dado por:

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (7)$$

onde L'_{nT} representa o nível de pressão sonora médio padronizado, no compartimento recetor em dB; L_i corresponde ao nível de pressão sonora médio, na frequência i , medido no compartimento recetor, em dB; T corresponde ao tempo de reverberação do compartimento de receção, em segundos; T_0 o tempo de reverberação médio de referência, em segundos, igual a 0,5 no caso de habitações ou ao requisito de dimensionamento aplicável.

O cálculo do nível de pressão sonora médio, normalizado ou padronizado, permite caracterizar o desempenho acústico de elementos de compartimentação em termos de isolamento, para cada frequência, quando sujeitos a uma ação de percussão. Refira-se que quanto maior o valor obtido, pior é o desempenho acústico em termos de isolamento, que o elemento confere.

2.3.2 Determinação do índice de isolamento sonoro a sons de percussão

Para além da avaliação do isolamento sonoro, para cada banda de frequências, a norma EN ISO 717-2 permite efetuar a quantificação do isolamento a sons de percussão de um elemento construtivo à custa de um índice único. Este índice é obtido, ajustando uma curva convencional de referência constante na referida norma (Quadro 2.3), à curva dos níveis de pressão sonora médios, L'_n ou L'_{nT} , obtidos nas medições para cada banda frequência.

Frequência (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Valores de referência: 1/3 oitava (dB)	62	62	62	62	62	62	61	60	59	58	57	54	51	48	45	42
Valores de referência: oitava (dB)	-	67	-	-	67	-	-	65	-	-	62	-	-	49	-	-

Quadro 2.3 – Curva dos valores de referência para sons de percussão, para bandas de frequência com largura de oitava e de terço de oitava

O ajustamento da curva de referência realiza-se, por patamares de 1 dB, relativamente à curva dos valores medidos, de modo que a soma dos desvios desfavoráveis seja o mais próximo possível de 32,0 dB, no caso de medições em bandas de terço de oitava, mas inferior a este valor. Um desvio é considerado desfavorável, numa determinada banda de frequências, quando o valor medido é superior ao valor de referência. O valor do índice de isolamento sonoro $L'_{n,w}$ ou $L'_{nT,w}$, para medições L'_n ou L'_{nT} , respetivamente, corresponderá ao valor, em dB, da ordenada da curva de referência correspondente à banda de frequências de 500 Hz, após o ajuste das duas curvas.

Para medições em bandas de oitava, o processo de ajustamento das curvas é idêntico, mas a soma dos referidos desvios deverá ser inferior a 10,0 dB, mas o mais próximo possível desse valor. O valor do índice de isolamento, $L'_{n,w}$ ou $L'_{nT,w}$, corresponderá ao valor, em dB, da ordenada da curva de referência correspondente à banda de frequências de 500 Hz, deduzido de 5 dB.

A Figura 2.14, exemplifica o ajustamento da curva de referência, a uma curva descritiva dos níveis de pressão sonora médios, L'_n , e respetiva ordenada da curva de referência após ajustamento, correspondente aos 500 Hz, que define o índice de isolamento a sons de percussão, $L'_{n,w}$:

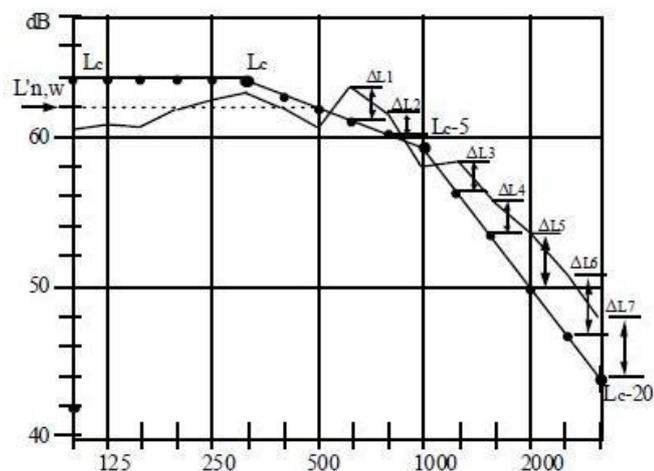


Figura 2.14 – Exemplo de ajustamento de uma curva de medição de níveis de pressão sonora médios, à curva convencional de referência de acordo com a norma EN ISO 717-2 (Tadeu et al, 2010)

2.3.3 Determinação do índice de redução sonora a sons de percussão, conferido por revestimentos de piso

A norma EN ISO 717-2 estabelece ainda uma metodologia de cálculo, para obtenção do índice de redução sonora a sons de percussão, ΔL_w , conferido por revestimentos de piso, calculado com base em ensaios realizados em pavimento revestido e não revestido.

O cálculo deste índice, deve ser efetuado de acordo com os seguintes passos (Domingues, 2008a):

- A redução sonora, no domínio da frequência, para os sons de percussão (melhoria do isolamento sonoro), ΔL , deve ser obtida pela diferença entre o nível de pressão sonora normalizado, do pavimento de ensaio não revestido, $L_{n,0}$, e o nível de pressão sonora, normalizado, com o revestimento de piso a ensaiar, L_n , de acordo com:

$$\Delta L = L_{n,0} - L_n \quad (8)$$

- Segue-se a determinação dos valores do nível de pressão sonora, normalizado, $L_{n,r}$, no domínio da frequência, devido à ação de percussão, calculados para o pavimento de referência constante na norma, de acordo com:

$$L_{n,r} = L_{n,r,0} - \Delta L \quad (9)$$

em que $L_{n,r,0}$ corresponde ao nível de pressão sonora, normalizado, devido a uma excitação de impacto também normalizada, sobre um pavimento de referência sem o revestimento de piso aplicado, de acordo com o Quadro 2.4.

Frequência (Hz)	$L_{n,r,0}$ (dB)
100	67
125	67,5
160	68
200	68,5
250	69
315	69,5
400	70
500	70,5
630	71
800	71,5
1000	72
1250	72
1600	72
2000	72
2500	72
3150	72

Quadro 2.4 – Nível de pressão sonora normalizado, devido a uma excitação de impacto num pavimento de referência, sem revestimento aplicado

O pavimento de referência é uma idealização teórica linear do nível de pressão sonora, devido a uma ação de percussão normalizada, exercida sobre um pavimento de betão, homogéneo, com 120 mm de espessura e com um nível de pressão sonora constante de 72 dB, a partir da frequência central de 1000 Hz, inclusive.

Pelo processo de ajustamento da curva convencional de referência para sons de percussão, à curva dos valores do nível de pressão sonora, normalizado, do pavimento de referência definidos no Quadro 2.4, obtém-se um índice de isolamento sonoro a sons de percussão do pavimento de referência, $L_{n,r,0,w}$, de 78 dB.

- O índice de redução sonora a sons de percussão, ΔL_w , é dado por:

$$\Delta L_w = L_{n,r,0,w} - L_{n,r,w} \quad (10)$$

$$\Delta L_w = 78 - L_{n,r,w} \quad (11)$$

em que $L_{n,r,w}$ corresponde ao índice de isolamento sonoro, normalizado, ao ruído de percussão, do pavimento de referência com o revestimento de ensaio, obtido pelo ajustamento das curvas, em frequência, que definem $L_{n,r}$ e $L_{n,r,0}$, demonstradas anteriormente.

2.3.4 Previsão do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, em projeto

A norma EN 12354-2 apresenta dois modelos de cálculo, que permitem efetuar uma estimativa do isolamento sonoro dos edifícios, a partir das características de isolamento dos elementos de construção. Os modelos, um detalhado e outro simplificado, são aplicáveis a edifícios de habitação e a outros cujos elementos de construção sejam semelhantes àqueles.

O modelo detalhado é mais rigoroso e complexo, permitindo determinar as características de isolamento sonoro entre dois compartimentos, por bandas de oitava ou de terços de oitava, com base no nível de pressão sonora, normalizado, L_n , e de redução sonora ΔL , obtidos em laboratório. É possível avaliar com este modelo, tanto a transmissão por via direta, ou seja, através do elemento de separação percutido, como por via indireta ou marginal, que ocorre pelos elementos adjacentes ao que sofreu a ação de percussão. Este modelo é aplicável no caso da transmissão de cima para baixo, bem como na transmissão lateral conduzindo, neste último caso, a resultados muito conservadores.

O método simplificado constante nesta norma, que no contexto deste trabalho importa referir, foi deduzido a partir do método detalhado e é de muito mais fácil aplicação. Permite efetuar uma estimativa do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, normalizado, $L'_{n,w}$, atendendo à massa dos elementos construtivos e à redução sonora, obtida em laboratório, conferida por revestimentos de piso. Este modelo é usado em situação de projeto, para estimar a transmissão direta entre compartimentos, de um piso superior para um piso inferior, deixando de fora a transmissão de baixo para cima e lateral. Este método é aplicável a compartimentação sobreposta com dimensões semelhantes a habitações, com construções homogêneas, em alvenaria e/ou betão, revestimentos colocados sobre pavimentos homogêneos ou com soluções em pavimento flutuante (Domingues, 2008b).

O modelo propõe que a estimativa do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, normalizado, seja realizada de acordo com:

$$L'_{n,w} = 164 - 35 \log \left(\frac{m'}{m'_0} \right) - \Delta L_w + K \quad (12)$$

onde m' é a massa superficial do pavimento (em kg/m^2); m'_0 corresponde à massa superficial de referência, com o valor de 1 kg/m^2 ; ΔL_w é o índice de redução sonora devido à existência de revestimento de piso; e K é a correção devido à existência de transmissão marginal, em dB, que se obtém pelo Quadro 2.5, constante na referida norma, a qual depende da massa superficial do pavimento (kg/m^2) e da massa superficial média dos elementos adjacentes.

Massa superficial do pavimento (kg/m^2)	Massa superficial média dos elementos marginais (paredes), homogêneos e não revestidos (kg/m^2)								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	1	0	0	0	0	0	0	0	0
150	1	1	0	0	0	0	0	0	0
200	2	1	1	0	0	0	0	0	0
250	2	1	1	1	0	0	0	0	0
300	3	2	1	1	1	0	0	0	0
350	3	2	1	1	1	1	0	0	0
400	4	2	2	1	1	1	1	0	0
450	4	3	2	2	1	1	1	1	1
500	4	3	2	2	1	1	1	1	1
600	5	4	3	2	2	1	1	1	1
700	5	4	3	3	2	2	1	1	1
800	6	4	4	3	2	2	2	1	1
900	6	5	4	3	3	2	2	2	2

Quadro 2.5 – Correção do valor do índice de isolamento a sons de percussão, devido à transmissão indireta ou marginal, em dB

3 ENSAIOS REALIZADOS *IN SITU*

3.1 Introdução

Os ensaios experimentais realizados neste trabalho, foram efetuados no Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. O edifício é constituído por 4 pisos, um deles em cave, contendo inúmeras salas de aula, laboratórios e várias instalações de apoio. Os ensaios realizados têm o objetivo de avaliar e comparar os casos de transmissão de sons de percussão entre compartimentos do mesmo piso, de baixo para cima e de cima para baixo. Os compartimentos onde foram realizados os ensaios, correspondem a algumas salas de aula do edifício e a uma câmara acústica, sendo todos eles adjacentes. A norma NP EN ISO 140-7 dedicada à medição *in situ* do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão, serviu de base à realização dos ensaios descritos neste capítulo.

3.2 Compartimentos de ensaio

No edifício em causa, as paredes de fachada são revestidas por uma solução de revestimento delgado armado sobre isolante, conhecida por ETICS, assente sobre paredes de betão maciço, com cerca de 20 cm de espessura. Nas salas de aula onde se realizaram os ensaios, uma das paredes corresponde à fachada do edifício e as restantes a paredes de separação entre salas de aula ou corredor adjacente. São constituídas por alvenaria de tijolo de 20 cm de espessura, com 1,5 a 2 cm de revestimento em cada face. A separação entre o terceiro e segundo piso é feita por uma laje de betão aligeirada, com blocos de betão de 20 cm, nervuras maciças, cerca de 5 cm de camada de compressão em betão e 4 a 5 cm de enchimento. Já a laje de separação entre o segundo e primeiro piso é de betão, maciça, com cerca de 20 cm de espessura mais enchimento. As salas contêm mesas e cadeiras em madeira distribuídas na área disponível, janelas que ocupam a maior parte da parede de fachada, duas portas e o revestimento de piso existente é em parquet de madeira. Na Figura 3.1 é feita uma representação esquemática dos compartimentos de ensaio e no Quadro 3.1 constam os dados relativos às suas dimensões.

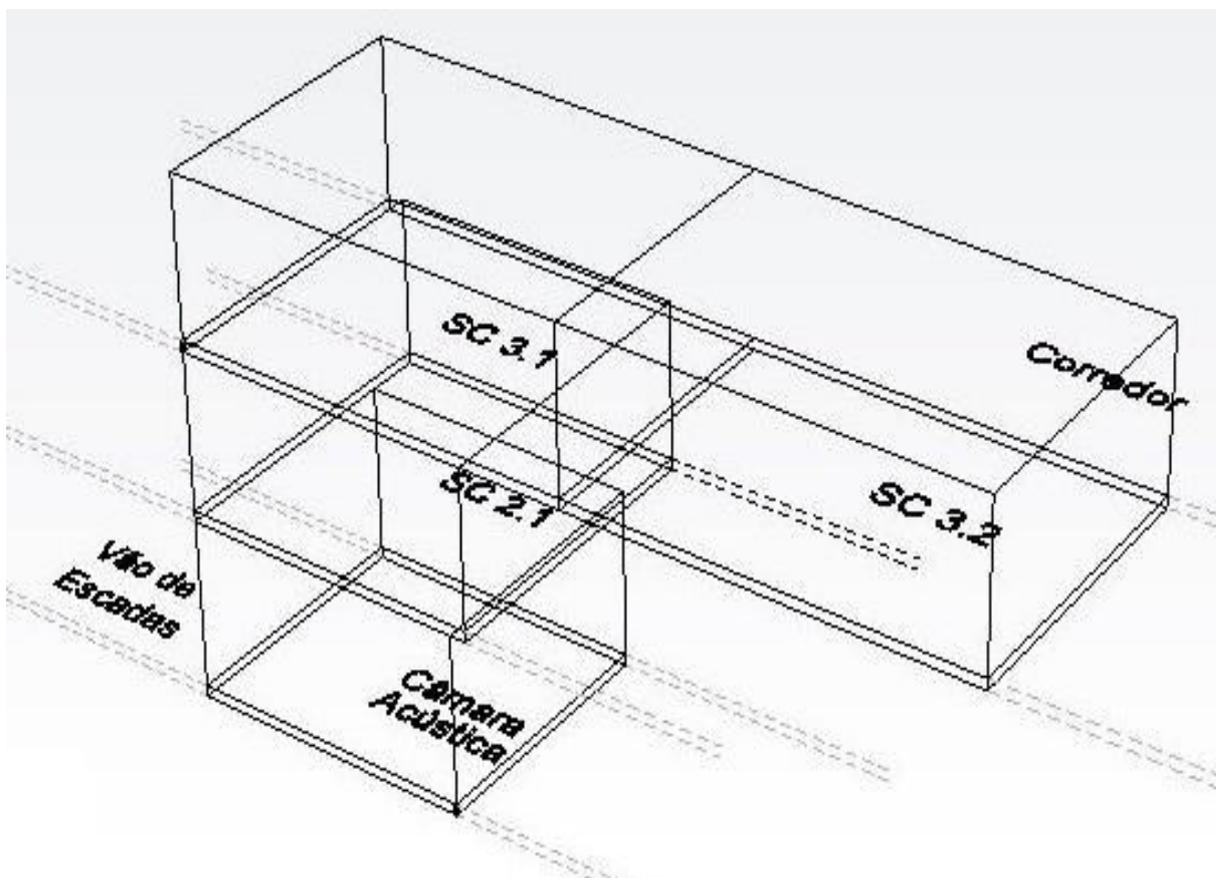


Figura 3.1 – Representação esquemática dos compartimentos de ensaio

Designação	Piso	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
Câmara acústica	1	6,2 (média)	5,4 (média)	3,33 (média)	33,4	111
SC2.1	2	6,55	6,54	3,10	42,8	132,69
SC 3.1	3	8,8	6,11	3,15	53,7	169,2
SC 3.2	3	8,8	6,11	3,15	53,7	169,2

Quadro 3.1 – Definição e dimensões dos compartimentos de ensaio

Os casos de transmissão de sons de percussão abordados neste trabalho, contemplam quatro situações: transmissão de cima para baixo entre compartimentos adjacentes de um piso superior para um piso inferior; novamente transmissão de cima para baixo, mas desta vez entre compartimentos separados por um piso; transmissão de um piso inferior para um compartimento sobrejacente; e por fim o caso de transmissão entre compartimentos adjacentes

do mesmo piso. No Quadro 3.2, especificam-se os compartimentos considerados no estudo dos vários sentidos de transmissão.

Compartimentos emissor/recetor	Sentido de transmissão do ruído de percussão
SC 2.1 – Câmara acústica	Transmissão de um piso superior para um piso inferior, entre dois compartimentos adjacentes, na vertical – transmissão descendente
SC 3.1 – SC 2.1	Transmissão de um piso superior para um piso inferior, entre dois compartimentos adjacentes, na vertical – transmissão descendente
SC 3.1 – Câmara acústica	Transmissão de um piso superior para um piso inferior, entre dois compartimentos intercalados por outro, dispostos na vertical – transmissão descendente com piso intermédio
SC 2.1 – SC 3.2	Transmissão de um piso inferior para um piso superior, entre dois compartimentos adjacentes, dispostos na vertical – transmissão ascendente
SC 3.2 – SC 3.1	Transmissão entre compartimentos do mesmo piso, horizontal – transmissão lateral

Quadro 3.2 – Sentidos de transmissão de sons de percussão, considerados neste trabalho

3.3 Condições de ensaio

De acordo com a norma NP EN ISO 140-7 para ensaios realizados *in situ*, a máquina de percussão normalizada usada como fonte de ruído, deve satisfazer os requisitos constantes no anexo A dessa norma. A Figura 3.2, mostra o aparelho usado nos ensaios acústicos realizados como fonte sonora, colocado no compartimento emissor.

Para cada um dos revestimentos de piso em ensaio, nos sentidos descendente e ascendente, este equipamento foi colocado em 4 posições aleatórias no compartimento. Para cada uma delas, foram realizadas 2 medições do nível sonoro no compartimento recetor, perfazendo um total de 8 medições para cada revestimento em ensaio. No caso da transmissão lateral, ou seja, para compartimentos do mesmo piso, a máquina de percussão foi colocada igualmente em 4 posições, tendo uma delas coincidido com o centro. Nesta situação, foram realizadas igualmente 2 medições do nível sonoro no compartimento recetor, para cada posição da máquina de percussão na sala emissora.



Figura 3.2 – Máquina de percussão utilizada nos ensaios *in situ*

Em qualquer dos casos, a distância mínima de 0,5 m entre a máquina e os limites do compartimento exigida pela norma, foi respeitada.

Para medição do nível sonoro foi colocado, no compartimento recetor, um microfone (Figura 3.3), apoiado num tripé e ligado a um computador para registo dos níveis sonoros verificados nos ensaios.



Figura 3.3 – Microfone de medição do nível sonoro, utilizado nos ensaios *in situ*

Este aparelho foi colocado em posições aleatórias no compartimento recetor realizando, como já referido, 2 medições para cada uma das 4 posições da máquina de percussão. Foram respeitadas as distâncias mínimas de 0,7 m entre posições do microfone e de 0,5 m entre o microfone e as fronteiras do compartimento, exigidas pela norma em uso. A duração de cada medição, foi de cerca de 10 segundos.

3.4 Soluções de revestimentos de piso testadas

Do ponto de vista do desempenho e conforto acústico em edifícios, a colocação de revestimentos de piso em pavimentos, procura atenuar a transmissão de sons de percussão devida a impactos ou choques que ocorram no pavimento. Nos ensaios realizados, foram testados alguns tipos de revestimentos, de forma a avaliar a redução sonora por eles conferida, ou seja, a melhoria no isolamento acústico entre compartimentos de edifícios.

Foram ensaiados dois tipos de revestimentos flexíveis e três sistemas flutuantes (um deles testado apenas para o caso de transmissão entre a sala SC 2.1 e a Câmara Acústica), colocados sobre o *parquet* pré-existente nas salas. No primeiro caso foram usados dois vinílicos e no segundo caso foram ensaiados sistemas flutuantes constituídos por régua de madeira de encaixe tipo macho/fêmea, colocadas sobre camadas resilientes.

As Figuras 3.4 e 3.5, mostram os vinílicos em ensaio, designados comercialmente por “Vinílico Tarkett Tapiflex Excellence” e “Vinílico Sarlon Canyon” respetivamente, apresentando uma espessura de 3 a 4 mm.



Figura 3.4 – “Vinílico Tarkett Tapiflex Excellence”



Figura 3.5 – “Vinílico Sarlon Canyon”

No que se refere aos sistemas flutuantes, ensaiaram-se as seguintes soluções:

- Pavimento flutuante com painéis compostos de madeira e cortiça, com cerca de 7 mm e 2 mm de espessura, respetivamente (Figura 3.6)
- Pavimento flutuante em madeira com cerca de 1 cm de espessura, assente sobre membrana de polietileno reticulado de célula fechada, com cerca de 5 mm de espessura (Figura 3.7)
- Pavimento flutuante em madeira com cerca de 1 cm de espessura, assente em camada de aglomerado de borracha com espessura de 4,5 mm (Figura 3.8).



Figura 3.6 – Pavimento com painéis compostos de madeira e cortiça



Figura 3.7 – Pavimento flutuante em madeira e membrana de polietileno reticulado de célula fechada



Figura 3.8 – Pavimento flutuante em madeira e aglomerado borracha

Aos vários revestimentos de piso ensaiados foram atribuídas as designações constantes no Quadro 3.3, a fim de facilitar o tratamento e análise dos resultados obtidos nos ensaios. Apresentam-se ainda no mesmo quadro, os valores dos índices de redução sonora conferidos por cada um dos revestimentos, fornecidos pelo fabricante, no caso dos vinílicos, ou já testados em laboratório para situações anteriores, no caso dos sistemas flutuantes.

Designação	Revestimento de piso	ΔL_w (dB)
S0	Sem Revestimento (parquet pré-existente)	0
S1	Vinílico Tarkett Tapiflex Excellence	19
S2	Vinílico Sarlon Canyon	15
S3	Pavimento flutuante com painéis compostos de madeira e cortiça	16
S4	Pavimento flutuante em madeira com membrana de polietileno reticulado de célula fechada	21
S5	Pavimento flutuante em madeira e aglomerado de borracha	19

Quadro 3.3 – Revestimentos de piso ensaiados (com valores de ΔL_w fornecidos pelo fabricante e anteriormente ensaiados em laboratório)

3.5 Medição do tempo de reverberação

Na medição do tempo de reverberação nos compartimentos recetores, foi utilizado um método impulsivo. Imediatamente após o pico de ruído gerado, o sistema de aquisição realizou o registo do tempo necessário para um decaimento de 20 dB, o qual é automaticamente extrapolado para os 60 dB. Na medição deste parâmetro, foram realizadas 6 leituras, fazendo variar a posição da fonte e do microfone.

3.6 Medição do ruído de fundo

A medição do ruído de fundo no compartimento recetor, é efetuada com o objetivo de assegurar que não se verifiquem ruídos perturbadores que influenciem as medições do nível sonoro, devido à ação de percussão.

Nos ensaios realizados, o ruído de fundo medido deveu-se essencialmente à passagem de veículos no exterior do edifício, cuja fachada é uma das paredes das salas de aula ensaiadas, ou à passagem de pessoas pelo corredor adjacente. As correções devidas à presença de ruído de fundo, efetuam-se nas seguintes condições:

- Se a diferença entre o nível sonoro produzido pelo ruído de fundo e o nível sonoro correspondente à fonte e ao ruído de fundo combinados, for superior ou igual a 10 dB, não é necessário realizar qualquer correção;

- Se a diferença entre esses dois níveis, for inferior a 10 dB, mas superior a 6 dB, a correção é efetuada de acordo com:

$$L = 10 \log \left(10^{\frac{L_{sb}}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}} \right) \quad (15)$$

em que L corresponde ao nível sonoro corrigido, em dB; L_{sb} é o nível do sinal e do ruído de fundo combinados, em dB; e L_b corresponde ao nível do ruído de fundo, também em dB;

- Se a diferença entre os dois níveis referidos, se verificar inferior ou igual a 6 dB, a correção é efetuada subtraindo o valor de 1,3 dB ao nível sonoro medido com a fonte em funcionamento, devendo ser sempre assinaladas as situações onde tal acontece.

4 METODOLOGIAS SIMPLIFICADAS DE PREVISÃO E SIMULAÇÃO COM *SOFTWARE*

4.1 Introdução

Além do conjunto de ensaios realizados *in situ* descritos no capítulo anterior, foi aplicado neste estudo um método simplificado recentemente proposto (Mateus e Pereira, 2012), para previsão do índice de isolamento sonoro a sons de percussão. Em fase de projeto, a norma EN 12354-2 é usada como ferramenta de previsão da transmissão no sentido descendente, mas a sua aplicação no caso da transmissão de um piso inferior para um superior e entre compartimentos do mesmo piso, em que a transmissão ocorre apenas por via indireta, é difícil e limitada. Este tipo de transmissão é muitas vezes desprezada em fase de projeto, levando com frequência ao incumprimento dos requisitos acústicos regulamentares.

Esta nova metodologia, baseada na norma referida anteriormente, procura colmatar a dificuldade na quantificação desse tipo de transmissão e assumir-se como uma ferramenta importante de previsão do desempenho acústico de soluções construtivas, em fase de projeto. Resulta de vários estudos efetuados pelos autores nos últimos anos e numa campanha de ensaios realizados *in situ* em edifícios correntes, de uso misto (habitação em pisos superiores e comércio e/ou serviços no R/C), onde o recetor considerado foram os quartos de habitação.

Recorrendo ao programa *Acoubat Sound*, foram também simuladas as condições *in situ* e quantificada a transmissão sonora entre compartimentos.

Os resultados obtidos com aplicação da nova metodologia e a simulação com *software*, foram posteriormente analisados e comparados com os resultados obtidos *in situ*.

4.2 Metodologias de cálculo simplificadas de previsão

4.2.1 Transmissão descendente

A previsão do isolamento a sons de percussão em projeto, realizada com recurso à norma EN 12354-2, consiste na aplicação da Equação 12, já demonstrada anteriormente, que determina o valor do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, normalizado:

É proposto que nesta expressão, a constante 164 apresentada na norma, seja substituída pelo valor 169, por se verificar que com a utilização do primeiro valor, os resultados obtidos são mais favoráveis em cerca de 5 dB. A mais recente versão do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), considera o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado, pelo que a expressão anterior resulta em:

$$L'_{nT,w} = 169 - 35 \log \left(\frac{m'}{m'_0} \right) - \Delta L_w + K - 10 \log \left(\frac{0,016 V}{T_0} \right) \quad (17)$$

em que V representa o volume do compartimento recetor, em m^3 e T_0 corresponde ao tempo de reverberação médio de referência em segundos, igual a 0,5 no caso de habitações ou ao requisito aplicável.

4.2.2 Transmissão ascendente

Para avaliação da transmissão sonora de um piso inferior para um compartimento de um piso superior, designada de transmissão ascendente no referido trabalho, foram efetuados estudos em 48 edifícios, tendo sido obtidos resultados experimentais para 60 situações. Os edifícios avaliados são considerados “correntes” (de estrutura porticada e lajes em betão armado), com cave, R/C de comércio e/ou serviços e quartos (de área inferior a $20 m^2$) ou salas de habitações no piso sobrejacente. As lajes dos edifícios em estudo, maciças ou aligeiradas, apresentavam revestimento cerâmico ou de pedra, de foi considerado que o índice de redução sonora a sons de percussão era nulo. As paredes interiores eram do tipo simples apresentando tijolo de 11 cm ou 15 cm, já as paredes exteriores eram duplas, em blocos de betão 10+15 cm, ou em alvenaria de tijolo 11+11 cm ou 11+15 cm.

A proposta para determinação do índice de isolamento a sons de percussão em fase de projeto, consiste na aplicação da Equação 18, onde as dimensões intervenientes se encontram exemplificadas na Figura 4.1.

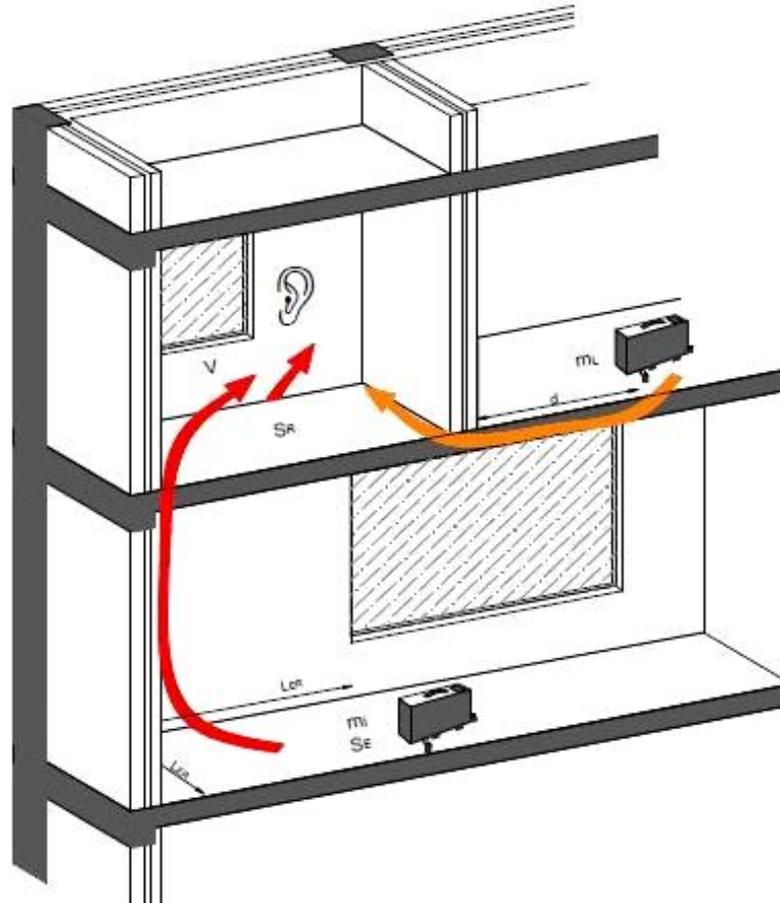


Figura 4.1 – Esquema da transmissão indireta de ruídos de percussão (Mateus e Pereira, 2012)

$$L'_{nT,w} = L'_{n,w_0} - 10 \log \left(\frac{0,016 V}{T_0} \right) - \Delta L'_w \quad (18)$$

com
$$L'_{n,w_0} = 76 - 10 \log(m_i) + 5 \log \left(\frac{L_{ER}}{S_E} \right) + 10 \log(S_R)$$

e
$$\Delta L'_w = k \times \Delta L_w$$

em que,

$$\begin{aligned} k &= 0,8 \text{ a } 0,9 \text{ se } L'_{n,w_0} \geq 57 \text{ dB} \\ k &= 0,7 \text{ a } 0,8 \text{ se } 56 \geq L'_{n,w_0} \geq 52 \text{ dB} \\ k &= 0,6 \text{ a } 0,7 \text{ se } L'_{n,w_0} \leq 51 \text{ dB} \end{aligned}$$

Nestas expressões, o parâmetro V representa o volume do compartimento recetor; T_0 refere-se ao tempo de reverberação médio de referência; m_i é a massa, em kg/m^2 , da laje de piso do compartimento inferior que foi percutido; S_E e S_R representam, respetivamente, as lajes dos pisos dos compartimentos emissor e recetor; L_{ER} corresponde ao comprimento total de junções

com continuidade nos compartimentos emissor e recetor; ΔL_w é o índice de redução da transmissão sonora de sons de percussão, conferida por revestimentos de piso ou de bases de piso, avaliado em laboratório no sentido descendente. É recomendado que o comprimento L_{ER} não seja considerado inferior a 1 metro. Deste modo, são tidas em conta as ligações rígidas entre pisos (devido a pilares ou outras paredes), mesmo quando não haja continuidade de paredes entre compartimento emissor e recetor. A área correspondente ao piso do compartimento emissor, S_E não deverá ser inferior a 100 m², sendo nesse caso considerada igual a esse valor.

A aplicação da expressão anterior aos casos de estudo, que levaram à formulação desta proposta pelos autores, conduziu a resultados médios que diferiam favoravelmente, em relação aos obtidos experimentalmente, cerca de 3 dB.

4.2.3 Transmissão Lateral

No caso da transmissão entre compartimentos do mesmo piso, designada por transmissão lateral pelos autores, foram levados a cabo um conjunto de ensaios em 20 edifícios, totalizando 30 casos de estudo, que permitiram a formulação de um método de previsão igualmente baseado na norma EN 12354-2, para este tipo de transmissão. Nesta situação, os edifícios em estudo eram maioritariamente habitacionais, havendo alguns de serviços. Em todos os casos, as lajes de ensaio eram em betão armado, maciças ou aligeiradas. Os revestimentos de piso eram, em 80% dos casos, rigidamente ligados à laje. Nos restantes casos, foram considerados índices de redução sonora, com valores na ordem dos 18 a 20 dB, consoante as soluções de revestimento existentes nesses casos. Os compartimentos em estudo para avaliação da transmissão lateral eram, não só adjacentes, mas também com compartimentos intermédios, embora com áreas pequenas (casas de banho, halls de entrada ou arrumos). Na equação proposta para estimação do índice de isolamento a sons de percussão no sentido lateral – equação 19 -, intervêm a massa (kg/m²) da laje de piso do compartimento onde foi realizada a ação de percussão, m_L , o índice de redução sonora conferido por revestimentos de piso avaliado em laboratório, ΔL_w , e a distância d entre a zona central da laje percutida e a parede mais próxima do compartimento recetor, de acordo com a Figura 5.1, apresentada anteriormente.

$$L'_{nT,w} = 123 - 20 \log(m_L) - 10 \log(d) - \Delta L_w \quad (19)$$

A aplicação desta equação, aos 30 casos estudados pelos autores para avaliação da transmissão lateral, levou a resultados com um desvio padrão de cerca de 3 dB, com resultados tendencialmente do lado da segurança.

4.3 Simulação com Software

Neste trabalho, além da realização de ensaios *in situ* e da aplicação de metodologias de previsão, foi também utilizado um *software* que permite efetuar uma simulação do fenómeno de transmissão sonora em edifícios, o *Acoubat Sound*. Este programa, de origem francesa, implementa os métodos de cálculo constantes na norma EN 12354, que permitem estimar a transmissão sonora, tanto para o caso de sons aéreos, como para o caso de sons de percussão. O programa possui uma vasta gama de elementos construtivos, (estruturais, alvenarias, revestimentos, etc.) que permitem, juntamente com a conceção de uma geometria adequada, simular e estimar as características acústicas de um dado projeto. Este programa permite também que sejam adicionados à sua base de dados, vários tipos de soluções construtivas personalizadas pelo utilizador. O uso do programa, no contexto deste trabalho, permitiu simular a geometria dos compartimentos estudados *in situ*, os elementos construtivos constituintes, bem como os revestimentos de piso em ensaio, obtendo-se o valor do índice de isolamento sonoro a sons de percussão entre compartimentos para cada situação simulada, para posterior comparação com os resultados obtidos experimentalmente e por metodologia simplificada de previsão. Este *software* tem a capacidade de simular a transmissão sonora entre compartimentos adjacentes, nos sentidos descendente e lateral, bem como na diagonal. Não permite no entanto simular os casos de transmissão ascendente, nem situações de transmissão entre compartimentos, com um piso pelo meio.

5 TRATAMENTO, ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

5.1 Introdução

Este capítulo é dedicado à análise, tratamento e comparação de resultados, obtidos tanto por via experimental, como com a aplicação de um modelo simplificado e *software*. A secção 5.2 inicia a análise dos ensaios sem qualquer revestimento de piso aplicado, para todas as situações de transmissão. São analisados comparativamente, os índices de isolamento obtidos nos casos de transmissão de baixo para cima e entre compartimentos do mesmo piso, face aos resultados obtidos nos ensaios de cima para baixo, também sem revestimento de piso em ensaio. Seguidamente são estudados os dados obtidos para cada um dos revestimentos de piso ensaiados onde, de modo idêntico ao caso anterior, se comparam as situações de transmissão de baixo para cima e lateralmente, face à transmissão de cima para baixo, para um mesmo revestimento de piso aplicado.

Apresentam-se ainda na mesma secção as curvas de redução sonora, em bandas de 1/3 de oitava, conferidas pelos revestimentos de piso aplicados, comparando a sua eficácia nas várias situações de transmissão aos valores fornecidos pelo fabricante. Por último, os quadros resumo apresentados para cada revestimento de piso individualmente, pretendem analisar de modo comparativo e em relação aos dados de fabricante, as reduções sonoras atingidas com a aplicação de cada solução de revestimento, face à situação S0; bem como os índices de redução sonora relativos ao pavimento de referência, calculados com recurso à norma EN ISO 717-2.

A secção 5.3 é dedicada à apresentação de resultados teóricos obtidos com a aplicação do modelo de previsão simplificado e do *software*, descritos no capítulo 4, sendo posteriormente comparados com resultados experimentais.

5.2 Apresentação e análise de resultados obtidos *in situ*

Os ensaios realizados *in situ*, tiveram como principal objetivo quantificar e perceber a influência da transmissão sonora que ocorre apenas por via indireta, nos ensaios de baixo para

cima e entre compartimentos do mesmo piso, face às situações de transmissão de cima para baixo. Neste estudo foram incluídos, como já antes referido, alguns revestimentos de piso nos compartimentos de emissão, por forma a poder avaliar o seu desempenho em termos de redução sonora, nas várias situações de transmissão.

A Figura 5.1 dá início à análise de resultados obtidos *in situ*, com a representação das curvas de isolamento sonoro obtidas, nas medições sem qualquer revestimento de piso aplicado no pavimento do compartimento emissor, para todas as situações de transmissão.

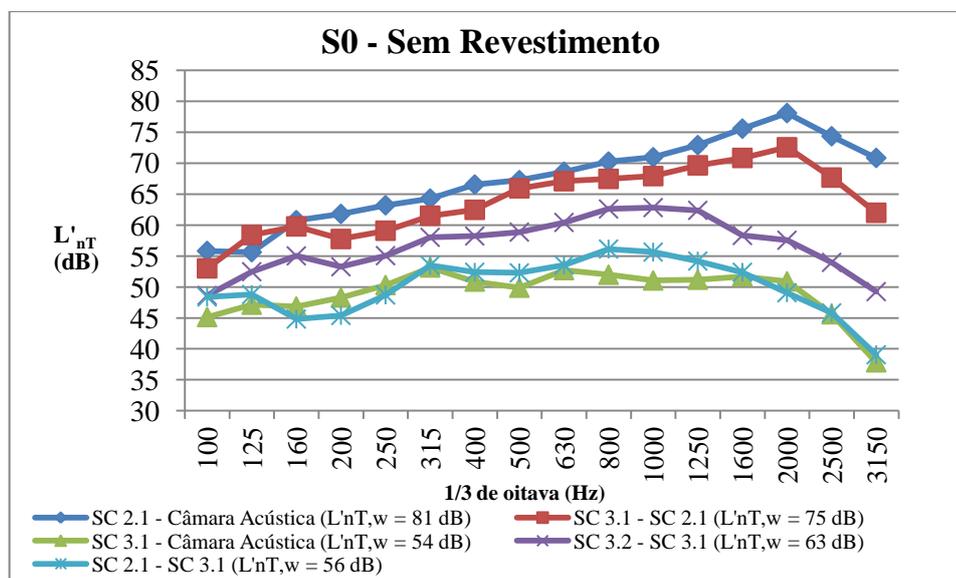


Figura 5.1 – Curvas de isolamento sonoro a sons de percussão, em bandas de 1/3 de oitava, para as várias situações de transmissão, sem revestimento de piso aplicado (S0)

Os compartimentos de ensaio, já descritos no capítulo 3, são definidos por três paredes em alvenaria de tijolo e uma em betão maciço, com cerca de 20 cm. Entre o terceiro e segundo piso a laje de separação é aligeirada, com blocos de betão, camada de compressão e enchimento, totalizando cerca de 30 cm, e entre o segundo e primeiro piso a laje é de betão maciça, com cerca de 20 cm. Nos casos de transmissão de cima para baixo entre compartimentos adjacentes, as curvas de isolamento em ambos os ensaios revelaram-se relativamente semelhantes, sendo que a laje maciça de separação entre a sala SC 2.1 e a Câmara Acústica, demonstrou um pior desempenho relativamente à laje aligeirada ensaiada entre as salas SC 3.1 e SC 2.1. A existência do *parquet* no pavimento das salas emissoras, levou a que em ambos os casos se verificasse uma atenuação do nível sonoro nas mais altas frequências. A transmissão sonora no sentido descendente entre compartimentos separados por um piso, conduziu a decréscimos acentuados do nível sonoro relativamente aos ensaios

entre compartimentos adjacentes. Quanto às situações que contemplam a transmissão apenas por via indireta, as curvas de isolamento sonoro em frequência, mostram que na transmissão de baixo para cima, o nível sonoro no recetor decresce de forma relevante relativamente à transmissão de cima para baixo, mantendo-se ainda com valores significativos; na transmissão entre compartimentos do mesmo piso a redução face à transmissão de cima para baixo também se verifica, mas é menos acentuada que na transmissão de baixo para cima.

Depois da realização das medições acústicas *in situ* e tratamento de dados de acordo com a norma NP EN ISO 140-7, que conduziram às curvas de isolamento em frequência, aplicou-se o método descrito na norma EN ISO 717-2, para obtenção dos índices de isolamento sonoro a sons de percussão. A referida norma apresenta um procedimento, descrito no capítulo 2, em que os valores que definem a curva de isolamento sonoro das medições são comparados, por um processo de ajustamento, com valores de referência.

A aplicação do procedimento anterior aos ensaios realizados entre a sala SC 2.1 e a Câmara Acústica sem revestimento de piso aplicado, representado na Figura 5.2, conduziu a um índice de isolamento a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT,w}$, de 81 dB.

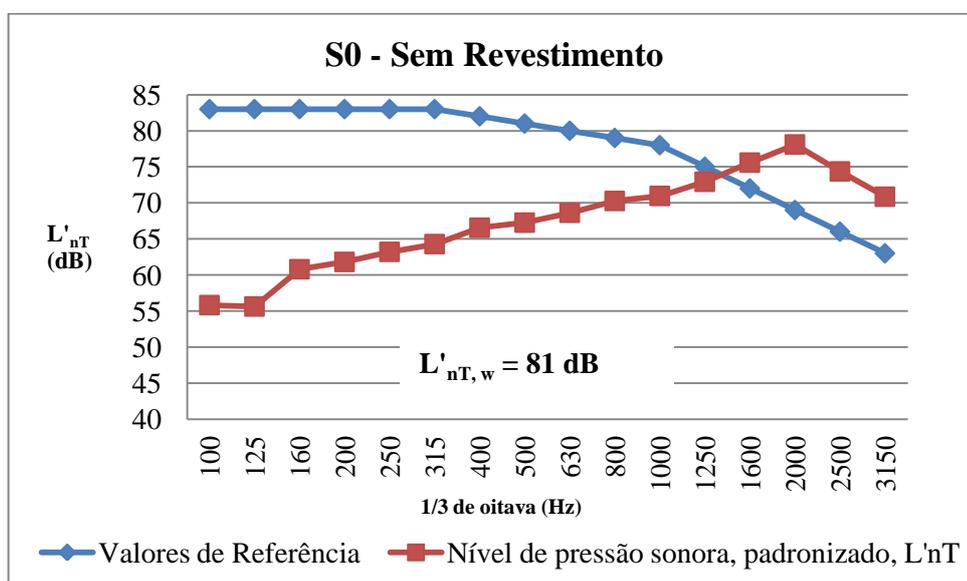


Figura 5.2 – Ajustamento da curva convencional de referência, à curva de medição do nível de pressão sonora, padronizado, de percussão, L'_{nT} , sem revestimento, na transmissão sonora entre a sala SC 2.1 e a Câmara Acústica

Pela análise da figura anterior, verifica-se que a curva convencional de referência e a curva do nível de pressão sonora, padronizado, apresentam configurações bastante diferentes após o

seu ajustamento. Esta diferença entre as duas curvas, conduziu à obtenção de um índice de isolamento elevado e baseado apenas num conjunto muito limitado de bandas de frequência, (onde ocorrem os desvios desfavoráveis), do total de bandas consideradas. Este fraco ajustamento, bem como o tipo diferente de laje de separação, poderão justificar o facto de os resultados obtidos neste caso, diferirem dos obtidos no segundo caso de transmissão de cima para baixo entre compartimentos adjacentes. Nesse segundo caso de estudo, entre as salas SC 3.1 e SC 2.1 (do terceiro para o segundo piso), o mesmo processo de ajustamento conduziu à obtenção de um índice de isolamento $L'_{nT,w}$ de 75 dB (Figura 5.3).

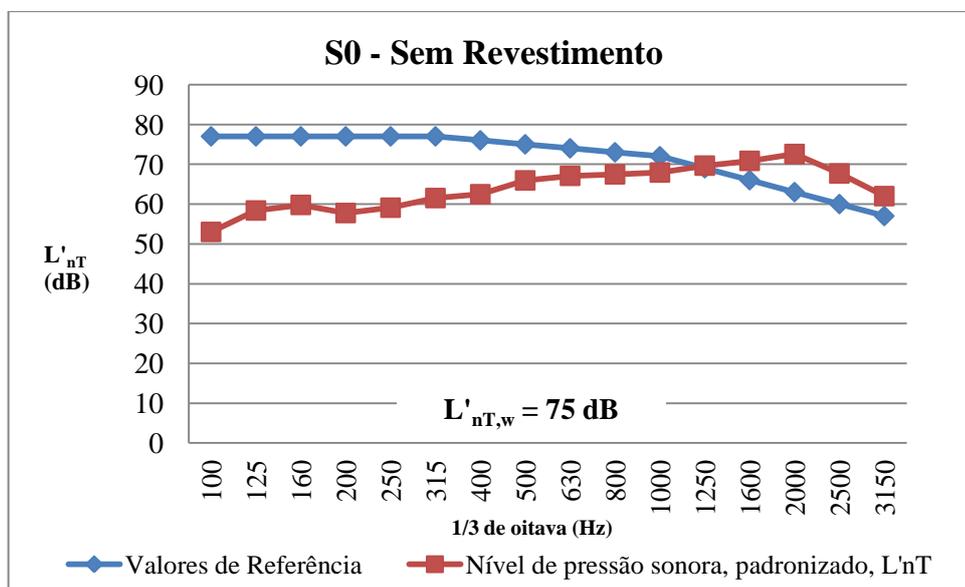


Figura 5.3 – Ajustamento da curva convencional de referência, à curva de medição do nível de pressão sonora, padronizado, de percussão, L'_{nT} , sem revestimento, na transmissão sonora entre as salas SC 3.1 e SC 2.1

Ainda que após o ajustamento, a curva de referência e a curva de isolamento sonoro se tenham revelado novamente discrepantes, o valor obtido é inferior ao do caso anterior. Este índice mostra-se superior ao máximo regulamentar para salas de aula dado pelo regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), que é de 65 dB. No que diz respeito ao índice de isolamento sonoro a sons de percussão, obtido no caso de transmissão de cima para baixo entre compartimentos separados por um piso (SC3.1 para a Câmara Acústica), o decréscimo verificado relativamente à transmissão descendente entre compartimentos adjacentes, excede os 20 dB (Figura 5.1).

Analisando os resultados obtidos para as duas situações em que a transmissão ocorre apenas por via indireta, face aos casos de transmissão de cima para baixo, constata-se que (Figura 5.1):

- Na transmissão entre as salas SC 3.2 e SC 3.1, localizadas no mesmo piso, o índice de isolamento sonoro apresenta um decréscimo na ordem dos 18 dB, comparativamente ao ensaio entre a sala SC 2.1 e a Câmara Acústica e de 12 dB comparativamente com o valor de $L'_{nT,w}$ obtido entre as salas SC 3.1 e SC 2.1;
- O índice obtido na transmissão de baixo para cima, entre as salas SC 2.1 e SC 3.1, apresenta-se inferior em 25 dB quando comparado com o valor obtido entre a sala SC 2.1 e a Câmara Acústica, e em 19 dB relativamente ao segundo ensaio de cima para baixo entre compartimentos adjacentes;
- Nos dois casos de transmissão indireta, ainda que se tenha verificado uma redução de índices de isolamento face à transmissão de cima para baixo (que ocorre pelas vias direta e indireta), os valores obtidos revelaram-se bastante significativos e não desprezáveis. No caso de transmissão entre compartimentos do mesmo piso, o índice de isolamento obtido, de 63 dB, chega a mostrar-se muito próximo do valor máximo dado pelo RRAE (65 dB).

Depois de analisados os casos de transmissão sonora sem revestimento de piso aplicado, as Figuras 5.4 a 5.8 apresentam os resultados obtidos nos ensaios realizados com os revestimentos de piso, referidos no capítulo 3.

A análise dos índices de isolamento obtidos com o vinílico S1 em ensaio (Figura 5.4), no caso de transmissão entre compartimentos do mesmo piso, mostra uma redução na ordem dos 6 dB a 7 dB relativamente aos ensaios de cima para baixo entre compartimentos adjacentes, com esse revestimento. Já para o caso de baixo para cima, a mesma análise conduz a reduções na ordem dos 9 dB a 10 dB, comparativamente ao ensaio de cima para baixo entre compartimentos adjacentes. Na transmissão entre compartimentos separados por um piso, com o revestimento aplicado na sala emissora, o valor do índice de isolamento $L'_{nT,w}$, é inferior em 13 dB a 14 dB relativamente aos ensaios entre salas adjacentes, de cima para baixo.

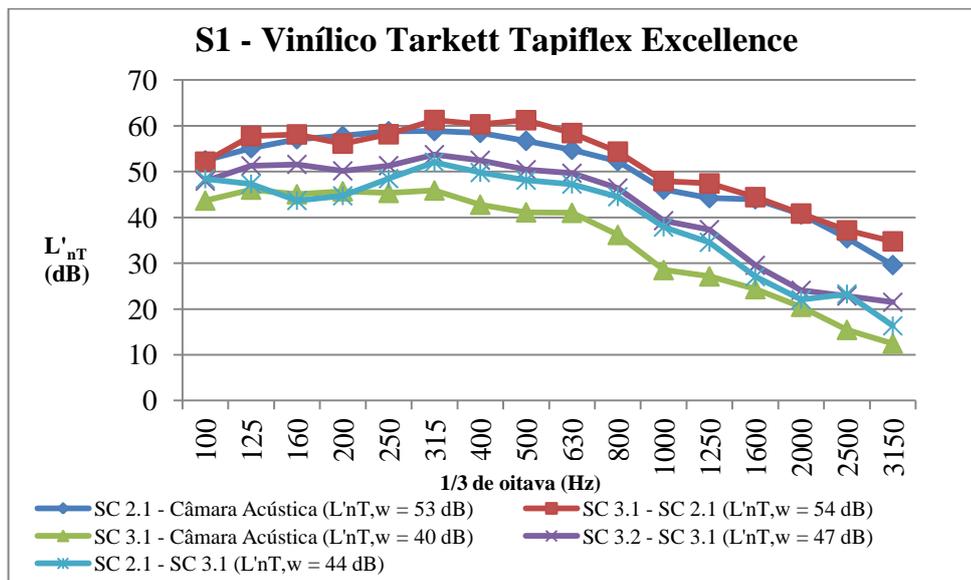


Figura 5.4 – Curvas de isolamento sonoro a sons de percussão, em bandas de 1/3 de oitava, para as várias situações de transmissão, com o revestimento de piso S1 aplicado

No que se refere ao vinílico S2 (Figura 5.5), nos casos de transmissão sonora no sentido descendente, os índices de isolamento sonoro a sons de percussão obtidos revelaram-se superiores aos valores do vinílico anterior, traduzindo assim um pior desempenho na aplicação desta solução.

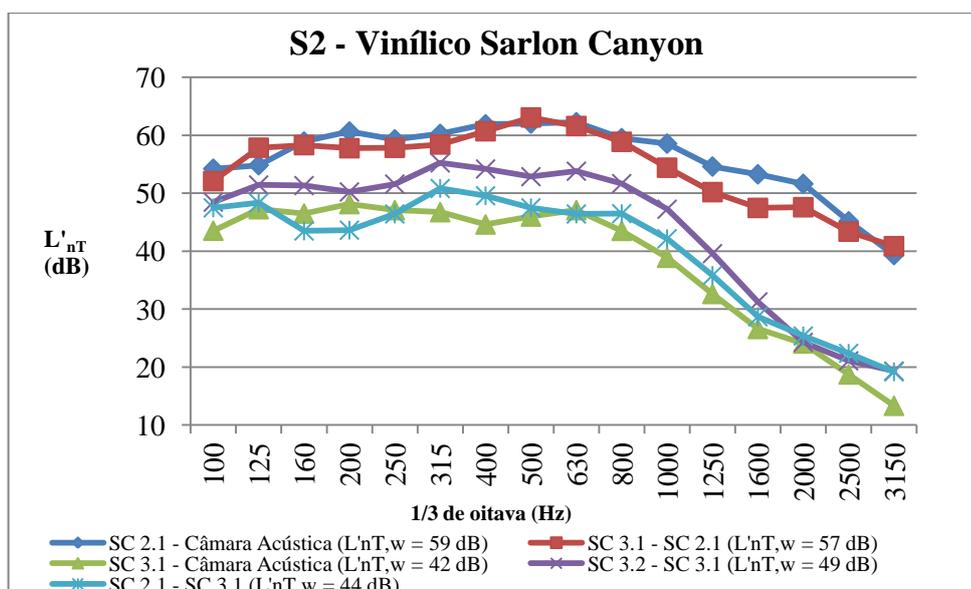


Figura 5.5 – Curvas de isolamento sonoro a sons de percussão, em bandas de 1/3 de oitava, para as várias situações de transmissão, com o revestimento de piso S2 aplicado

Este revestimento proporciona reduções no valor de $L'_{nT,w}$ na ordem dos 8 a 10 dB na transmissão lateral face à sua aplicação na transmissão de cima para baixo, e na ordem dos 13dB a 15 dB na transmissão ascendente comparativamente com a sua aplicação de cima para baixo. Na transmissão entre compartimentos separados por um piso, o desempenho desta solução de piso, conduziu a reduções no valor do índice de isolamento na ordem dos 15 dB a 17 dB, relativamente aos ensaios entre compartimentos adjacentes.

O pavimento flutuante com cortiça, designado por S3 neste trabalho, foi apenas ensaiado para o caso de transmissão entre a sala SC 2.1 e a Câmara Acústica (Figura 5.6). O seu desempenho irá ser analisado mais adiante, comparando a eficácia mostrada neste ensaio com os dados fornecidos pelo fabricante, no que diz respeito a redução sonora. O índice de isolamento obtido neste caso, de 57 dB, mostrou-se da mesma ordem de grandeza que os obtidos com os vinílicos aplicados.

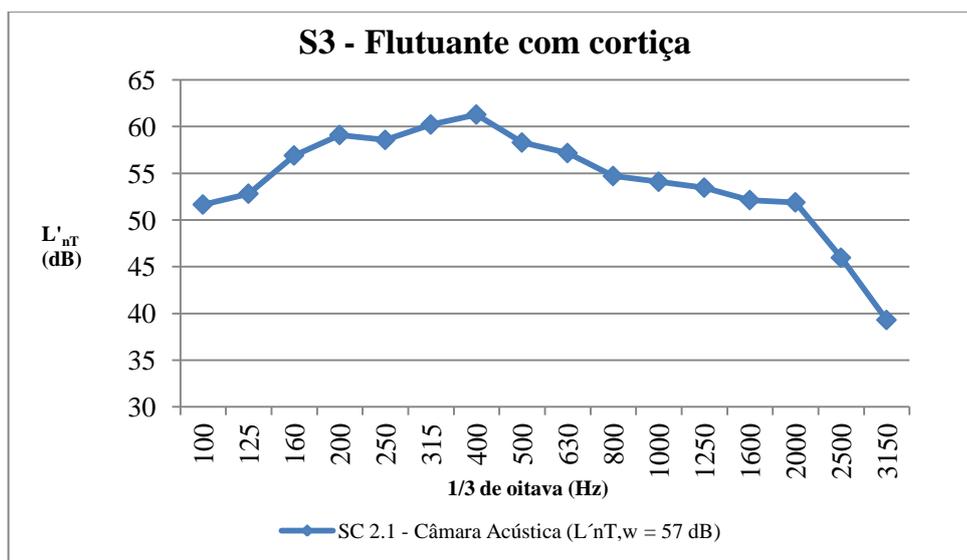


Figura 5.6 – Curva de isolamento sonoro a sons de percussão, em bandas de 1/3 de oitava, com o revestimento de piso S3 aplicado, entre a sala SC 2.1 e a Câmara Acústica

A análise dos resultados obtidos com a aplicação do revestimento S4 (Figura 5.6), bem como do S5 (Figura 5.7) revelam novamente que a sua aplicação nos ensaios de baixo para cima e entre compartimentos do mesmo piso conduz a reduções no índice de isolamento sonoro, relativamente às situações de transmissão de cima para baixo, com cada um dos revestimentos de ensaio. No caso concreto do revestimento S4, a sua aplicação na situação de ensaio entre compartimentos do mesmo piso, apenas reduziu em cerca de 3dB a 4dB o índice de isolamento obtido, face aos ensaios com a sua aplicação, de cima para baixo. Para o

revestimento S5, as diferenças verificadas estão ao nível dos restantes revestimentos já analisados.

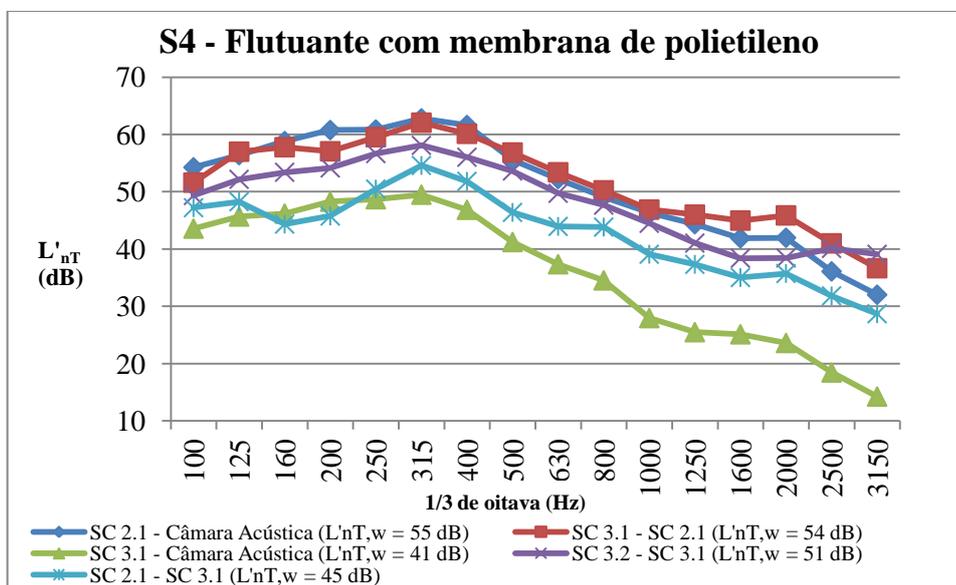


Figura 5.7 – Curvas de isolamento sonoro a sons de percussão, em bandas de 1/3 de oitava, para as várias situações de transmissão, com o revestimento de piso S4 aplicado

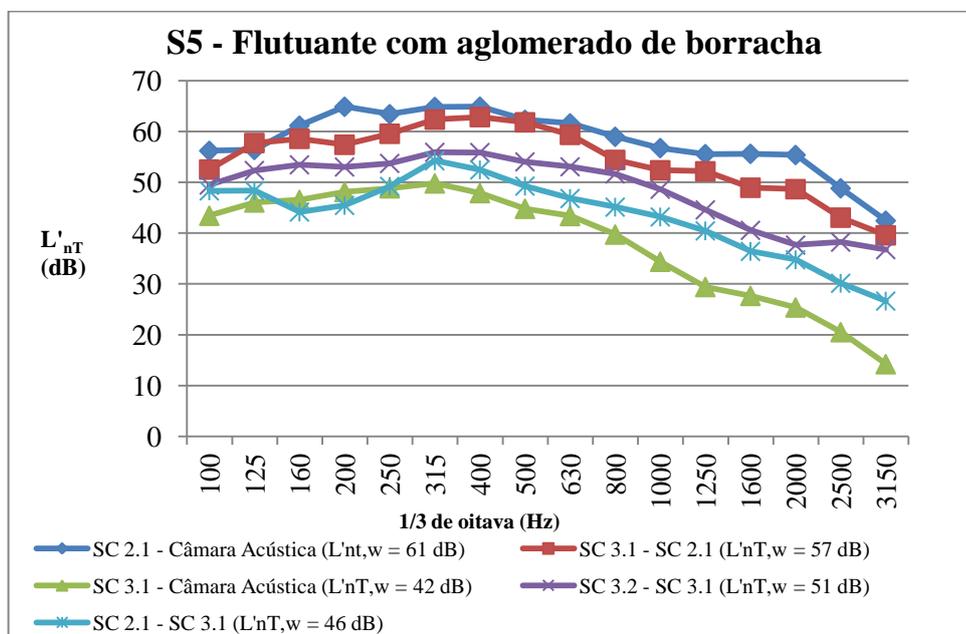


Figura 5.8 – Curvas de isolamento sonoro a sons de percussão, em bandas de 1/3 de oitava, para as várias situações de transmissão, com o revestimento de piso S5 aplicado

No Quadro 5.1 são resumidas as reduções no valor do índice de isolamento sonoro verificadas nos casos de transmissão apenas por via indireta, comparativamente aos ensaios de cima para baixo, para cada solução de revestimento ensaiada.

	Revestimento de piso				
	S0	S1	S2	S4	S5
Transmissão entre compartimentos do mesmo piso	12 a 18 (dB)	6 a 7 (dB)	8 a 10 (dB)	3 a 4 (dB)	6 a 10 (dB)
Transmissão entre compartimentos de baixo para cima	19 a 25 (dB)	9 a 10 (dB)	13 a 15 (dB)	9 a 10 (dB)	11 a 15 (dB)

Quadro 5.1 – Reduções no valor do índice de isolamento sonoro $L'_{nT,w}$ nos ensaios de transmissão indireta, face aos ensaios de cima para baixo, para cada revestimento de piso

Depois de analisados os resultados obtidos relativos aos índices de isolamento sonoro a sons de percussão, as Figuras 5.8 a 5.12 comparam, em frequência, os desempenhos dos vários revestimentos de piso ensaiados *in situ*, nas situações de transmissão estudadas. A redução sonora ΔL por eles conferida, resulta da diferença entre os níveis sonoros, normalizados, no domínio da frequência, obtidos com e sem revestimentos de ensaio.

Iniciando a análise pelos vinílicos S1 e S2, cujas curvas de redução sonora em frequência se apresentam nas Figuras 5.8 e 5.9 respetivamente, verifica-se que em ambos os casos, é na situação de transmissão sonora entre a sala SC 2.1 e a Câmara Acústica que o desempenho dos revestimentos de piso se assemelha mais aos dados do fabricante. Na transmissão descendente entre compartimentos separados por um piso, o desempenho destas soluções de revestimento mostrou-se semelhante aos ensaios de cima para baixo entre compartimentos adjacentes. Relativamente ao vinílico S1, o seu desempenho na transmissão indireta entre as salas SC 2.1 e SC 3.1 revelou-se pior quando comparado com os casos de cima para baixo. Na transmissão entre compartimentos do mesmo piso, este vinílico mostrou uma eficácia semelhante ao caso de transmissão de cima pra baixo entre as salas SC 3.1 e SC 2.1 chegando mesmo a superá-lo nas mais altas frequências. O segundo vinílico ensaiado, o S2, é um revestimento que, atendendo aos dados do fabricante, confere uma redução sonora inferior ao anterior. Quando comparados os ensaios de transmissão apenas por via indireta aos ensaios realizados de cima para baixo, constata-se que o desempenho deste vinílico na transmissão entre a sala SC 2.1 e SC 3.1 é semelhante ao ensaio entre os mesmos compartimentos de cima para baixo, e no caso da

transmissão lateral a eficácia desta solução supera os resultados obtidos nos ensaios de cima para baixo, bem como do fabricante.

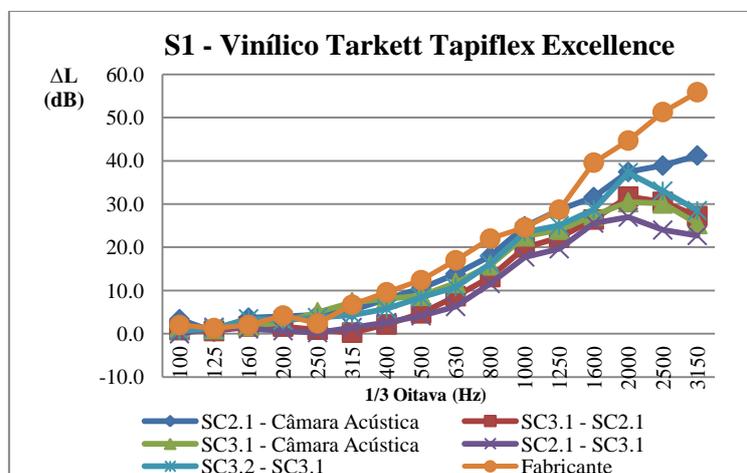


Figura 5.8 – Curvas de redução sonora, em bandas de 1/3 de oitava, conferida pelo revestimento de piso S1 em cada situação de transmissão, face aos dados do fabricante

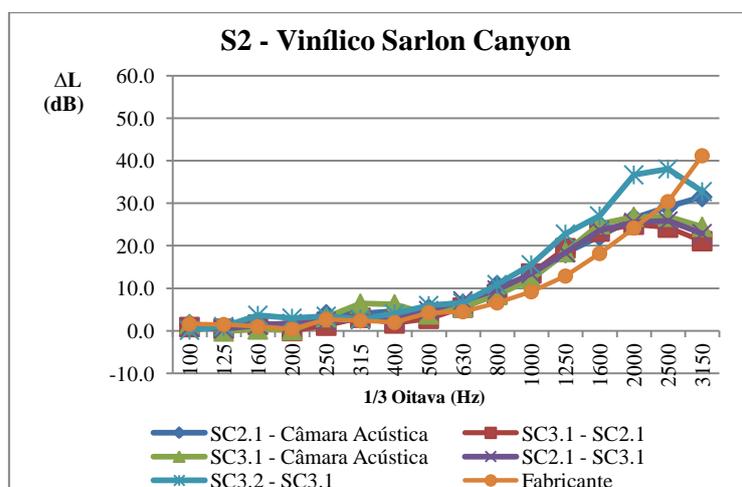


Figura 5.9 – Curvas de redução sonora, em bandas de 1/3 de oitava, conferida pelo revestimento de piso S2 em cada situação de transmissão, face aos dados do fabricante

Nas mais altas frequências, as curvas de redução sonora conferida por estes revestimentos revelam uma tendência decrescente, particularmente nos casos em que a sala SC 3.1 funciona como compartimento recetor. Essa tendência pode ser justificada, pelo facto de o ruído de fundo medido, nessas bandas de frequência, ter-se mostrado muito próximo dos valores obtidos nas medições com a fonte em funcionamento. Nos casos em que se justificou, o nível sonoro obtido com os revestimentos em ensaio, foi corrigido de acordo

com o procedimento constante na norma NP EN ISO 140-7 e já explicado no Capítulo 3, devido à interferência do ruído de fundo nas medições. Essa correção, realizada através de um valor fixo, acaba por não traduzir o valor real do nível sonoro que seria obtido com a aplicação desse revestimento, tendo conduzindo ao decréscimo na redução sonora ΔL obtido em frequências mais altas.

O pavimento de madeira com cortiça, foi apenas ensaiado para o caso de transmissão entre a sala SC 2.1 e a Câmara Acústica. Da análise da curva de redução sonora verifica-se (Figura 5.10), como nos restantes casos, que é este caso de transmissão que se assemelha mais aos dados do fabricante, obtidos em laboratório.

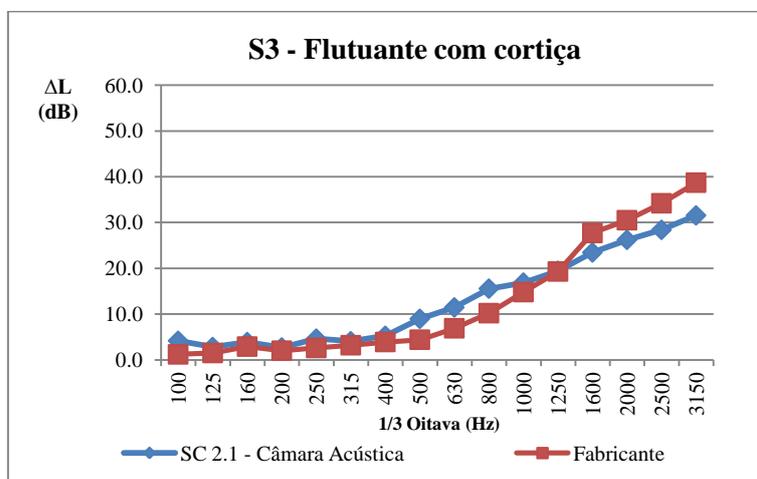


Figura 5.10 – Curva de redução sonora, em bandas de 1/3 de oitava, conferida pelo revestimento de piso S3 na transmissão SC 2.1-Câmara Acústica

A análise dos resultados obtidos para a redução sonora, no domínio da frequência, dos pavimentos flutuantes S4 e S5, mostra que nos ensaios realizados de cima para baixo entre compartimentos adjacentes, a redução sonora se afasta mais dos desempenhos dados pelo fabricante, comparativamente ao que aconteceu com os vinílicos.

Além da influência que o ruído de fundo pode ter nos resultados obtidos, já explicada anteriormente, a componente de ruído aéreo gerada pelo impacto da máquina de percussão, conhecida por “eco dos impactos” ou por “ruído de tambor” no caso concreto de pavimentos flutuantes, pode interferir também nos valores medidos do nível sonoro. Nos casos de transmissão indireta entre compartimentos do mesmo piso e de baixo para cima, em que os elementos construtivos de separação apresentem um baixo isolamento a sons aéreos, os valores do nível sonoro medidos na sala recetora podem apresentar-se mais elevados do que os que seriam obtidos somente devido à transmissão por via sólida.

Consequentemente, com um nível sonoro mais elevado, obtém-se uma menor redução sonora ΔL nesses casos de transmissão, como evidenciado pelas curvas apresentadas nas Figuras 5.11 e 5.12, relativas aos pavimentos flutuantes S4 e S5.

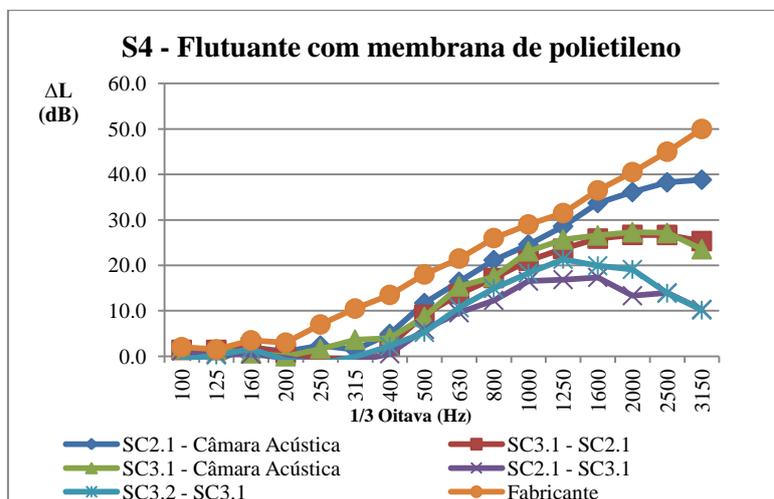


Figura 5.11 – Curvas de redução sonora, em bandas de 1/3 de oitava, conferida pelo revestimento de piso S4 em cada situação de transmissão, face aos dados do fabricante

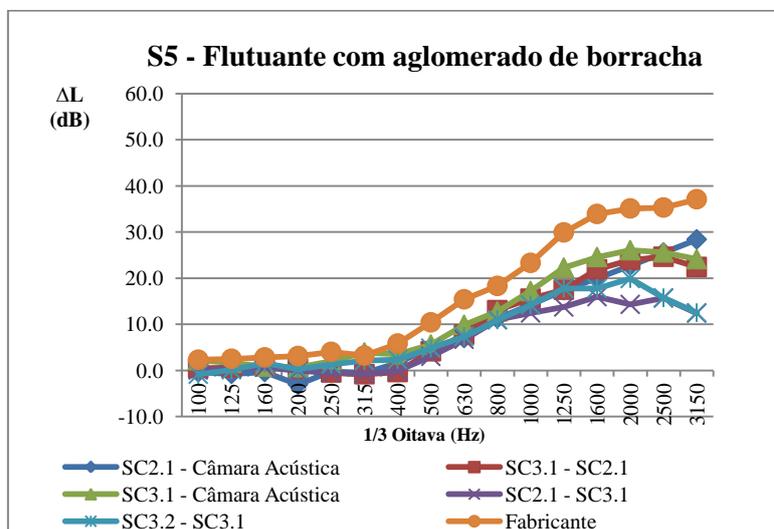


Figura 5.12 – Curvas de redução sonora, em bandas de 1/3 de oitava, conferida pelo revestimento de piso S5 em cada situação de transmissão, face aos dados do fabricante

Na norma EN ISO 717-2 é definido um procedimento para a determinação do índice de redução sonora conferida por revestimentos de piso, designado neste trabalho por $\Delta L_{r,w}$, relativamente a um pavimento de referência. A consideração deste pavimento tem como

objetivo tornar comparáveis valores de índices de redução sonora obtidos em diferentes laboratórios, na transmissão de cima para baixo entre compartimentos adjacentes. No presente trabalho, ainda que os ensaios não tenham sido realizados em laboratório, onde a transmissão ocorre apenas por via direta, optou-se por aplicar este procedimento aos resultados das medições acústicas realizadas *in situ* para os casos de transmissão de cima para baixo, bem como na transmissão sonora nos sentidos ascendente e lateral. Procurou-se deste modo, homogeneizar os resultados obtidos para a redução sonora conferida pelos revestimentos de piso, traduzindo-os num valor único, comparável entre as várias situações de transmissão.

Além da obtenção dos índices de redução sonora relativos ao pavimento de referência, foi ainda analisada a redução sonora efetiva conferida pelos revestimentos de piso *in situ*. Esta redução, designada neste trabalho por $\Delta L_{w,ef}$, é dada pela diferença entre o índice de isolamento sonoro, padronizado, $L'_{nT,w}$, do pavimento em ensaio com e sem revestimento de piso aplicado (S0).

A solução de revestimento S1 (Quadro 5.2), foi a que conduziu a reduções sonoras *in situ*, $\Delta L_{w,ef}$, mais elevadas nos ensaios de cima para baixo, comparativamente com as restantes soluções de piso testadas. No caso de transmissão entre a sala SC 2.1 e a Câmara Acústica, a redução *in situ* de 28 dB, bastante superior ao valor de laboratório, pode ser justificada pelo facto de o índice $L'_{nT,w}$ obtido no ensaio sem revestimento de piso (81 dB) ser bastante elevado, como resultado de um fraco ajustamento com a curva de referência, já explicado anteriormente. Quando a redução sonora, é traduzida relativamente a um pavimento de referência, é nesse ensaio que o valor do índice $\Delta L_{r,w}$ iguala o de laboratório, tendo já sido evidenciado na análise da redução sonora em frequência a proximidade de resultados deste caso de transmissão, com os valores de laboratório.

Na transmissão entre as salas SC 3.1 e SC 2.1, a redução $\Delta L_{w,ef}$, mostrou-se mais próxima do valor de laboratório que na situação de transmissão anterior, pelo facto de o valor do índice de isolamento $L'_{nT,w}$ medido sem revestimento aplicado, 75 dB, ter sido menor que o obtido entre a sala SC 2.1 e a Câmara Acústica. Quando o desempenho do revestimento S1 é considerado relativamente a um pavimento de referência na transmissão entre estas duas salas, o índice de redução sonora $\Delta L_{r,w}$ de 16 dB é mais baixo que o valor de laboratório, como resultado das diferenças mostradas no desempenho deste revestimento, em frequência, face ao fabricante.

No caso de estudo entre compartimentos separados por um piso, mesmo não sendo uma situação idêntica à de laboratório, onde os compartimentos são adjacentes, o valor obtido para $\Delta L_{r,w}$, de 18 dB, mostrou-se muito próximo dos 19 dB dados pelo fabricante.

Nas situações de transmissão indireta, nos sentidos lateral e particularmente no caso ascendente, a redução sonora *in situ* $\Delta L_{w,ef}$, dada pela diferença dos índices de isolamento com e sem revestimento aplicado, é menor que nos casos de transmissão de cima para baixo. Isto pode ser justificado, pela existência do ruído de fundo na sala SC 3.1 que, tendo interferido com os valores do nível sonoro com a fonte em funcionamento, como já explicado anteriormente, conduziu a valores únicos de $L'_{nT,w}$ mais elevados do que se poderia esperar. Traduzindo a redução sonora em relação ao pavimento de referência, verifica-se na transmissão lateral um valor do índice $\Delta L_{r,w}$ muito próximo do valor de fabricante.

		S1 – Vinílico Tarkett Tapiflex Excellence				
		$L'_{nT,w}$ Sem Revestimento – S0	$L'_{nT,w}$ Com Revestimento	$\Delta L_{w,ef}$	$\Delta L_{r,w}$ (pavimento de referência)	ΔL_w (fabricante)
Transmissão Descendente	SC2.1 – Câmara Acústica	81	53	28	19	19
	SC 3.1 – SC 2.1	75	54	21	16	
	SC 3.1 – Câmara Acústica	54	40	14	18	
Transmissão Lateral	SC 3.2 – SC 3.1	63	47	16	18	
Transmissão Ascendente	SC 2.1 – SC 3.1	56	44	12	15	

Quadro 5.2 – Resultados obtidos para a redução sonora conferida pelo revestimento S1

No caso do vinílico S2 (Quadro 5.3) as reduções sonoras verificadas *in situ*, $\Delta L_{w,ef}$, conseguidas com a aplicação deste revestimento, não foram tão acentuadas como no caso anterior, nas várias situações de transmissão. Na situação de cima para baixo entre a sala SC 2.1 e a Câmara Acústica verifica-se, como no revestimento anterior, que essa redução se afasta do resultado de laboratório, sendo novamente apontado o elevado índice de isolamento obtido sem revestimento de piso (81 dB), como causa. De igual modo ao que se verificou no vinílico anterior, nos casos de transmissão indireta com o revestimento S2 em ensaio, as reduções efetivas são inferiores às obtidas no sentido descendente.

Os valores dos índices de redução sonora $\Delta L_{r,w}$ relativamente ao pavimento de referência, mostram-se em todos os casos de transmissão muito próximos do valor dado pelo fabricante. Esta situação pôde já ser observada na Figura 5.9, onde o desenvolvimento das curvas de redução sonora, no domínio da frequência, se mostraram mais próximas do

resultado do fabricante para todas as situações de transmissão, do que em qualquer outro revestimento ensaiado.

		S2 – Vinílico Sarlon Canyon				
		$L'_{nT,w}$ Sem Revestimento – S0	$L'_{nT,w}$ Com Revestimento	$\Delta L_{w,ef}$	$\Delta L_{r,w}$ (pavimento de referência)	ΔL_w (fabricante)
Transmissão Descendente	SC2.1 – Câmara Acústica	81	59	22	16	15
	SC 3.1 – SC 2.1	75	57	18	14	
	SC 3.1 – Câmara Acústica	54	42	12	16	
Transmissão Lateral	SC 3.2 – SC 3.1	63	49	14	14	
Transmissão Ascendente	SC 2.1 – SC 3.1	56	44	12	15	

Quadro 5.3 – Resultados obtidos para a redução sonora conferida pelo revestimento S2

O terceiro revestimento de piso ensaiado, pavimento flutuante com cortiça (Quadro 5.4), foi usado somente entre a sala SC 2.1 e a Câmara Acústica. Neste ensaio, o valor de $\Delta L_{w,ef}$ foi novamente bastante elevado como nos casos anteriores, tendo-se obtido um índice de redução sonora relativo ao pavimento de referência, superior ao valor de fabricante.

		S3 – Flutuante com cortiça				
		$L'_{nT,w}$ Sem Revestimento – S0	$L'_{nT,w}$ Com Revestimento	$\Delta L_{w,ef}$	$\Delta L_{r,w}$ (pavimento de referência)	ΔL_w (fabricante)
Transmissão Descendente	SC2.1 – Câmara Acústica	81	57	24	19	16

Quadro 5.4 – Resultados obtidos para a redução sonora conferida pelo revestimento S3

A análise do desempenho obtido com a colocação dos pavimentos flutuantes S4 e S5, através dos Quadros 5.5 e 5.6, permite perceber melhor a influência que o “ruído de tambor”, já definido anteriormente, teve nos resultados obtidos nos casos de transmissão indireta nos pavimentos flutuantes.

		S4 – Flutuante com membrana de polietileno				
		$L'_{nT,w}$ Sem Revestimento o – S0	$L'_{nT,w}$ Com Revestimento o	$\Delta L_{w,ef}$	$\Delta L_{r,w}$ (pavimento de referência)	ΔL_w (fabricante)
Transmissão Descendente	SC2.1 – Câmara Acústica	81	54	27	17	21
	SC 3.1 – SC 2.1	75	54	21	16	
	SC 3.1 – Câmara Acústica	54	41	13	16	
Transmissão Lateral	SC 3.2 – SC 3.1	63	51	12	12	
Transmissão Ascendente	SC 2.1 – SC 3.1	56	45	11	11	

Quadro 5.5 – Resultados obtidos para a redução sonora conferida pelo revestimento S4

As duas componentes de ruído, aéreo e de percussão, geradas pela máquina de impacto, conduziram a valores do índice de isolamento $L'_{nT,w}$ maiores do que aqueles que se esperariam, se a transmissão ocorre-se somente por via sólida. Assim, nestes pavimentos, a redução efetiva nos ensaios de baixo para cima e lateralmente é muito inferior à redução verificada nos ensaios de cima para baixo, onde o “ruído de tambor” não tem influência. Ao comparar a redução efetiva $\Delta L_{w,ef}$ com o valor de laboratório, as reduções na ordem dos 10 dB a 12 dB verificadas na transmissão indireta com estes revestimentos, estão longe do desempenho de laboratório.

		S5 – Flutuante com aglomerado de borracha				
		$L'_{nT,w}$ Sem Revestimento – S0	$L'_{nT,w}$ Com Revestime nto	$\Delta L_{w,ef}$	$\Delta L_{r,w}$ (pavimento de referência)	ΔL_w (fabricante)
Transmissão Descendente	SC2.1 – Câmara Acústica	81	61	20	14	19
	SC 3.1 – SC 2.1	75	57	18	14	
	SC 3.1 – Câmara Acústica	54	42	12	16	
Transmissão Lateral	SC 3.2 – SC 3.1	63	51	12	13	
Transmissão Ascendente	SC 2.1 – SC 3.1	56	46	10	12	

Quadro 5.6 – Resultados obtidos para a redução sonora conferida pelo revestimento S5

5.3 Resultados teóricos *versus* resultados *in situ*

Além dos ensaios realizados experimentalmente, o desenvolvimento deste trabalho incluiu a aplicação de um método simplificado de previsão do índice de isolamento a sons de percussão (Mateus e Pereira, 2012), bem como uma simulação de resultados em *software* adequado.

Este novo método pretende complementar o uso da norma EN 12354-2, com propostas simplificadas de previsão do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, entre um compartimento inferior e um sobrejacente, bem como entre compartimentos do mesmo piso. A metodologia, já apresentada no capítulo 4, foi baseada num conjunto muito mais alargado de ensaios *in situ* do que os realizados neste trabalho, assim como em edifícios habitacionais e mistos.

Para os casos de transmissão entre compartimentos adjacentes, de um piso superior para um piso inferior, foi utilizada a Equação 16. A massa superficial do pavimento percutido foi considerada igual a 390 kg/m^2 para a laje aligeirada e 470 kg/m^2 para a laje maciça, as paredes divisórias entre as salas e os corredores (tijolo 20) com cerca de 250 kg/m^2 e a parede de fachada do edifício, que é um dos elementos de compartimentação no caso de transmissão entre as salas SC 3.1 e SC 2.1, com uma massa superficial de 400 kg/m^2 . Recorrendo a estes elementos e ao Quadro 2.5, a correção K devido à transmissão marginal foi considerada igual a 1 no caso de transmissão entre as salas SC 3.1 e SC 2.1, e igual a 0 no caso de transmissão entre a sala SC 2.1 e a Câmara Acústica, por se tratar da situação que se assemelha mais à de laboratório. O tempo de reverberação de referência foi considerado igual ao requisito regulamentar aplicável para salas de aula, $0,15 \sqrt[3]{V}$, e os volumes V estão já definidos no Quadro 3.1. Na situação S0, sem revestimento de ensaio além do parquet já existente, o valor de ΔL_w considerado foi de 0 dB e para os restantes revestimentos os valores constantes no Quadro 3.3.

Nos casos de transmissão entre compartimentos do mesmo piso, a aplicação da Equação 19 considerou não só a massa superficial do pavimento percutido e os valores do índice de redução sonora ΔL_w , respetivamente iguais a 390 kg/m^2 e aos valores do Quadro 3.3, mas também a distância d entre a zona central da laje percutida e a parede mais próxima do recetor (Figura 4.1). Além da consideração dessa zona, designada por d_3 , cujo valor é de cerca de 4,30 m, foram ainda consideradas as distâncias d_1 , d_2 e d_4 , iguais a 1,6m, 2,2m e 5m respetivamente. Esta variação permitiu perceber qual a influência que tem a posição da fonte de ruído relativamente à parede mais próxima do recetor, na transmissão lateral.

Finalmente, para o caso de transmissão por via indireta que ocorre entre as salas SC 2.1 e SC 3.1, a Equação 18 inclui a consideração dos valores de T_0 , V , ΔL_w e da massa superficial do

pavimento já definidos anteriormente; as áreas dos compartimentos emissor e recetor, S_E e S_R (Quadro 3.3); e o comprimento L_{ER} das junções com continuidade do piso inferior para o piso superior (Figura 4.1), igual a 6,18 metros.

O *software* de previsão utilizado neste trabalho, o *Acoubat Sound*, permitiu igualmente estimar o valor do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, com exceção para a situação de transmissão de baixo para cima, que o programa não é capaz de realizar. Esta ferramenta dispõe de uma base de dados que permite simular as características construtivas dos compartimentos, bem como acrescentar outros elementos e respetivos desempenhos na transmissão sonora. Na utilização deste programa, foi inserida na base de dados uma laje semelhante à que foi ensaiada *in situ*, com as características de transmissão sonora verificadas no ensaio de cima para baixo entre as salas SC 3.1 e SC 2.1, sem qualquer revestimento de piso. Deste modo, procurou-se simular o melhor possível a transmissão tanto por via direta como indireta, que o programa à partida não assume.

O Quadro 5.7 especifica os valores de previsão do índice de isolamento a sons de percussão, padronizado, obtidos com a aplicação do método simplificado e com o *software*, comparando-os com os resultados obtidos experimentalmente, para a situação sem revestimento.

		S0 – Sem Revestimento		
		$L'_{nT,w}$ (<i>in situ</i>)	$L'_{nT,w}$ (Método Simplificado)	$L'_{nT,w}$ (<i>Acoubat Sound</i>)
Transmissão Descendente	SC2.1 – Câmara Acústica	81	72	68
	SC 3.1 – SC 2.1	75	75	75
Transmissão Lateral	SC 3.2 – SC 3.1	63	65 ^(d3)	70
Transmissão Ascendente	SC 2.1 – SC 3.1	56	58	–

Quadro 5.7 – Comparação entre resultados experimentais e teóricos, para a situação S0

Para os valores obtidos na transmissão de cima para baixo, apenas no caso de estudo entre a sala SC 2.1 e a Câmara Acústica é que o resultado obtido *in situ* apresenta maior desvio relativamente aos valores teóricos. Esta discrepância, ainda que não seja significativa, pode ser explicada pelo facto de o valor de 81 dB obtido experimentalmente, ter resultado de um mau ajustamento entre a curva de medições acústicas e a curva de referência, no processo de ajustamento já descrito anteriormente.

Na transmissão indireta entre compartimentos do mesmo piso, a distância d_3 correspondente à zona central da laje percutida, conforme especificado no método simplificado para este tipo de transmissão, conduziu a um valor praticamente igual ao que se obteve *in situ*. As restantes distâncias d_1 , d_2 e d_4 consideradas entre a fonte de ruído e a parede mais próxima do recetor, conduziram a resultados de 69 dB, 68 dB e 64 dB respetivamente.

Para o outro caso de transmissão indireta, desta vez de um compartimento inferior para um sobrejacente, o método simplificado conduziu a um resultado muito idêntico ao obtido nos ensaios realizados, encontrando-se do lado da segurança. Neste caso, sendo ΔL_w igual a zero, não se efetuou a correção k proposta neste método, que depende do índice de isolamento sonoro normalizado, sem revestimento, L'_{n,w_0} , especificada na Equação 19.

Comparando o caso de transmissão de cima para baixo entre as salas SC 3.1 e SC 2.1, com os dois casos de transmissão indireta, sem revestimento (ΔL_w igual a zero), verifica-se que:

- Na transmissão sonora de baixo para cima, a redução no valor do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT,w}$, é de 19 dB nos ensaios *in situ* e de 17 dB com a aplicação do método de previsão, relativamente à situação de cima para baixo;
- No caso da transmissão sonora entre compartimentos do mesmo piso, e em relação à transmissão de cima para baixo, a redução verificada neste índice é de 12 dB nos ensaios experimentais e de 10 dB com a aplicação do método simplificado;
- Os desvios verificados entre valores experimentais e valores teóricos obtidos com a aplicação do método simplificado, verificaram-se favoráveis e na ordem dos 2 dB, nos dois casos de transmissão indireta.

A vasta gama de ensaios experimentais realizados pelos autores para o estudo da transmissão de baixo para cima (cerca de 60 casos considerando ΔL_w igual a zero), e sobre os quais se baseou a metodologia aqui aplicada, haviam mostrado que as reduções no valor do índice de isolamento eram da ordem dos 20 dB relativamente à transmissão de cima para baixo. Os valores obtidos no caso estudado de transmissão ascendente, atingiram a mesma ordem de grandeza.

Já para o caso de transmissão entre compartimentos do mesmo piso, os 30 casos de estudo considerados pelos autores (onde em cerca de 80% dos casos, o índice de redução sonora foi igualmente considerado nulo), a redução no índice de isolamento obtido foi de cerca de 10 dB. Nos ensaios realizados entre as salas SC 3.2 e SC 3.1, verificou-se uma redução semelhante a este valor, tanto nos ensaios experimentais como com a aplicação do método.

Os desvios obtidos neste trabalho entre resultados teóricos e experimentais, não superaram os 3 dB do lado da segurança, verificados pelos autores, para as situações de transmissão de baixo para cima e lateralmente. A aplicação deste método simplificado de previsão, conduziu a resultados teóricos muito semelhantes aos resultados experimentais, para a situação sem revestimento, ainda que o edifício estudado neste caso não seja de habitação (com quartos como recetor) e o número de ensaios seja extremamente limitado.

Para os restantes revestimentos de piso, cujos resultados constam nos Quadros 5.8 a 5.12, os desvios encontrados entre valores teóricos e valores experimentais em cada situação de transmissão, também não se consideram significativos.

		S1 – Vinílico Tarkett Tapiflex Excellence		
		$L'_{nT,w}$ (<i>in situ</i>)	$L'_{nT,w}$ (Método Simplificado)	$L'_{nT,w}$ (<i>Acoubat Sound</i>)
Transmissão Descendente	SC2.1 – Câmara Acústica	53	53	49
	SC 3.1 – SC 2.1	54	56	50
Transmissão Lateral	SC 3.2 – SC 3.1	47	46 ^(d3)	44
Transmissão Ascendente	SC 2.1 – SC 3.1	44	42	–

Quadro 5.8 – Comparação entre resultados experimentais e teóricos, para o revestimento S1

		S2 – Vinílico Sarlon Canyon		
		$L'_{nT,w}$ (<i>in situ</i>)	$L'_{nT,w}$ (Método Simplificado)	$L'_{nT,w}$ (<i>Acoubat Sound</i>)
Transmissão Descendente	SC2.1 – Câmara Acústica	59	57	50
	SC 3.1 – SC 2.1	57	60	52
Transmissão Lateral	SC 3.2 – SC 3.1	49	50 ^(d3)	46
Transmissão Ascendente	SC 2.1 – SC 3.1	44	45	–

Quadro 5.9 – Comparação entre resultados experimentais e teóricos, para o revestimento S2

		S3 – Flutuante com cortiça		
		$L'_{nT,w}$ (<i>in situ</i>)	$L'_{nT,w}$ (Método Simplificado)	$L'_{nT,w}$ (<i>Acoubat Sound</i>)
Transmissão Descendente	SC2.1 – Câmara Acústica	57	56	48

Quadro 5.10 – Comparação entre resultados experimentais e teóricos, para o revestimento S3

		S4 – Flutuante com membrana de polietileno		
		$L'_{nT,w}$ (<i>in situ</i>)	$L'_{nT,w}$ (Método Simplificado)	$L'_{nT,w}$ (<i>Acoubat Sound</i>)
Transmissão Descendente	SC2.1 – Câmara Acústica	54	57	51
	SC 3.1 – SC 2.1	54	60	52
Transmissão Lateral	SC 3.2 – SC 3.1	51	50 ^(d3)	45
Transmissão Ascendente	SC 2.1 – SC 3.1	45	45	–

Quadro 5.11 – Comparação entre resultados experimentais e teóricos, para o revestimento S4

		S5 - Flutuante com aglomerado de borracha		
		$L'_{nT,w}$ (<i>in situ</i>)	$L'_{nT,w}$ (Método Simplificado)	$L'_{nT,w}$ (<i>Acoubat Sound</i>)
Transmissão Descendente	SC2.1 – Câmara Acústica	61	53	53
	SC 3.1 – SC 2.1	57	56	55
Transmissão Lateral	SC 3.2 – SC 3.1	51	46 ^(d3)	48
Transmissão Ascendente	SC 2.1 – SC 3.1	46	42	–

Quadro 5.12 – Comparação entre resultados experimentais e teóricos, para o revestimento S5

A aplicação de revestimentos de piso nos ensaios realizados *in situ* entre compartimentos do mesmo piso e de baixo para cima, não conduziu a reduções no valor do índice de isolamento, tão significativas relativamente aos ensaios de cima para baixo, como na situação S0. Comparando com a situação de cima para baixo entre as salas SC 3.1 e SC 2.1

para um mesmo revestimento, a redução média do índice de isolamento foi de cerca de 6 dB na transmissão lateral e de cerca de 10 dB na transmissão ascendente.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A realização deste trabalho permitiu perceber, ainda que com base num conjunto limitado de ensaios experimentais, que a transmissão sonora que ocorre apenas por via indireta entre compartimentos do mesmo piso e de baixo para cima, pode assumir valores significativos quando comparada com a transmissão de cima para baixo. Nos ensaios realizados sobre o *parquet* da sala, situação definida como S0, a transmissão sonora de baixo para cima revelou decréscimos no valor do índice de isolamento sonoro $L'_{nT,w}$ que chegaram aos 25 dB, relativamente à transmissão de cima para baixo entre compartimentos adjacentes. Já no caso de transmissão entre compartimentos do mesmo piso, o decréscimo ocorrido foi de 12 dB a 18 dB, relativamente aos ensaios de transmissão de cima para baixo entre compartimentos adjacentes. O ensaio de transmissão no sentido descendente, entre compartimentos separados por um piso, conduziu a valores do índice de isolamento sonoro inferiores em mais de 20 dB, relativamente à transmissão entre compartimentos adjacentes. No caso particular da transmissão lateral, os ensaios realizados sobre o *parquet* da sala, levaram à determinação de um índice de isolamento de 63 dB, muito próximo do limite regulamentar dado pelo RRAE, de 65 dB. Esta situação demonstra que entre compartimentos do mesmo piso, a transmissão indireta pode atingir valores que motivem o incumprimento dos requisitos regulamentares.

A análise dos resultados relativos à redução sonora, no domínio da frequência, dos revestimentos flexíveis, mostrou que estas soluções de piso se aproximaram de um modo geral dos dados disponibilizados pelo fabricante. No entanto, para os ensaios em que a sala SC 3.1 funcionou como recetora (transmissão de baixo para cima e lateral), verificou-se que o ruído de fundo aí medido interferiu com o nível sonoro obtido com a fonte em funcionamento, com esses revestimentos em ensaio. A correção desta interferência, levou a que a redução sonora ΔL conferida por estes revestimentos, no domínio da frequência, apresentasse um decréscimo no seu desempenho, em frequências mais altas. Homogeneizando esses resultados relativamente ao pavimento de referência, verifica-se que em ambos os vinílicos os valores do índice de redução $\Delta L_{r,w}$ se aproximam do valor dado pelo fabricante, tanto nos casos de cima para baixo entre compartimentos adjacentes, como nas situações de transmissão indireta.

No caso dos pavimentos flutuantes, a componente de ruído aéreo gerado pelo impacto da máquina de percussão, apesar de não ter sido medido o seu valor em concreto, mostrou ter um papel relevante nos casos de transmissão entre compartimentos do mesmo piso e de baixo

para cima. O nível sonoro obtido nas medições efetuadas com estes revestimentos de piso em ensaio, ao contemplar essa componente juntamente com o ruído devido à transmissão por percussão, revela-se superior ao que se esperaria se a transmissão ocorresse apenas por via sólida. Assim, os índices de isolamento $L'_{nT,w}$ nos casos de transmissão indireta, apresentam valores mais elevados e conseqüentemente a redução $\Delta L_{w,ef}$ verificada *in situ*, mostra-se baixa, e bastante inferior ao índice de redução dado pelo fabricante.

A aplicação do método de previsão simplificado, adaptou-se bastante bem aos resultados obtidos pela via experimental. Na situação S0, em que não existiu qualquer revestimento de piso em ensaio, o método simplificado conduziu sempre a resultados semelhantes aos experimentais e geralmente do lado da segurança (à exceção do caso entre a sala SC 2.1 e Câmara Acústica, onde o índice de isolamento, elevado, obtido experimentalmente foi resultou de um mau ajustamento entre curva de medição e curva de referência). A análise comparativa das situações de transmissão sem revestimento ocorridas entre as salas SC 3.1, SC 3.2 e SC 2.1 (de dimensões semelhantes), revelou que:

- De igual modo ao ocorrido nos ensaios experimentais, o decréscimo verificado entre o índice de isolamento obtido na transmissão de baixo para cima entre as salas SC 2.1 e SC 3.1, face à transmissão entre as mesmas salas no sentido contrário, verificou-se também na ordem dos 20 dB;
- Na transmissão entre compartimentos do mesmo piso, o mesmo decréscimo foi novamente de cerca de 10 dB.
- Nos ensaios com os restantes revestimentos de piso, os resultados teóricos obtidos com este método, revelaram-se também na mesma ordem de grandeza dos resultados experimentais.

Relativamente à utilização do *software* de simulação, os valores dos índices de isolamento mostraram-se um pouco mais discrepantes dos resultados experimentais, do que com o método simplificado, com desvios que se consideram. No entanto, estes desvios poderão facilmente ser justificados, pelo facto de no programa não ter sido conseguida uma simulação exata das condições *in situ*.

Em trabalhos futuros e no seguimento do estudo aqui apresentado, sugere-se uma análise mais detalhada da influência do “ruído de tambor” nos ensaios de transmissão indireta. A determinação do isolamento a sons aéreos dos elementos construtivos de compartimentação, permitirá perceber de forma mais rigorosa que a apresentada neste estudo, a interferência que o som aéreo gerado pela máquina de percussão tem, nos resultados obtidos.

O estudo de outros casos de transmissão sonora de ruídos de percussão não abordados neste trabalho, nomeadamente a transmissão entre compartimentos na diagonal, também seria relevante analisar e comparar face aos ensaios realizados neste trabalho.

O alargamento da abrangência do método de estimação do índice de isolamento a sons de percussão proposto pela norma EN 12354, a outro tipo de edifícios, que não os de habitação, seria uma ferramenta importante a utilizar, na conceção de diferentes tipos de edifícios, salvaguardando também nesses casos, o cumprimento de requisitos regulamentares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acoubat Sound – Version 3.1 (1998-2001). Centre Scientifique e Technique du Bâtiment (CSTB), Paris

Domingues, O. (2008). "A Acústica nos Edifícios – Pavimentos e revestimentos de pavimentos, isolamento a sons de percussão". LNEC, 1ª edição, Lisboa

EN 12354-2: 2000. Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 2: Impact sound insulation between rooms

EN ISO 717-2: 2013. Acústica. Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 2: Isolamento sonoro a sons de percussão

Galante, R. (2010). "Análise comparativa dos métodos normalizados de previsão de transmissão sonora por via estrutural". Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa

Mateus, D. (2005). "Influência do ruído aéreo gerado pela percussão de pavimentos na determinação de $L'_{n,w}$ "

Mateus, D. Pereira, A. "Transmissão indireta do ruído de percussão: proposta de metodologias simplificadas de previsão". VIII Congresso Ibero-americano de Acústica, Évora, Portugal, 1-3 Outubro 2012, pp 1-9

Mendes, A., Godinho, L., Pereira, A., António, J. "Ruídos de Percussão em Edifícios. Disciplina de Acústica Aplicada". Departamento de Engenharia Civil da F.C.T. da Universidade de Coimbra, edição de 2012/2013, Coimbra

NP EN ISO 140-7: 2008. Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 7. Medição, *in situ*, do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão

Patrício, J. (2010). "Acústica nos Edifícios". Verlag Dashofer, 6ª edição, Lisboa

Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios. Decreto-Lei nº 96/2008 de 9 de Junho

Silva, P., (2007). “Engenharia Acústica”. Ordem dos Engenheiros, Lisboa

Tadeu, A., Mateus, D., António, J., Godinho, L., Mendes, A. “Acústica Aplicada”. Departamento de Engenharia Civil da F.C.T. da Universidade de Coimbra, 2010, Coimbra

ANEXOS

ANEXO A – NÍVEL SONORO DE PERCUSSÃO

Nível sonoro de percussão na transmissão da sala SC 2.1 para a Câmara Acústica (dB)																		
Frequência	S0			S1			S2			S3			S4			S5		
	A	B	A-B															
50	63.0	40.5	22.5	68.4	40.5	27.9	70.4	40.5	29.9	59.4	40.5	18.9	66.2	40.5	25.7	66.7	40.5	26.2
63	59.0	35.9	23.1	57.8	35.9	21.9	57.4	35.9	21.5	55.1	35.9	19.2	57.2	35.9	21.3	57.7	35.9	21.8
80	56.5	31.1	25.4	54.6	31.1	23.5	55.4	31.1	24.3	53.4	31.1	22.3	54.2	31.1	23.1	57.4	31.1	26.3
100	64.0	31.8	32.2	60.7	31.8	28.9	62.5	31.8	30.7	59.9	31.8	28.1	62.5	31.8	30.7	64.4	31.8	32.6
125	63.9	23.6	40.3	63.4	23.6	39.8	63.1	23.6	39.5	61.1	23.6	37.5	64.7	23.6	41.1	64.7	23.6	41.1
160	70.0	26.0	44.0	66.3	26.0	40.3	68.1	26.0	42.1	66.1	26.0	40.1	68.0	26.0	42.0	70.3	26.0	44.3
200	70.4	24.7	45.7	66.4	24.7	41.7	69.3	24.7	44.6	67.7	24.7	43.0	69.4	24.7	44.7	73.5	24.7	48.8
250	71.8	23.1	48.7	67.4	23.1	44.3	67.9	23.1	44.8	67.1	23.1	44.0	69.4	23.1	46.3	72.0	23.1	48.9
315	72.7	20.7	52.0	67.3	20.7	46.6	68.7	20.7	48.0	68.6	20.7	47.9	71.2	20.7	50.5	73.3	20.7	52.6
400	74.9	19.7	55.2	66.9	19.7	47.2	70.3	19.7	50.6	69.7	19.7	50.0	70.0	19.7	50.3	73.3	19.7	53.6
500	75.3	24.5	50.8	64.8	24.5	40.3	70.1	24.5	45.6	66.4	24.5	41.9	63.6	24.5	39.1	70.4	24.5	45.9
630	76.1	19.9	56.2	62.3	19.9	42.4	69.8	19.9	49.9	64.7	19.9	44.8	59.7	19.9	39.8	69.1	19.9	49.2
800	77.4	17.9	59.5	59.4	17.9	41.5	66.7	17.9	48.8	61.9	17.9	44.0	56.3	17.9	38.4	66.1	17.9	48.2
1000	77.7	18.2	59.5	52.9	18.2	34.7	65.4	18.2	47.2	60.9	18.2	42.7	53.2	18.2	35.0	63.5	18.2	45.3
1250	79.4	17.7	61.7	50.7	17.7	33.0	61.1	17.7	43.4	60.0	17.7	42.3	50.9	17.7	33.2	62.1	17.7	44.4
1600	81.7	14.2	67.5	50.1	14.2	35.9	59.4	14.2	45.2	58.2	14.2	44.0	48.0	14.2	33.8	61.7	14.2	47.5
2000	83.6	12.6	71.0	46.1	12.6	33.5	57.1	12.6	44.5	57.4	12.6	44.8	47.5	12.6	34.9	60.9	12.6	48.3
2500	79.2	12.2	67.0	40.3	12.2	28.1	50.0	12.2	37.8	50.8	12.2	38.6	41.0	12.2	28.8	53.7	12.2	41.5
3150	75.3	11.7	63.6	34.0	11.7	22.3	43.8	11.7	32.1	43.7	11.7	32.0	36.4	11.7	24.7	46.9	11.7	35.2
4000	70.1	12.0	58.1	27.6	12.0	15.6	36.7	12.0	24.7	36.1	12.0	24.1	29.8	12.0	17.8	40.1	12.0	28.1
5000	65.3	12.5	52.8	24.3	12.5	11.8	30.7	12.5	18.2	29.2	12.5	16.7	27.1	12.5	14.6	33.9	12.5	21.4

A – Nível sonoro medido com a fonte em funcionamento; B – Nível de ruído de fundo;

Nível sonoro de percussão na transmissão da sala SC 3.1 para a sala 2.1 (dB)															
Frequência	S0			S1			S2			S4			S5		
	A	B	A-B												
50	57.1	42.8	14.3	55.6	42.8	12.8	53.9	42.8	11.1	51.9	42.8	9.1	53.9	42.8	11.1
63	54.0	46.0	8.0	51.8	46.0	5.8	51.8	46.0	5.8	49.4	46.0	3.4	52.0	46.0	6.0
80	52.1	39.5	12.6	50.8	39.5	11.3	52.1	39.5	12.6	50.7	39.5	11.2	51.9	39.5	12.4
100	57.6	38.9	18.7	56.8	38.9	17.9	56.7	38.9	17.8	56.2	38.9	17.3	57.1	38.9	18.2
125	61.7	39.0	22.7	61.0	39.0	22.0	61.1	39.0	22.1	60.3	39.0	21.3	61.0	39.0	22.0
160	63.1	36.5	26.6	61.5	36.5	25.0	61.7	36.5	25.2	61.1	36.5	24.6	61.9	36.5	25.4
200	61.5	39.0	22.5	59.8	39.0	20.8	61.5	39.0	22.5	60.8	39.0	21.8	61.1	39.0	22.1
250	62.5	36.2	26.3	61.6	36.2	25.4	61.3	36.2	25.1	62.9	36.2	26.7	63.0	36.2	26.8
315	64.3	33.8	30.5	64.1	33.8	30.3	61.2	33.8	27.4	64.8	33.8	31.0	65.1	33.8	31.3
400	64.4	31.7	32.7	62.2	31.7	30.5	62.6	31.7	30.9	62.0	31.7	30.3	64.8	31.7	33.1
500	67.4	31.5	35.9	62.7	31.5	31.2	64.5	31.5	33.0	58.3	31.5	26.8	63.3	31.5	31.8
630	68.9	31.1	37.8	60.2	31.1	29.1	63.4	31.1	32.3	55.2	31.1	24.1	61.2	31.1	30.1
800	69.3	32.9	36.4	56.1	32.9	23.2	60.7	32.9	27.8	52.0	32.9	19.1	56.2	32.9	23.3
1000	69.5	34.2	35.3	49.5	34.2	15.3	56.0	34.2	21.8	48.4	34.2	14.2	53.9	34.2	19.7
1250	71.3	31.2	40.1	49.1	31.2	17.9	51.9	31.2	20.7	47.7	31.2	16.5	53.8	31.2	22.6
1600	72.6	28.6	44.0	46.2	28.6	17.6	49.2	28.6	20.6	46.7	28.6	18.1	50.7	28.6	22.1
2000	74.2	26.0	48.2	42.5	26.0	16.5	49.3	26.0	23.3	47.5	26.0	21.5	50.3	26.0	24.3
2500	69.4	26.6	42.8	38.9	26.6	12.3	45.1	26.6	18.5	42.7	26.6	16.1	44.8	26.6	18.2
3150	63.5	22.7	40.8	36.2	22.7	13.5	42.3	22.7	19.6	38.1	22.7	15.4	41.1	22.7	18.4
4000	54.5	18.0	36.5	28.1	18.0	10.1	38.6	18.0	20.6	32.9	18.0	14.9	35.8	18.0	17.8
5000	47.3	15.0	32.3	23.8	15.0	8.8	35.5	15.0	20.5	29.8	15.0	14.8	32.1	15.0	17.1

A – Nível sonoro medido com a fonte em funcionamento; B – Nível de ruído de fundo;

Nível sonoro de percussão na transmissão da sala SC 3.1 para a Câmara Acústica (dB)															
Frequência	S0			S1			S2			S4			S5		
	A	B	A-B												
50	57.8	40.5	17.3	64.2	40.5	23.7	60.4	40.5	19.9	56.2	40.5	15.7	57.9	40.5	17.4
63	54.0	35.9	18.1	52.0	35.9	16.1	51.0	35.9	15.1	52.5	35.9	16.6	53.8	35.9	17.9
80	45.0	31.1	13.9	44.2	31.1	13.1	44.3	31.1	13.2	44.1	31.1	13.0	44.2	31.1	13.1
100	53.4	31.8	21.6	51.9	31.8	20.1	51.8	31.8	20.0	51.8	31.8	20.0	51.7	31.8	19.9
125	55.4	23.6	31.8	54.3	23.6	30.7	55.5	23.6	31.9	53.9	23.6	30.3	54.3	23.6	30.7
160	56.0	26.0	30.0	54.2	26.0	28.2	55.7	26.0	29.7	55.4	26.0	29.4	55.7	26.0	29.7
200	56.9	24.7	32.2	54.3	24.7	29.6	56.8	24.7	32.1	56.9	24.7	32.2	56.7	24.7	32.0
250	58.9	23.1	35.8	53.9	23.1	30.8	55.6	23.1	32.5	57.3	23.1	34.2	57.4	23.1	34.3
315	61.6	20.7	40.9	54.3	20.7	33.6	55.2	20.7	34.5	57.9	20.7	37.2	58.2	20.7	37.5
400	59.3	19.7	39.6	51.2	19.7	31.5	53.0	19.7	33.3	55.3	19.7	35.6	56.3	19.7	36.6
500	58.0	24.5	33.5	49.2	24.5	24.7	54.1	24.5	29.6	49.3	24.5	24.8	52.9	24.5	28.4
630	60.2	19.9	40.3	48.5	19.9	28.6	54.6	19.9	34.7	44.9	19.9	25.0	50.9	19.9	31.0
800	59.1	17.9	41.2	43.3	17.9	25.4	50.7	17.9	32.8	41.7	17.9	23.8	46.9	17.9	29.0
1000	57.8	18.2	39.6	35.3	18.2	17.1	45.7	18.2	27.5	34.7	18.2	16.5	41.2	18.2	23.0
1250	57.7	17.7	40.0	33.6	17.7	15.9	39.1	17.7	21.4	32.0	17.7	14.3	35.9	17.7	18.2
1600	57.8	14.2	43.6	30.4	14.2	16.2	32.7	14.2	18.5	31.2	14.2	17.0	33.8	14.2	19.6
2000	56.4	12.6	43.8	26.0	12.6	13.4	29.6	12.6	17.0	29.1	12.6	16.5	30.9	12.6	18.3
2500	50.5	12.2	38.3	20.9	12.2	8.7	23.6	12.2	11.4	23.3	12.2	11.1	25.4	12.2	13.2
3150	42.2	11.7	30.5	18.0	11.7	6.3	18.7	11.7	7.0	19.5	11.7	7.8	19.5	11.7	7.8
4000	32.6	12.0	20.6	15.7	12.0	3.7	15.7	12.0	3.7	15.2	12.0	3.2	15.8	12.0	3.8
5000	23.7	12.5	11.2	14.7	12.5	2.2	14.5	12.5	2.0	14.3	12.5	1.8	14.3	12.5	1.8

A – Nível sonoro medido com a fonte em funcionamento; B – Nível de ruído de fundo;

Nível sonoro de percussão na transmissão da sala SC 3.2 para a sala SC 3.1 (dB)															
Frequência	S0			S1			S2			S4			S5		
	A	B	A-B												
50	58.8	40.0	18.8	52.8	40.0	12.8	55.3	40.0	15.3	51.9	40.0	11.9	53.7	40.0	13.7
63	50.2	41.5	8.7	48.5	41.5	7.0	48.6	41.5	7.1	48.0	41.5	6.5	50.0	41.5	8.5
80	54.1	37.9	16.2	53.3	37.9	15.4	53.5	37.9	15.6	53.1	37.9	15.2	57.3	37.9	19.4
100	56.4	36.0	20.4	55.7	36.0	19.7	56.2	36.0	20.2	57.1	36.0	21.1	57.2	36.0	21.2
125	59.9	32.6	27.3	58.7	32.6	26.1	58.9	32.6	26.3	59.6	32.6	27.0	59.8	32.6	27.2
160	62.4	32.5	29.9	59.0	32.5	26.5	58.8	32.5	26.3	60.8	32.5	28.3	60.9	32.5	28.4
200	60.3	33.8	26.5	57.2	33.8	23.4	57.3	33.8	23.5	61.2	33.8	27.4	60.1	33.8	26.3
250	61.2	32.9	28.3	57.5	32.9	24.6	57.8	32.9	24.9	62.8	32.9	29.9	59.9	32.9	27.0
315	62.2	33.9	28.3	57.9	33.9	24.0	59.4	33.9	25.5	62.3	33.9	28.4	60.1	33.9	26.2
400	62.9	36.4	26.5	57.1	36.4	20.7	58.9	36.4	22.5	60.7	36.4	24.3	60.5	36.4	24.1
500	63.4	30.5	32.9	55.0	30.5	24.5	57.4	30.5	26.9	58.2	30.5	27.7	58.6	30.5	28.1
630	65.0	30.9	34.1	54.3	30.9	23.4	58.4	30.9	27.5	54.3	30.9	23.4	57.7	30.9	26.8
800	66.3	33.6	32.7	50.1	33.6	16.5	55.4	33.6	21.8	51.4	33.6	17.8	55.4	33.6	21.8
1000	66.7	34.3	32.4	43.7	34.3	9.4	51.1	34.3	16.8	48.4	34.3	14.1	52.5	34.3	18.2
1250	66.2	30.4	35.8	41.2	30.4	10.8	43.4	30.4	13.0	44.9	30.4	14.5	48.4	30.4	18.0
1600	62.2	27.1	35.1	34.3	27.1	7.2	35.8	27.1	8.7	42.3	27.1	15.2	44.5	27.1	17.4
2000	61.2	27.4	33.8	29.0	27.4	1.6	29.2	27.4	1.8	42.1	27.4	14.7	41.3	27.4	13.9
2500	57.3	24.6	32.7	27.4	24.6	2.8	25.7	24.6	1.1	43.4	24.6	18.8	41.6	24.6	17.0
3150	52.5	21.7	30.8	26.0	21.7	4.3	23.8	21.7	2.1	42.3	21.7	20.6	40.0	21.7	18.3
4000	43.5	19.8	23.7	23.6	19.8	3.8	20.7	19.8	0.9	35.6	19.8	15.8	33.7	19.8	13.9
5000	36.0	16.9	19.1	19.8	16.9	2.9	17.9	16.9	1.0	29.0	16.9	12.1	27.3	16.9	10.4

A – Nível sonoro medido com a fonte em funcionamento; B – Nível de ruído de fundo;

Nível sonoro de percussão na transmissão da sala SC 2.1 para a sala SC 3.1 (dB)															
Frequência	S0			S1			S2			S4			S5		
	A	B	A-B												
50	48.5	40.0	8.5	46.0	40.0	6.0	47.3	40.0	7.3	43.5	40.0	3.5	43.4	40.0	3.4
63	49.3	41.5	7.8	47.4	41.5	5.9	48.7	41.5	7.2	48.1	41.5	6.6	47.9	41.5	6.4
80	49.7	37.9	11.8	51.0	37.9	13.1	51.1	37.9	13.2	48.9	37.9	11.0	49.1	37.9	11.2
100	56.1	36.0	20.1	56.1	36.0	20.1	55.2	36.0	19.2	55.0	36.0	19.0	56.1	36.0	20.1
125	56.2	32.6	23.6	54.7	32.6	22.1	55.8	32.6	23.2	55.7	32.6	23.1	55.8	32.6	23.2
160	52.2	32.5	19.7	51.1	32.5	18.6	50.9	32.5	18.4	51.8	32.5	19.3	51.6	32.5	19.1
200	52.4	33.8	18.6	51.7	33.8	17.9	50.7	33.8	16.9	52.8	33.8	19.0	52.5	33.8	18.7
250	54.9	32.9	22.0	54.6	32.9	21.7	52.6	32.9	19.7	56.7	32.9	23.8	55.4	32.9	22.5
315	57.7	33.9	23.8	56.2	33.9	22.3	55.0	33.9	21.1	58.8	33.9	24.9	58.4	33.9	24.5
400	57.0	36.4	20.6	54.5	36.4	18.1	54.2	36.4	17.8	56.5	36.4	20.1	57.1	36.4	20.7
500	56.8	30.5	26.3	52.7	30.5	22.2	52.0	30.5	21.5	50.9	30.5	20.4	53.8	30.5	23.3
630	58.2	30.9	27.3	51.9	30.9	21.0	51.1	30.9	20.2	48.6	30.9	17.7	51.5	30.9	20.6
800	59.8	33.6	26.2	48.2	33.6	14.6	50.2	33.6	16.6	47.5	33.6	13.9	48.8	33.6	15.2
1000	59.5	34.3	25.2	42.5	34.3	8.2	46.0	34.3	11.7	43.5	34.3	9.2	47.1	34.3	12.8
1250	58.0	30.4	27.6	39.0	30.4	8.6	40.1	30.4	9.7	41.2	30.4	10.8	44.3	30.4	13.9
1600	56.3	27.1	29.2	32.3	27.1	5.2	33.7	27.1	6.6	38.9	27.1	11.8	40.3	27.1	13.2
2000	52.7	27.4	25.3	27.0	27.4	-0.4	30.3	27.4	2.9	39.3	27.4	11.9	38.4	27.4	11.0
2500	49.1	24.6	24.5	27.9	24.6	3.3	27.0	24.6	2.4	35.2	24.6	10.6	34.0	24.6	9.4
3150	42.3	21.7	20.6	20.8	21.7	-0.9	23.7	21.7	2.0	31.9	21.7	10.2	30.5	21.7	8.8
4000	35.4	19.8	15.6	23.6	19.8	3.8	20.4	19.8	0.6	28.1	19.8	8.3	25.2	19.8	5.4
5000	28.7	16.9	11.8	19.8	16.9	2.9	17.5	16.9	0.6	23.7	16.9	6.8	21.4	16.9	4.5

A – Nível sonoro medido com a fonte em funcionamento; B – Nível de ruído de fundo;

ANEXO B – TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Tempo de reverberação (média das medições), em segundos			
Frequência Hz	Sala SC 3.1	Câmara Acústica	Sala SC 2.1
50	-	-	1.5
63	-	-	1.7
80	4.3	5.5	2.9
100	4.9	4.8	2.2
125	4.6	4.8	1.6
160	4.6	6.0	1.7
200	4.2	5.2	1.8
250	3.4	5.2	1.7
315	2.2	5.0	1.5
400	2.4	5.0	1.2
500	2.4	4.6	1.1
630	2.4	4.1	1.2
800	1.9	3.7	1.2
1000	2.0	3.4	1.1
1250	2.0	3.2	1.1
1600	2.0	2.9	1.1
2000	1.9	2.6	1.1
2500	1.8	2.2	1.1
3150	1.7	2.0	1.1
4000	1.6	1.7	1.1
5000	1.4	1.4	1.0