

DESEMPENHO ACÚSTICO DE LAJES MISTAS MADEIRA-BETÃO – ESTUDO EXPERIMENTAL

PACS: 43.55.Ti

Luis Godinho¹; Alfredo Dias²; Carlos Martins³; Pedro Almeida³
1 CICC, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra
Rua Luis Reis Santos - Polo II da Universidade, 3030-788 Coimbra, Portugal
Tel. +351-239 797 198

lgodinho@dec.uc.pt

2 CIEC, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra
Rua Luis Reis Santos - Polo II da Universidade, 3030-788 Coimbra, Portugal
alfgdias@dec.uc.pt

3 Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra
Rua Luis Reis Santos - Polo II da Universidade, 3030-788 Coimbra, Portugal
{carlosmartins86@gmail.com; pdmvalmeida@hotmail.com}

ABSTRACT

In this paper the results of a laboratory test campaign performed in a set of reverberant chambers to assess the sound insulation of different slab solutions in what concerns airborne and impact sound insulation. The solutions analyzed were based in timber flooring, being afterwards reinforced with different elements. The effect of a concrete layer, with small thickness, and of a plasterboard ceiling was analyzed. Additionally, the performance of an innovative constructive solution based on the use of circular timber sections and cork-concrete. The presented results reveal an interesting acoustic behavior of the reinforced solutions, in particular considering a plasterboard ceiling.

RESUMO

No presente trabalho apresentam-se os resultados de ensaios laboratoriais, realizados em camaras acusticas reverberantes, para avaliar o isolamento de diferentes solucoes do ponto de vista do isolamento acustico a sons aereos e de percussao. As solucoes analisadas tiveram como base pavimentos em madeira, sendo reforçadas com diferentes elementos, como uma lamina de betao de pequena espessura e um tecto-falso em gesso cartonado. Adicionalmente, testou-se ainda o desempenho de uma solucao inovadora, baseada na utilizacao de seccoos de madeira circular e de betao com cortica. Os resultados obtidos revelam-se interessantes, em particular quando se incorpora um tecto-falso em gesso cartonado.

1. INTRODUÇÃO

As estruturas de pavimentos em madeira constituem soluções construtivas muito comuns em edifícios antigos, presentes em grande parte dos centros históricos de cidades europeias. Estas soluções, muito interessantes por recorrerem a materiais naturais, colocam, no entanto, algumas dificuldades em edifícios a reabilitar, onde se pretende atingir padrões de desempenho acústico (entre outros) elevados. Na realidade, em muitos casos o comportamento acústico menos interessante, uma das reclamações mais frequentes por parte dos utilizadores em edifícios com pavimentos de madeira, pode mesmo levar à adopção de outras soluções construtivas.

Na literatura técnico-científica, podem encontrar-se diversos estudos sobre o desempenho acústico destes pavimentos (veja-se [1-3]), assim como estudos propondo soluções para melhorar este desempenho. Um dos objectivos do presente trabalho é o de contribuir para uma melhor compreensão do potencial que estas soluções podem apresentar quando complementadas com outros elementos para reforço do isolamento acústico e estrutural, aplicados no âmbito de intervenções de reabilitação e reforço. Realizaram-se, para isso, ensaios laboratoriais em câmaras acústicas reverberantes para avaliar o isolamento de diferentes soluções do ponto de vista do isolamento acústico a sons aéreos e a sons de percussão. As soluções analisadas tiveram como base um pavimento de madeira, sendo depois reforçadas com diferentes elementos, nomeadamente com uma lâmina de betão de pequena espessura e com um tecto falso em gesso cartonado.

Verifica-se, ainda, que alguns estudos recentes (veja-se Branco e Godinho [4]) indicam que a utilização de betão incorporando cortiça poderá levar a um comportamento acústico mais interessante quando comparada com a utilização de um betão tradicional. No âmbito de um projecto de investigação desenvolvido na Universidade de Coimbra (projecto “LOGCork”), têm-se procurado definir novas soluções, altamente sustentáveis, que incorporam este tipo de betão em conjunto com madeira de secção circular. Por isso, no presente trabalho analisa-se também o desempenho deste tipo de solução construtiva inovadora, comparando-a com as soluções mais convencionais.

O presente documento encontra-se organizado da seguinte forma: em primeiro lugar descrevem-se sucintamente as condições laboratoriais e indicam-se as metodologias de ensaio seguidas; descrevem-se, depois, os provetes construídos para este estudo; por fim, apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos nos vários ensaios realizados.

2. METODOLOGIAS DE ENSAIO

Os ensaios laboratoriais realizados no âmbito do presente trabalho decorreram nas instalações do Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção (ITeCons), tendo para esse efeito sido usada uma infraestrutura laboratorial constituída por um conjunto de duas câmaras acústicas. Tratando-se do ensaio de soluções de pavimento, as câmaras utilizadas encontravam-se sobrepostas (Figura 1) sendo usadas quer na avaliação do isolamento a sons de percussão, quer na avaliação do isolamento a sons aéreos. Estas instalações laboratoriais respeitam os requisitos normativos impostos internacionalmente, sendo possível encontrar informação mais detalhada sobre a sua concepção e construção nos trabalhos de Tadeu et al. [5] e Moreira et al. [6].

De forma resumida, pode referir-se que as câmaras emissora e receptora apresentam as seguintes características:

- Emissora: forma cúbica com 3.75 m de aresta e paredes em betão armado com cerca de 25 cm de espessura;
- Receptora: forma paralelepípedica com 3.92 m x 3.92 m x 4.72 m e paredes duplas de betão armado e alvenaria com cerca de 50 cm de espessura)..

As medições foram realizadas recorrendo a um sistema de aquisição multianalisador Pulse, modelo 3560-C-T46, da marca “Bruel & Kjaer”, com cinco canais, microfones 1/2” do tipo 4190, da marca “Bruel & Kjaer”, montados, respectivamente, em girafas giratórias do tipo 3923, da

marca "Bruel & Kjaer". Para os ensaios de isolamento a sons aéreos foi usada uma fonte de ruídos aéreos, do tipo OMNIPOWER 4292, da marca "Bruel & Kjaer", e para os de percussão uma fonte do tipo 3207, da marca "Bruel & Kjaer".

Foram seguidos os procedimentos de ensaio e as exigências definidas nas normas ISO 10140-1:2010, ISO 10140-2:2010, ISO 10140-3:2010 e ISO 10140-4:2010. Após análise dos dados recolhidos e do tratamento de resultados, é determinada a curva de isolamento sonoro do elemento construtivo ensaiado e, seguindo as metodologias descritas nas normas NP EN ISO 717-1:2009 e NP EN ISO 717-2:2009, procede-se ao cálculo dos correspondentes índice de redução sonora ponderado, R_w , e de percussão normalizado, L_n,w .

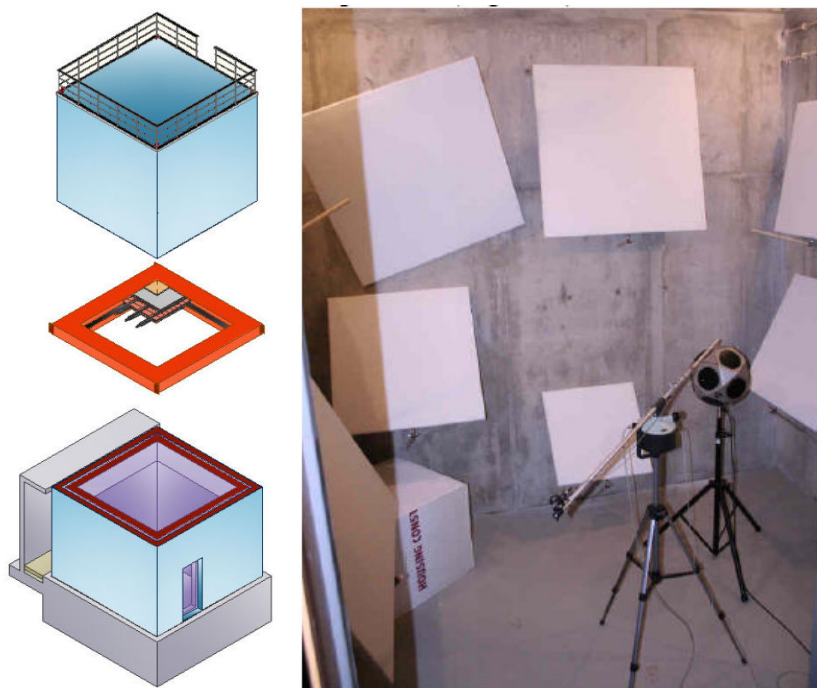


Figura 1 - Representação esquemática das câmaras acústicas verticais e imagem do interior da câmara receptora (retirado de [6]).

3. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS TESTADAS

Foram analisadas, neste trabalho, três soluções de laje com estrutura de madeira ou mista.

Laje de madeira: Laje constituída por pavimento em soalho de madeira de Pinheiro bravo português (espessura de 22mm), com encaixe do tipo "macho-fêmea". O pavimento foi pregado à parte estrutural do pavimento composto por 5 vigas de madeira lamelada colada de Casquinha branca (Classe GL24h), com dimensões de secção transversal 100mm x 200mm e afastamento entre eixos de 750mm.

Laje mista de madeira-betão: Laje com as mesmas características que a laje de madeira com excepção da adição de uma lajeta de betão da classe C20/25, com espessura de 50mm betonada sobre o pavimento de soalho. O comportamento compósito da laje mista madeira-betão é assegurado através de ligadores tipo cavilha (aço de construção da classe A500, com diâmetro de 8mm) inseridos ao longo do eixo das vigas de madeira com espaçamento de 10cm, através de pré-furação com 7mm de diâmetro. Adicionalmente foi considerado um revestimento flutuante em madeira (face superior), com 5mm de espessura, com base em aglomerado de cortiça.

Laje “LOGCork”: Laje mista constituída por 7 vigas de madeira de Pinheiro bravo português com secção circular (diâmetro entre 130 e 150mm) afastadas de 500mm. As vigas de madeira encontram-se solidárias entre si por uma lajeta de betão com cortiça produzido em laboratório através da incorporação de grânulos de cortiça expandida substituindo parte dos agregados constituintes de um betão normal (areia e brita 1). A lajeta foi realizada com uma espessura de 50mm e possui uma rede electrossoldada de malha quadrada de 100mm e diâmetro de 5mm. A ligação desta à madeira foi assegurada pelo mesmo tipo de ligador que a laje mista madeira-betão. Foi considerado também um revestimento flutuante em madeira com as mesmas especificações que o mencionado na laje madeira-betão.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Apresentam-se, nesta secção, os principais resultados obtidos na campanha de ensaios experimentais realizados em laboratório. Será, em primeiro lugar, avaliado o desempenho acústico, no que respeita ao isolamento a sons aéreos e a sons de percussão das lajes construídas. No sentido de procurar definir soluções com viabilidade construtiva, apresenta-se, depois, uma análise do efeito da incorporação de um tecto falso nas lajes desenvolvidas.

4.1. COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DOS DIFERENTES TIPOS DE LAJE

Neste primeiro conjunto de resultados, procura-se, antes de mais, compreender qual o desempenho acústico de cada uma das soluções construtivas testadas neste trabalho, considerando apenas soluções de base com revestimento superficial. Na Figura 2 apresentam-se duas imagens ilustrativas dos provetes testados já instalados entre a câmara inferior e superior. Note-se que a preparação dos ensaios a sons aéreos e de percussão implicou a adopção de algumas medidas para minimizar/eliminar as transmissões marginais, não desejáveis neste tipo de ensaio. De facto, durante as operações de instalação dos provetes, procedeu-se à colmatação de todas as frinchas periféricas com lã de rocha, de modo a eliminar a passagem de som por essa via; complementarmente, o perímetro dos provetes incorporava vigas de bordo em duas extremidades, impedindo assim a existência de aberturas relevantes entre as duas câmaras de ensaio; nas outras extremidades, a selagem das aberturas foi realizada através de lã-de-rocha.

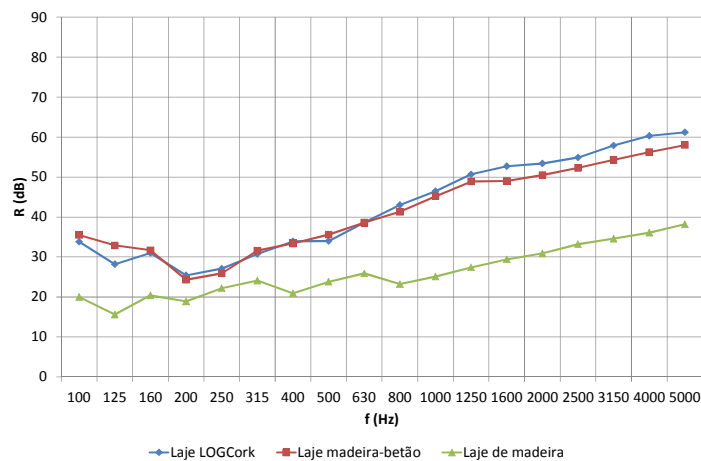


Figura 2 – Vista inferior dos provetes sem tecto-falso em situação de ensaio: a) laje de madeira; b) laje LOGCork.

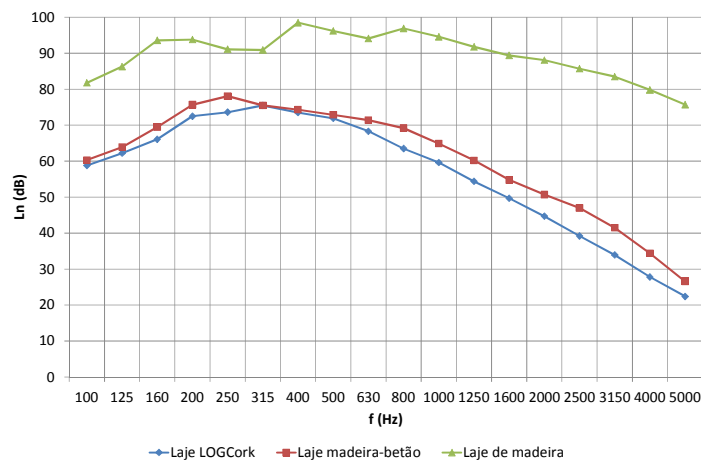
No que respeita ao acabamento superior, no caso das lajes mista madeira-betão e LOGCork, foi instalado um revestimentoflutuante em madeira, com base resiliente em aglomerado de cortiça natural de 5 mm; já no caso da laje de madeira, este acabamento foi o próprio soalho pregado, replicando, assim, uma situação de execução predominante em edifícios mais antigos.

Na Figura 3a) apresentam-se os resultados obtidos para o isolamento a sons aéreos das três soluções. A observação das três curvas de isolamento permite verificar que as duas soluções que incorporam uma lâmina de betão exibem um desempenho claramente superior, excedendo

a solução mais simples em cerca de 20 dB nas frequências mais altas. De facto, a laje de madeira com soalho pregado apresenta um desempenho acústico bastante pobre, nunca excedendo reduções sonoras de 40 dB, mesmo nas frequências mais altas. Este comportamento era esperado, uma vez que grande parte da área de separação entre as duas câmaras de ensaio apenas se encontra preenchida pela camada de soalho, com cerca de 22 mm de espessura, e apresenta, por isso, uma massa demasiado reduzida para permitir um comportamento acústico adequado. A incorporação das lâminas de betão nas outras duas soluções conduz a um incremento muito significativo do desempenho, sendo que a solução LOGCork excede mesmo o desempenho da solução mais convencional nas altas frequências. Julga-se que este incremento de desempenho estará relacionado com a utilização de betão com incorporação de cortiça que, embora mais leve, permite uma maior dissipação da energia no processo de transmissão.



a)



b)

Figura 3 – Isolamento avaliado em laboratório para as diferentes soluções de laje ensaiadas: a) Sons aéreos; b) Sons de percussão.

A Figura 3b) apresenta os resultados correspondentes às três configurações de lajes quando se avalia o desempenho destas em termos de isolamento ao ruído de impacto. Neste caso, é ainda mais evidente o desempenho deficiente da laje de madeira e soalho, com níveis de percussão normalizados registados na câmara inferior que se situam sistematicamente acima dos 90 dB, e excedem os 70 dB mesmo nas frequências mais altas. Claramente, neste caso a incorporação da camada de betão e do revestimento em soalho flutuante permite uma enorme melhoria de desempenho a sons de percussão, registando-se ganhos muito assinaláveis em todas as frequências, e que chegam a ultrapassar os 40 dB (em relação à laje de madeira) nas altas frequências. A comparação directa da laje LOGCork com a solução convencional mista permite ainda concluir que a primeira apresenta um melhor comportamento quando sujeita a este tipo de estímulo. Tal como referido no caso dos sons aéreos, julga-se que este melhor

desempenho se fica a dever a uma maior dissipação da energia pela incorporação dos grânulo de cortiça na composição do betão.

4.2. EFEITO DA INTRODUÇÃO DE UM TECTO FALSO

Depois de conhecer o desempenho das soluções de base, procura-se, agora, perceber qual o desempenho das lajes analisadas quando complementadas por um tecto falso, dando origem a soluções construtivas mais habituais em edifícios (nomeadamente em edifícios multifamiliares). Para este efeito, analisam-se as mesmas três configurações, incorporando agora um tecto falso do tipo GYPTEC BA13A, com 12.5 mm de espessura, instalado com uma caixa de ar de 400 mm parcialmente preenchida com lã-de-rocha de 70 kg/m³ e 70 mm de espessura (veja-se pormenor na Figura 4a). Apenas foi possível realizar ensaios para este tipo de solução considerando a laje de madeira e a de madeira-betão; por esse motivo, para o caso da laje LOGCork, o resultado foi extrapolado a partir da laje madeira-betão considerando:

$$R = R^{LOGCork} + \Delta R^{tecto} \quad (1)$$

$$L_n = L_n^{LOGCork} - \Delta L_n^{tecto} \quad (2)$$

com

$$\Delta R^{tecto} = R^{madeira-betão+tecto} - R^{madeira-betão} \quad (3)$$

$$\Delta L_n^{tecto} = L_n^{madeira-betão} - L_n^{madeira-betão+tecto} \quad (4)$$

Na Figura 4b) apresentam-se as curvas de redução sonora a sons aéreos determinadas para cada solução. Tal como nos casos da secção anterior, observa-se uma clara superioridade das soluções que incorporam laje de betão, sendo, no entanto, perceptível um considerável aumento da redução sonora proporcionada pela laje de madeira e soalho. De facto, a redução sonora é agora, em todos os casos, muito superior, sendo visíveis desempenhos muito interessantes para a laje LOGCork e mista madeira-betão. Vale a pena referir que, para todas as soluções, é visível uma quebra de isolamento em redor dos 2500 Hz, correspondendo certamente ao efeito de uma frequência crítica (associada ao tecto falso).

Analisando o desempenho destas soluções a sons de percussão através da Figura 4c), continua a ser claro o melhor desempenho das soluções com laje de betão, que atingem agora valores do nível sonoro de percussão normalizado bastante reduzidos, e sempre inferiores a 60 dB, para estas soluções. Também neste caso é claramente visível um pico de pior desempenho em redor dos 2500 Hz, associado a uma frequência crítica do sistema.

4.3. ÍNDICES DE ISOLAMENTO PONDERADOS

Para complementar os resultados apresentados nas secções anteriores, analisem-se agora os índices globais de isolamento a sons aéreos e a sons de percussão. O Quadro 1 apresenta os valores calculados para estes índices de acordo com as normas NP EN ISO 717-1:2009 e NP EN ISO 717-2:2009, para as várias situações analisadas.

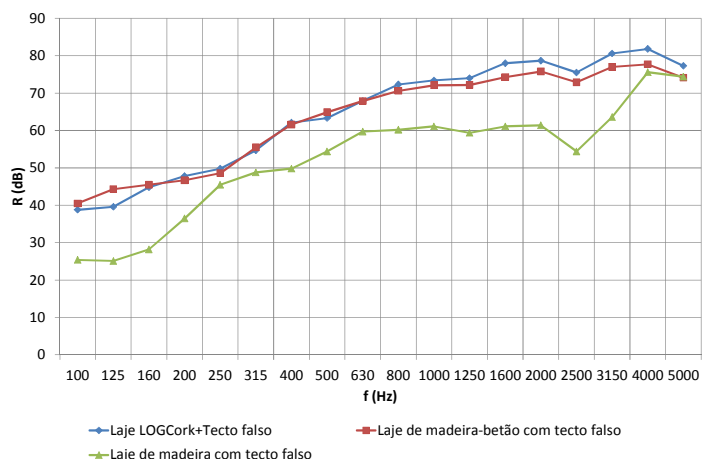
Quadro 1 – Índices ponderados de isolamento a sons aéreos e de percussão.

| Solução | Rw (dB) | Ln,w (dB) |
|--------------------------------------|---------|-----------|
| Laje de madeira | 27 | 96 |
| Laje de madeira-betão | 40 | 69 |
| Laje LOGCork | 40 | 67 |
| Laje de madeira c/ tecto falso | 51 | 69 |
| Laje de madeira-betão c/ tecto falso | 63 | 48 |
| Laje LOGCork c/ tecto falso | 63 (*) | 46 (*) |

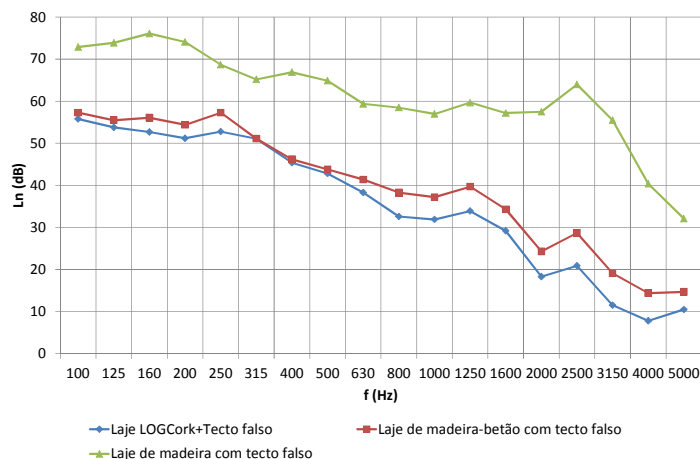
(*) valores extrapolados a partir dos ensaios conduzidos na laje de madeira-betão c/ tecto falso.



a)



b)



c)

Figura 4 – Análise comparativa do efeito da introdução de um tecto falso nas diferentes soluções: a) Pormenor da montagem do tecto-falso; b) Isolamento a sons aéreos; c) Isolamento a sons de percussão.

A observação do quadro apresentado permite reforçar as observações indicadas na secção anterior, sendo possível concluir que, a nível de desempenho acústico global, as soluções com incorporação de lâmina de betão apresentam um desempenho claramente melhor que as que apenas incorporam madeira. No caso dos sons aéreos, a laje mista madeira-betão e a laje LOGCork apresentam desempenhos globais (R_w) superiores em 13 dB à laje de madeira e soalho. Relativamente à introdução de um tecto falso, esta revela melhorias adicionais de cerca de 23 dB para as duas lajes com betão, e de 24 dB para a laje de madeira. Apesar do seu desempenho ser inferior, pode considerar-se que a laje de madeira com tecto falso poderá apresentar um desempenho no que respeita a sons aéreos compatível com a legislação portuguesa [7]. Para os sons de percussão, as diferenças nos índices calculados são ainda mais evidentes, com o desempenho da laje de madeira e soalho a revelar-se muito pobre e incompatível com as exigências regulamentares usuais em edifícios (mesmo considerando tecto-falso). Para esse caso, apenas a incorporação de camadas adicionais na superfície superior poderia permitir melhorias de desempenho. No que respeita à laje LOGCork e à laje mista madeira-betão, estas revelam um desempenho bastante melhor, mas ainda assim insuficiente para cumprir as exigências regulamentares actuais em Portugal, considerando edifícios de habitação ($L'_{n,w} \leq 60$ dB). No entanto, esta exigência é claramente cumprida

quando se considera a presença de um tecto falso, situação em que os índices de percussão normalizados descem abaixo dos 50 dB.

5. CONCLUSÕES

Analisaram-se neste trabalho soluções de pavimentos com base em madeira, reforçadas com diferentes elementos, como uma lâmina de betão de pequena espessura e um tecto-falso em gesso cartonado. Do ponto de vista do desempenho acústico global, ambas as soluções de reforço permitiram uma significativa melhoria do desempenho quando comparadas com as que apenas incorporam madeira. Testou-se também o desempenho de uma solução inovadora, baseada na utilização de secções de madeira circular e de betão com cortiça. Os resultados obtidos revelam-se interessantes, em particular quando se incorpora um tecto-falso em gesso cartonado.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado no âmbito do projecto “LOGCork”, com referência PTDC\ECM\099833\2008, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (Portugal). Os autores agradecem também o apoio disponibilizado pelo “ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção” e pela “Gyptec Ibérica – Gessos Técnicos, SA”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Johansson – *Low-Frequency Impact Sound Insulation of a Light Weight Wooden Joist Floor*, Applied Acoustics 44, 133-147, 1995.
- [2] W. Shi, C. Johansson, U. Sundback - *Assessment of the Sound Insulation of a Wood Joist Construction due to Different Types of Impact Sources*, Applied Acoustics 48(3), 195-203, 1996.
- [3] F. Ljunggren, A. Agren – *Potential solutions to improved sound performance of volume based lightweight multi-storey timber buildings*, Applied Acoustics 72, 231-240, 2011.
- [4] F. Branco, L. Godinho – *On the use of lightweight mortars for the minimization of impact sound transmission*, Construction & Building Materials 45, 184-191, 2013.
- [5] A. Tadeu, L. Godinho, F. Bandeira, J. António, P. Amado Mendes, I. Castro – *Câmaras móveis ITeCons para a realização de ensaios acústicos: parte I – descrição e projecto das câmaras*. Acústica 2008, 20-22 de Outubro, Universidade de Coimbra, Coimbra, Actas em CD-Rom, 2008.
- [6] A. Moreira, A. Tadeu, J. António, I. Castro, P. Amado Mendes, L. Godinho – *Câmaras móveis ITeCons para a realização de ensaios acústicos: parte III – preparação e caracterização das câmaras verticais*. Acústica 2008, 20-22 de Outubro, Universidade de Coimbra, Coimbra, Actas em CD-Rom, 2008.
- [7] Decreto-Lei n.º 96/2008, de 9 de Junho – *Regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios*, Lisboa, Portugal, 2008.