

AValiação DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DE DIVISÓRIAS COMPOSTAS POR PAINÉIS DE AGLOMERADO DE MADEIRA

Andreia Pereira^{1*}
Diogo Mateus²
Luís Godinho³
Osvaldo Gomes⁴

^{1,2,3} ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, Rua Luís Reis Santos - Pólo II da Universidade, 3030-788 Coimbra, Portugal

⁴ FINSA, Est. Nacional 234, Km 92.7, 3524-952 Nelas, Viseu, Portugal

RESUMO

Nos últimos anos tem-se verificado um aumento na procura de soluções e sistemas construtivos mais sustentáveis, mais leves e de “construção seca”, como é o caso dos sistemas em que se utilizam painéis de aglomerado de madeira.

Tratando-se de painéis maciços, utilizados em elementos de compartimentação vertical, com massa relativamente reduzida, quando comparada com a massa das soluções tradicionais (paredes de alvenaria), o isolamento acústico é, geralmente bastante limitado. Para situações onde se pretende atingir um desempenho acústico superior, a utilização deste sistema construtivo tem de ser complementada, por exemplo, através da adoção de estruturas de montante duplo e/ou com elementos de reforço de isolamento acústico. Neste contexto, são estudados neste trabalho um conjunto de soluções de compartimentação vertical, tendo por base o aglomerado de madeira. Pretende-se caracterizar o seu desempenho através de ensaios em laboratório e através de um modelo de simulação.

ABSTRACT

In recent years there has been an increase in the demand for more sustainable, lighter and "dry construction" solutions and construction systems, such as those in which wood board panels are used.

In the case of panels, used as vertical partitions, with relatively reduced mass, when compared to the mass of traditional solutions (masonry walls), the sound insulation is

usually quite low. For situations where it is intended to achieve a higher acoustic performance, the use of this construction system has to be complemented, for example, through the employment of double support structures and / or with acoustic insulation reinforcement elements. In this context, a set of vertical partitions are studied in this work, making use of wood boards. In this context, an experimental campaign performed in laboratory, as well as simulations, are carried out to characterize their performance.

Palavras Chave— Redução sonora, divisórias leves, aglomerado de madeira, barrotes de madeira, experimental, analítico.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, alternativas aos métodos construtivos tradicionais pesados (betão e alvenaria) utilizados em Portugal, têm vindo a emergir e a proliferar, designadamente os sistemas leves. O sistema construtivo de madeira, embora seja um sistema tradicional de construção, que nas últimas décadas caiu em desuso, é um exemplo desta crescente tendência de utilização. A utilização da madeira como material de construção renovável, capaz de armazenar CO₂ e com desempenho estrutural semelhante ao betão e aço, para alguns tipos de construção, tornam este material interessante na perspetiva da construção sustentável. Como aqueles ainda são os principais materiais utilizados na construção atualmente, e o setor da construção é um dos maiores contribuintes para a pegada de carbono global, sendo responsável por quase 40% das emissões anuais de GEE

* **Autor de contacto:** apereira@dec.uc.pt

Copyright: ©2023 Pereira et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

(gases de efeito estufa), 40 % do consumo global de recursos, 40% do uso de energia e 50% dos resíduos globais [1], a madeira é um material alternativo valioso [2]. A utilização de madeira (em condições de silvicultura responsável), por ser um sumidouro natural de carbono, poderá permitir ao setor da construção evitar as emissões substanciais de GEE associadas à utilização insustentável de materiais.

No caso das paredes em madeira, estas são constituídas por uma estrutura composta por barrotes de madeira (normalmente pinho), que é revestida por painéis leves (geralmente painéis de aglomerado de madeira, gesso cartonado, OSB ou placas cimentícias), sendo a caixa de ar preenchida com material absorvente, quando existem requisitos térmicos e/ou acústicos. Devido à sua massa reduzida e à conexão rígida entre o painel interior e exterior, estes elementos possuem, geralmente, um isolamento acústico reduzido.

Uma das técnicas mais eficazes para melhorar o seu desempenho acústico consiste em adicionar painéis, aumentando desta forma a massa do sistema. A estrutura de suporte em madeira pode prejudicar também o seu desempenho, pois a presença dos barrotes onde os painéis são fixos, geralmente de forma rígida (por aparafusamento), cria um caminho de transmissão de vibrações entre o painel exterior e o interior da parede, que pode ser mais crítico do que a transmissão que ocorre através da zona entre estes elementos. Uma solução possível para diminuir a “ponte acústica” que aí se forma, consiste em utilizar duas estruturas de perfis de barrotes, ao invés de uma, desacopladas, quebrando o caminho de transmissão de vibrações através dos perfis. Esta solução será analisada neste trabalho.

Ao longo da literatura sobre o desempenho acústico de sistemas de construção leves, as paredes de madeira são geralmente tratadas como paredes duplas. A transmissão sonora de paredes duplas em madeira foi investigada e descrita ao longo das últimas décadas. Uma revisão bibliográfica de modelos de transmissão sonora de paredes duplas com ligações entre o interior e o painel externo pode ser encontrada em [3], [4]. Além disso, Hongisto apresentou uma avaliação dos métodos simplificados mais referenciados de transmissão sonora fornecida por paredes duplas [5]. Este trabalho demonstrou que existe uma grande discrepância entre os resultados dados pelos diferentes métodos e apenas cinco dos dezassete modelos considerados podem lidar com as ligações entre painéis. Um destes modelos foi apresentado por Sharp em 1978 [6], sendo atualmente muito utilizado na perda de transmissão sonora de elementos leves de construção.

A influência de vários parâmetros no isolamento sonoro de paredes duplas leves tem sido estudada por diferentes investigadores através de medições. Foram realizados vários estudos paramétricos, focando no efeito dos perfis, incluindo a sua dimensão, espaçamento, geometria e material absorvente existente no espaço de ar. Um relatório fornecido pela Warnock [7] apresenta várias medições e estimativas da

classe de transmissão sonora (STC) para uma grande variedade de paredes duplas de em aço leve interior e exterior. De acordo com a literatura, o número e o tipo de perfis de aço, bem como a distância entre eles, são fatores que influenciam o desempenho do isolamento sonoro de uma parede dupla leve.

Recentemente, alguns programas de computador baseados em teorias científicas foram disponibilizados permitindo prever a perda de transmissão sonora fornecida por estruturas multicamadas, como o software INSUL [8,9,10]. Kurra [9] realizou uma comparação de algumas ferramentas computacionais, incluindo o software INSUL [8] que investiga as diferenças e semelhanças dos resultados obtidos através de um estudo de amostragem. Este trabalho apresenta também uma comparação entre os dados calculados e medidos, nos quais o INSUL demonstrou uma melhor correlação com os resultados experimentais.

Neste trabalho, é avaliado, experimentalmente em laboratório e através de um modelo de simulação, utilizando o software INSUL, o isolamento acústico de um conjunto de soluções construtivas de divisórias leves, compostas por uma estrutura de barrotes de madeira revestida por painéis de aglomerado de madeira, onde se avalia a influência da espessura da caixa de ar, presença de lã mineral, número de placas e sua ligação à estrutura de suporte.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho é avaliado o desempenho acústico de paredes divisórias, em aglomerado de madeira. Alguns aspetos importantes que poderão condicionar o desempenho acústico destas soluções consistem em: espessura da caixa-da-ar, presença de material absorvente podendo preencher total ou parcialmente a caixa de ar e tipo de ligações que são utilizadas para acoplar o aglomerado de madeira à estrutura de suporte. Estes aspetos são analisados neste trabalho. A Figura 1 ilustra a secção transversal das diferentes paredes leves que foram testadas, onde é possível identificar os diversos materiais utilizados e as condições de montagem.

A parede designada por Parede 1 será a parede de referência e foi utilizada para averiguar a possibilidade de aumentar o desempenho acústico.

Os testes experimentais foram conduzidos no laboratório de acústica do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, que dispõe de duas câmaras acústicas adjacentes que cumprem com os requisitos da série de normas EN ISO 10140 [11]. As paredes testadas foram introduzidas entre as câmaras acústicas, conforme se observa na Figura 2. O volume da câmara emissora é de 111 m^3 e o da câmara recetora de 122 m^3 . As paredes das câmaras são em betão, garantindo-se que as paredes opostas não são paralelas, de modo a evitar a geração de campos estacionários dentro de cada uma das câmaras. Estes compartimentos encontram-se separados entre si de modo a minimizar a transmissão por via marginal e a garantir um elevado

isolamento acústico entre eles. As paredes testadas, têm dimensões de 1.25m x 1.50m, tendo sido montadas numa parede de suporte com 10 m², com um desempenho acústico esperado, R_w superior a 62 dB.

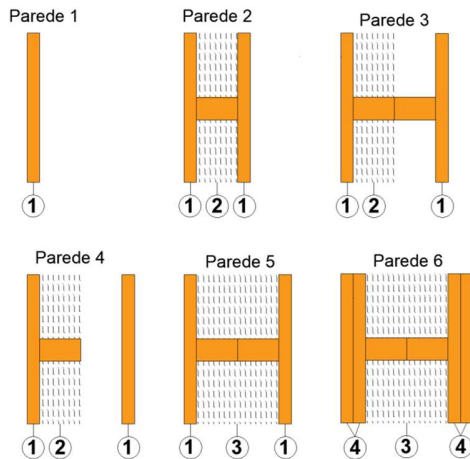


Figura 1. Seção transversal das seis paredes ensaiadas, onde se ilustra esquematicamente as condições de montagem. Materiais: 1 – Uma placa de aglomerado de madeira (15 mm) aparafusado ao barrote de madeira com 50 mm de espessura; 2 - Uma placa de lã mineral (40 kg/m³) com 50 mm de espessura; 3 – Duas placas de lã mineral (40 kg/m³) com 50 mm de espessura; 4 – Duas placas de aglomerado de madeira (15 mm) aparafusadas ao barrote de madeira.

A Figura 2 apresenta ainda a cadeia de medição utilizada, indicando as posições de medição e de fonte sonora. As medições foram efetuadas utilizando dois microfones (Bruel & Kjaer, modelo 4155, e GRAS – Sound & Vibration, model 40AF), com os respetivos pré-amplificadores, e um sistema de aquisição de sinal (Symphonie da 01dB). Para a fonte de ruído foi utilizada uma fonte omnidirecional, composta por 12 altifalantes (Modelo DO12 da 01dB), e um amplificador e gerador de sinal (Modelos 700 e RC-10 da 01dB). As medições foram efetuadas nas câmaras acústicas, de acordo com os procedimentos de medição definidos na série de normas ISO 10140, com a fonte posicionada em duas posições diferentes na câmara emissora e em 5 posições de microfone em cada uma das câmaras acústicas. Para medição do tempo de reverberação na câmara recetora foram utilizadas 2 posições de fonte e 3 pontos recetores, com 2 decaimentos por ponto.

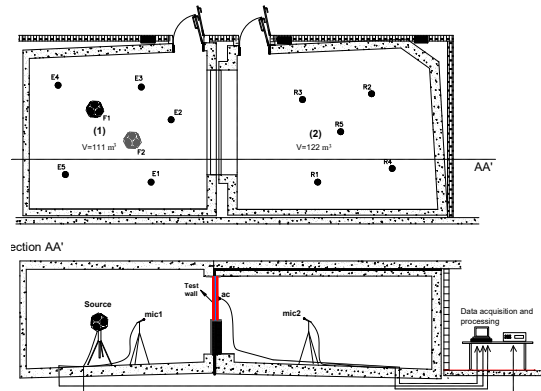


Figura 2. Esquema das câmaras acústicas ilustrando as posições de fonte, recetores e sistema de aquisição de sinal.

Na Figura 3 apresentam-se algumas imagens dos ensaios realizados.



Figura 3. Imagens de alguns dos ensaios realizados.

Para os casos representados na Figura 1, foi ainda efetuada a simulação, utilizando o software INSUL [8], do modo a poder melhor compreender alguns dos resultados obtidos experimentalmente. As simulações foram efetuadas assumindo que todos os materiais são isotrópicos, com exceção da lã mineral, existente na caixa de ar, formada pela estrutura de barrotes de madeira, que foi simulada como um absorvente através da definição da resistividade ao fluxo. As propriedades dos materiais utilizadas encontram-se na Tabela 1. O espaçamento entre barrotes considerado foi de 600mm.

Tabela 1: Propriedades dos materiais utilizados no software INSUL.

Material	Resistividade ao fluxo [Rayl/m]	E [GPa]	Densidade [kg/m ³]	Amort. Interno
Aglom. de madeira	-	3.272	700	0.02
Lã mineral	20 000	-	40	-

3. RESULTADOS

3.1. Parede 1

Na Figura 4 encontra-se a curva de redução sonora obtida experimentalmente para a Parede 1, representada na Figura 1. Nesta figura foi ainda incluído o resultado teórico. Através da análise destes resultados, verifica-se que o painel de referência, designado por Parede 1, apresenta um índice de redução sonora de $R_w=27$ dB, para a curva resultante do ensaio e um índice de $R_w=28$ dB para a curva teórica. Se adicionarmos os termos de adaptação (C e Ctr), o desempenho acústico será idêntico em ambos os casos. Observando ambas as curvas, verificamos que são próximas sendo possível identificar uma quebra na banda de frequência de 2000 Hz, associada à frequência crítica do painel. No caso da curva resultante do ensaio verifica-se ainda, na banda de frequência de 125 Hz, uma ligeira quebra relacionada com um modo de vibração do painel com 1.88 m^2 e que não é previsto pela curva teórica.

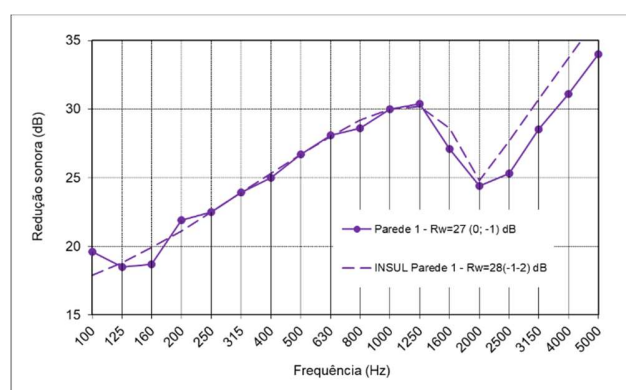


Figura 3. Curva de redução sonora referente à parede 1 resultante do ensaio e da previsão.

3.2. Paredes 2 e 3

Na Figura 4 apresentam-se os resultados obtidos para as Parede 2 e 3. A Parede 2 corresponde a uma divisória com painel duplo suportado por uma estrutura de barrotes de madeira acoplada, com secção transversal 30x50mm, sendo a caixa de ar de 50mm totalmente preenchida por lã mineral. No que concerne à Parede 3, esta é semelhante à Parede 2, no entanto, foi duplicada a caixa de ar, apresentando esta uma espessura de 100mm (ver Figura 1).

Relativamente à Parede 2, analisando o resultado experimental e o teórico, as curvas aproximam-se, prevendo ambas uma quebra na frequência crítica do painel com 15 mm e na frequência de ressonância do conjunto.

Comparando os resultados experimentais obtidos para as duas paredes, verifica-se um aumento no valor do índice de isolamento de 3 dB quando se duplica a caixa de ar, sendo o ganho visível em toda a gama de frequência. Analisando os resultados teóricos verifica-se um aumento de apenas 1 dB com a duplicação da caixa de ar, um resultado que se revela muito conservativo relativamente ao expectável.

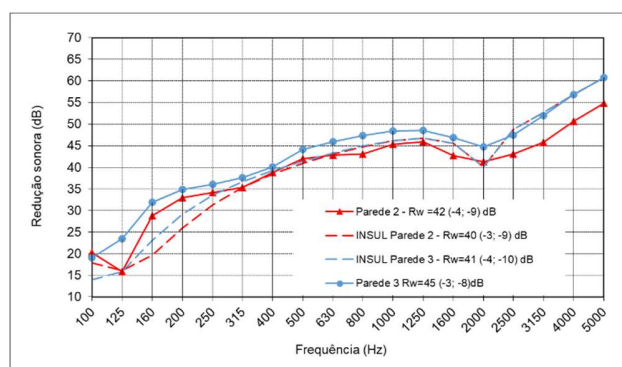


Figura 4. Curva de redução sonora referente à Parede 2 e 3 resultante do ensaio e da previsão.

3.2. Paredes 3 e 4

Na Figura 4 apresentam-se os resultados obtidos para as Parede 3 e 4. A Parede 3 corresponde a uma divisória com painel duplo suportado por uma estrutura de barrotes de madeira acoplada, com secção transversal 30x100mm, sendo a caixa de ar preenchida por lã mineral com 50 mm. No que concerne à Parede 4, esta tem uma caixa de ar e lã mineral com espessuras semelhantes à da Parede 3, no entanto, foi utilizada uma estrutura de barrotes de madeira, com secção transversal 50x50mm, encontrando-se o segundo painel desacoplado da estrutura de suporte. É espectável que a transmissão sonora através dos elementos de apoio diminua, se este caminho de transmissão for removido. Nesta figura estão ainda incluídos os resultados obtidos a partir do software INSUL.

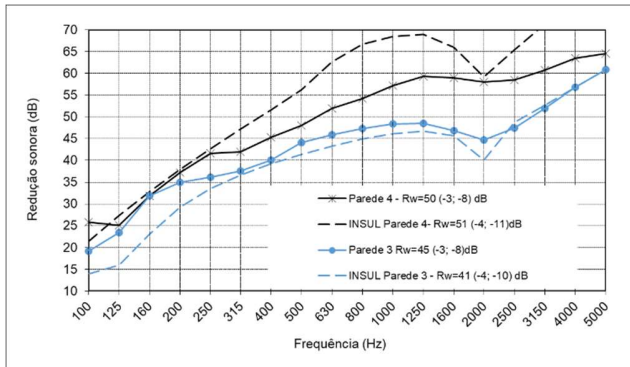


Figura 4. Curva de redução sonora referente à Parede 3 e 4 resultante do ensaio e da previsão.

Verifica-se que a Parede 3 apresenta um valor de $R_w = 45$ dB, e termos de adaptação C; Ctr respectivamente de -3 e -8 dB. Comparando o desempenho da Parede 4 relativamente à Parede 3, verifica-se um aumento de 5 dB no valor do índice, com o desacoplamento do segundo painel da estrutura de suporte, ocorrendo também um ganho significativo, ao longo da gama de frequências em análise, sobretudo a partir dos 200 Hz.

No caso da Parede 4, o resultado teórico, apresenta um índice muito próximo do resultado experimental, embora em frequência se verifique uma diferença significativa nas médias e altas frequências.

3.3. Paredes 3 e 5

A Figura 5 apresenta as curvas de redução sonora para a parede considerando painel duplo com caixa de ar de 100mm e estrutura de suporte acoplada. No caso da Parede 3, esta encontra-se parcialmente preenchida com lã mineral, de 50 mm, enquanto a Parede 5 está totalmente preenchida com este material.

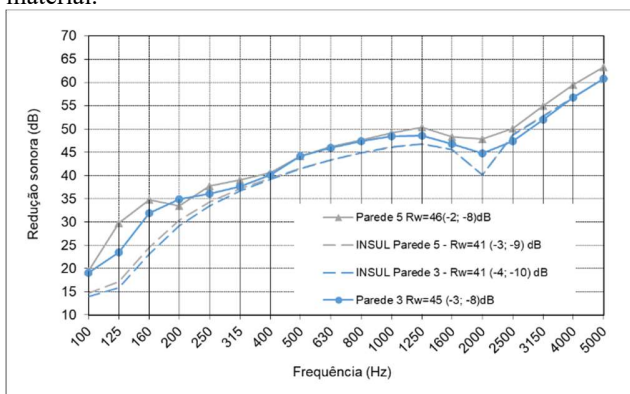


Figura 5. Curva de redução sonora referente à Parede 4 e 5 resultante do ensaio.

Quando a caixa de ar se encontra totalmente preenchida com lã mineral observa-se um ligeiro aumento no índice de 1 dB, em relação ao resultado obtido pela Parede 3, bem como

ocorre um ligeiro ganho ao longo de todo o intervalo de frequências analisado. Já o modelo teórico prevê apenas um ligeiro aumento no desempenho, na baixa frequência, não se verificando diferenças no valor do índice.

3.4. Paredes 5 e 6

Na Figura 6 apresentam-se as curvas de redução sonora referentes à Parede 6, apresentando dois painéis acoplados de cada lado da estrutura de suporte acoplada, duplicando desta forma a massa em relação à Parede 5. A partir dos resultados do ensaio verifica-se um aumento de 4 dB, no índice, com um valor de $R_w = 50$ dB. De referir ainda que o termo de adaptação Ctr indica uma melhoria nas baixas frequências. Já os valores da simulação apresentam-se ligeiramente diferentes dos resultados de ensaio obtidos com um índice final de $R_w = 48$ dB, embora na baixa frequência as diferenças sejam maiores.

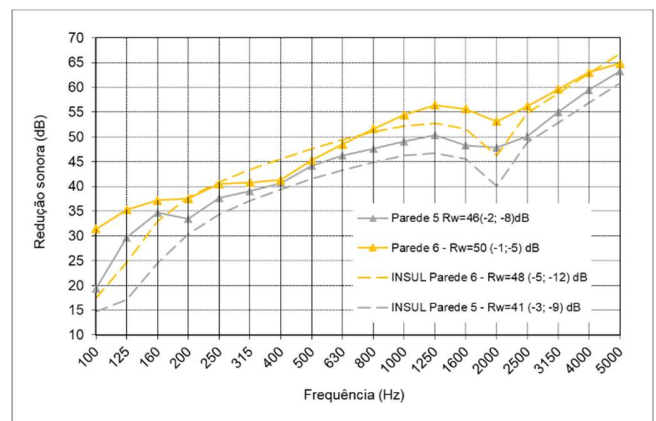


Figura 6. Curva de redução sonora referente às Paredes 5 e 6 resultante do ensaio.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi avaliado, experimentalmente, em laboratório e através de um modelo teórico, o isolamento acústico de um conjunto de soluções construtivas de divisórias leves, com estrutura composta por barrotes de madeira revestida por painéis de aglomerado de madeira. Analisou-se a influência da espessura da caixa de ar, preenchimento com lã mineral, número de placas e sua ligação à estrutura de suporte. A partir dos resultados de ensaio tiraram-se as seguintes conclusões: no que concerne à divisória composta por painel duplo suportado rigidamente por uma estrutura de barrotes de madeira, todos os resultados obtidos situaram-se entre 42 e 46 dB; a duplicação da caixa de ar de 50mm para 100 mm permitiu obter um aumento de 3dB, sendo o ganho visível em toda a gama de frequência; o preenchimento total da caixa de ar com lã mineral relativamente ao preenchimento parcial conferiu um ganho de 1 dB; a duplicação dos painéis de cada lado da estrutura de suporte possibilitou a obtenção de um índice de redução

sonora de 50 dB (mais 4 dB) com melhoria de desempenho nas baixas frequências; um valor de $R_w = 50$ dB foi igualmente obtido quando se desacoplou um dos painéis da divisória composta por painel duplo (mantendo a espessura da caixa de ar), verificando-se um aumento de 5 dB no R_w . Relativamente aos resultados do modelo analítico, estes sempre são conducentes a valores de isolamento mais baixos, nem sempre prevendo o aumento de desempenho esperado, designadamente quando se altera espessura da caixa de ar destes elementos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o apoio facultado pela empresa FINSA, pelo programa Erasmus Mundus WAVES e pela Fundação para a Ciência e Tecnologia - FCT - no âmbito do projeto POCI-01-0145-FEDER-032061.

6. REFERÊNCIAS

- [1] United Nations. "Buildings and Climate Change: Summary for Decision Makers"; United Nations: New York, NY, USA, 2009; pp. 1–62.
- [2] Ramage, M.H.; Burrige, H.; Busse-Wicher, M.; Fereday, G.; Reynolds, T.; Shah, D.U.; Wu, G.; Yu, L.; Fleming, P.; Densley-Tingley, D.; et al. "The Wood from the Trees: The Use of Timber in Construction" *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, 68, 333–359.
- [3] J. Poblet-Puig, A. Rodríguez-Ferran. "The role of studs in the sound transmission of double walls". *Acta Acust. United Acust.*, 45, pp. 555-567 (2009).
- [4] S. Paul, G. F. Radavelli and A. R. da Silva. "Experimental evaluation of sound insulation of light steel frame façades that use horizontal inter-stud stiffeners and different lining materials". *Build. Environ.*, 94, pp. 829-839 (2015). <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.08.010>
- [5] V. Hongisto. "Sound insulation of double panels-comparison of existing prediction models" *Acta Acust. United Acust.*, 92, pp. 61-78 (2006).
- [6] B. H. Sharp. "Prediction Methods for Sound Transmission of Buildings Elements". *Noise Con. Eng. J.*, 11, pp. 53-63 (1978).
- [7] A. Warnock. "Estimation of Sound Transmission Class and Impact Insulation Class Rating for Steel Framed Assemblies", Tech. Rep., National Research Council Canada (2008).
- [8] INSUL. Software Version 8.0.12. Available online: <https://www.insul.co.nz/> (accessed on 11 April 2017).
- [9] S. Kurra. "Comparison of the models for predicting sound insulation values of multilayered building elements". *Appl. Acoust.*, 73, pp. 575–589 (2012). doi:10.1016/j.apacoust.2011.11.008
- [10] E. Roque, P. Santos, A. Pereira, Thermal and sound insulation of lightweight steel framed façade walls, *Science and Technology for the Built Environment*, 25:2, 156-176, (2019) DOI: 10.1080/23744731.2018.1506677
- [11] Standards ISO 10140 (2010). Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements.