

AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DE DIVISÓRIAS LEVES COM DESEMPENHO MELHORADO

Andreia Pereira¹, Diogo Mateus¹, Luís Godinho¹, Osvaldo Gomes²

¹ 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
{apereira@dec.uc.pt, diogo@dec.uc.pt, lgodinho@dec.uc.pt}

² FINSA, Est. Nacional 234, Km 92.7, 3524-952 Nelas, Viseu, Portugal
{o.ferreira@finsa.com}

Resumo

Nos últimos anos tem-se verificado uma procura crescente de sistemas construtivos mais sustentáveis, leves e de “construção seca”, designadamente fazendo uso de painéis de aglomerado de madeira.

Este tipo de painéis, utilizados em elementos de compartimentação, possuem massa reduzida, quando comparada com a massa das soluções tradicionais (paredes de alvenaria), sendo o isolamento acústico, geralmente reduzido. Para situações onde se pretende atingir um desempenho acústico superior, a utilização deste sistema construtivo tem de ser complementada com elementos de reforço de isolamento acústico e/ou com a separação não rígida entre camadas, por exemplo, através da adoção de estruturas de montante duplo.

Neste contexto, são estudados neste trabalho um conjunto de soluções de compartimentação vertical, tendo por base o aglomerado de madeira. O seu desempenho será caracterizado através de ensaios em laboratório utilizando provetes com diferentes dimensões e através de um modelo de simulação. Pretende-se caracterizar o desempenho acústico de divisórias duplas e avaliar o rigor das diversas abordagens na determinação do desempenho acústico destas divisórias.

Palavras-chave: Redução sonora, divisórias leves, aglomerado de madeira, experimental, analítico.

Abstract

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

In the case of these panels, with reduced mass, when compared to the mass of traditional solutions (masonry), the sound insulation is usually quite low. For situations where it is intended to achieve a higher sound insulation performance, the use of these construction systems has to be complemented, for example, through the employment of acoustic insulation reinforcement elements and / or using non-rigid separation among layers, for example, adopting double support structures. Within the scope of the present paper, a set of partitions are studied, making use of wood boards. In this context, the aim of the paper is to describe an experimental campaign performed in laboratory, using samples with different sizes as well as simulations, to characterize their performance. It is intended to evaluate the accuracy of the various approaches in order to determine the acoustic performance of these partitions.

Keywords: sound reduction index, lightweight partitions, agglomerated wood boards, experimental, analytic.

PACS no. 43.50.Jh,43.55.Rg, 43.55.Ti

1 Introdução

Ao longo dos últimos anos, têm vindo a emergir alternativas aos métodos construtivos tradicionais pesados (betão e alvenaria) utilizados em Portugal, designadamente os sistemas leves. O sistema construtivo de madeira 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 entre o do betão e do aço, para alguns tipos de construção, tornam este material interessante na perspetiva da construção sustentável. Como o betão e o aço 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 (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].

No caso das paredes divisórias, 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 que são revestidas com gesso cartonado, 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.

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 [7,8,9]. Kurra [8] realizou uma comparação de algumas ferramentas computacionais, incluindo o software INSUL [7] 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.

O presente trabalho constitui o desenvolvimento de um trabalho prévio apresentado no congresso Tecniacustica 2023 [10]. Em [10] foi avaliado, experimentalmente, em laboratório utilizando provetes de dimensões reduzidas e através de um modelo teórico, o isolamento acústico de um conjunto de soluções construtivas de divisórias simples 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. Neste trabalho, será avaliado, experimentalmente em laboratório utilizando provetes de dimensões normalizadas e

através de um modelo de simulação, utilizando o software INSUL, o isolamento acústico de um conjunto de soluções construtivas de divisórias duplas leves, compostas por uma estrutura de barrotes de madeira revestida por painéis de aglomerado de madeira, onde se pretende garantir um desempenho mais elevado.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Ensaaios

Neste trabalho é avaliado o comportamento acústico de paredes divisórias, em aglomerado de madeira, em que se pretende obter um isolamento melhorado, relativamente ao obtido para uma parede simples e que permita cumprir requisitos acústicos regulamentares.

Com base na análise dos resultados obtidos anteriormente [10], foram realizados os seguintes ensaios (ver Figura 1), em provetes com dimensões normalizadas. A definição das soluções construtivas a ensaiar teve por base a obtenção de desempenhos acústicos melhorados, bem como perceber a influência do acabamento geralmente utilizado. Estes ensaios foram realizados nas câmaras acústicas do DEC.

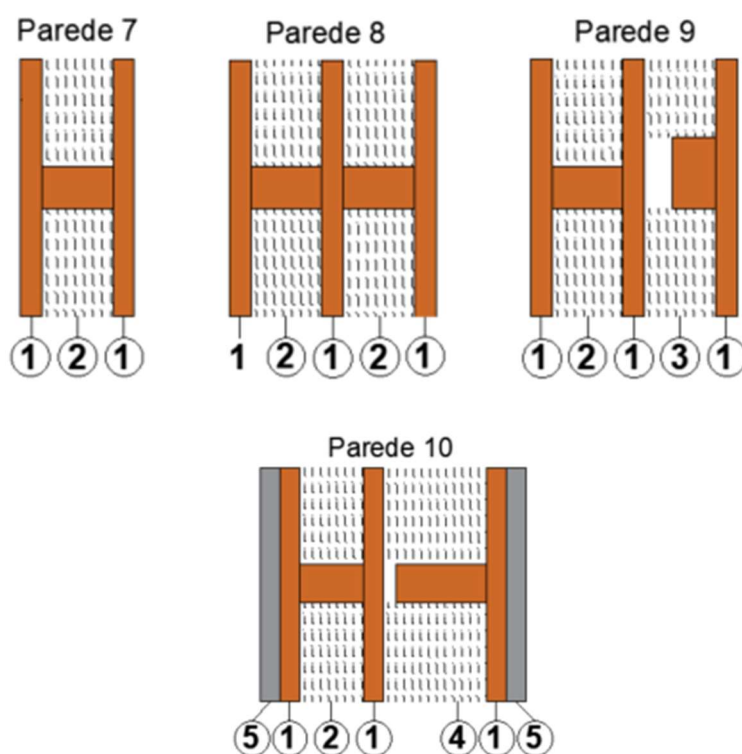


Figura 1. Secção transversal das quatro paredes ensaiadas, com dimensões normalizadas onde se ilustra esquematicamente as condições de montagem. Materiais: 1 – Uma placa de Superpan H tech P5 E-Z de 15 mm (aparafusada a uma estrutura de barrotes de madeira, quando adjacente); 2 – Caixa de ar formada por estrutura de barrote de madeira com 50 x30mm de espessura, preenchida com lã mineral (40 kg/m³) com 50 mm de espessura; 3 - Caixa de ar com 50mm, formada por estrutura desacoplada de barrote de madeira com 50 x30mm de espessura (colocados ao alto) preenchida com lã mineral (40 kg/m³) com 50 mm de espessura; 4 – Caixa de ar com 80mm, formada por estrutura desacoplada de barrotes de madeira com 70 x30mm de espessura e placa de lã mineral (40 kg/m³) com 80 mm de espessura; 5 – Placa de gesso cartonado (12.5 mm).

Na Figura 2 apresentam-se algumas imagens da montagem de alguns provetes ensaiados (com dimensões normalizadas).

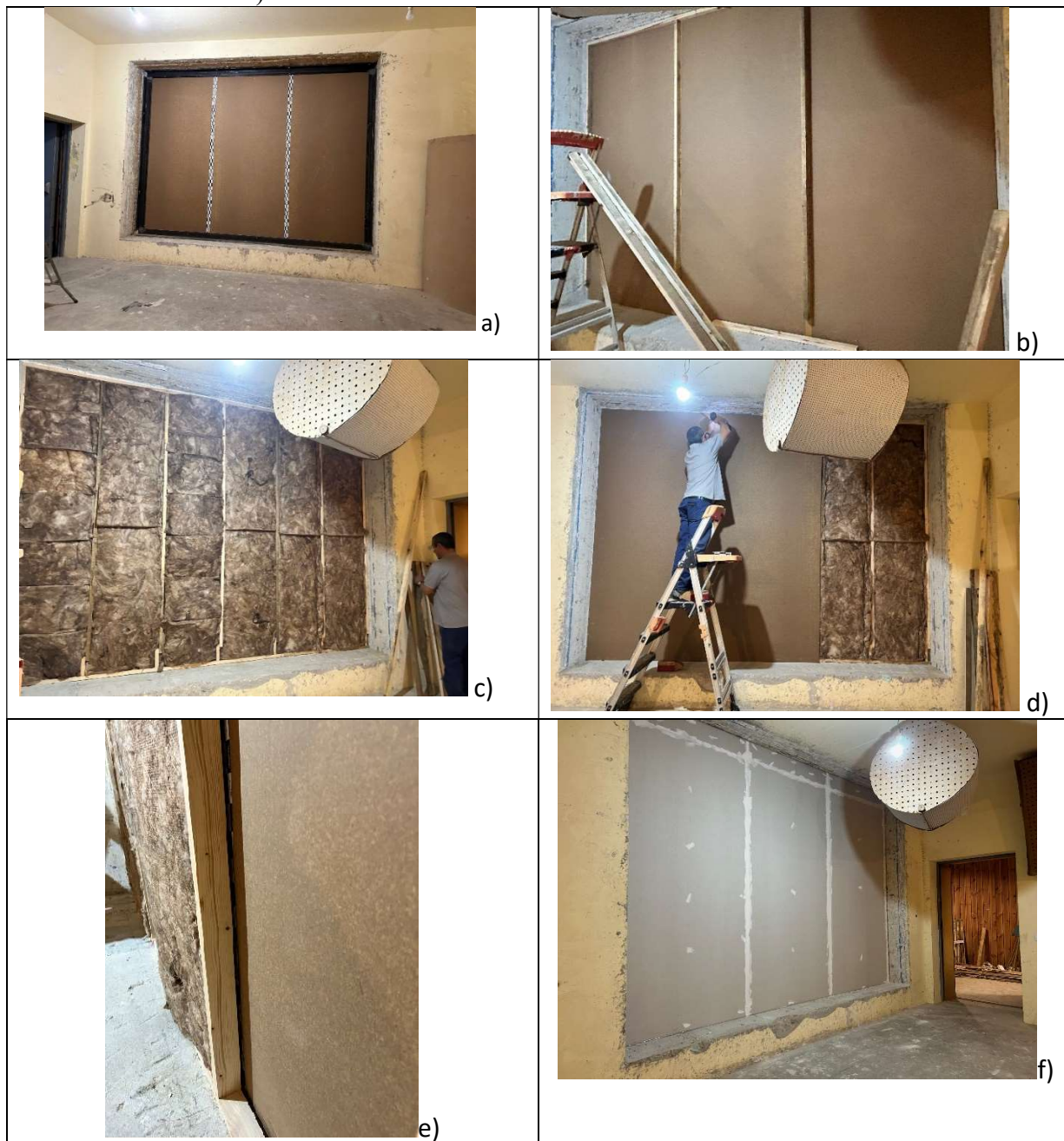


Figura 2. Imagens da montagem de alguns provete com dimensões normalizadas: a) vista geral da parede em que as juntas foram revestidas com cintas da Rothoblast ; b) estrutura de suporte da Parede 7; c) preenchimento da caixa de ar da Parede 7 com lâ mineral, d); aplicação do painel de fecho da Parede 7 do lado da câmara recetora e); pormenor da montagem da estrutura de suporte desacoplada da Parede 10; f) acabamento em gesso cartonado da Parede 10.

Os testes experimentais foram realizados 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 3. 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.

A Figura 3 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.

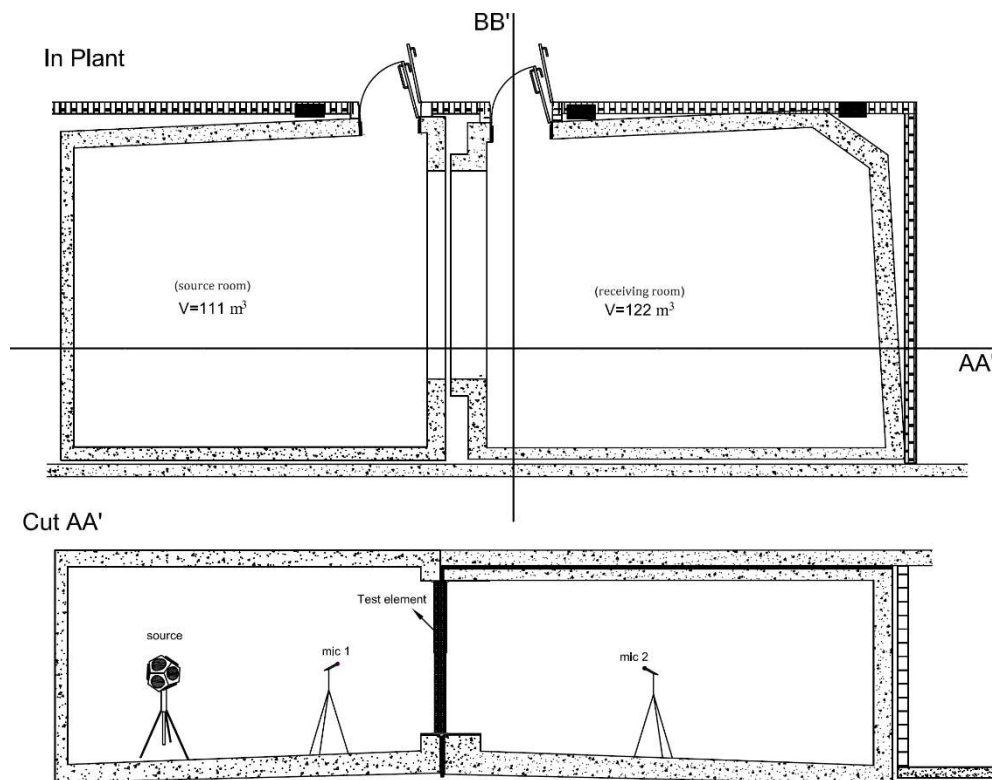


Figura 3. Esquema das câmaras acústicas ilustrando as posições de fonte, recetores e sistema de aquisição de sinal.

Na Figura 4 apresentam-se algumas imagens dos ensaios realizados utilizando provetes de dimensões reduzidas. Neste trabalho será efetuada a comparação entre o ensaio utilizando o provete de dimensões normalizadas (Parede 7) e o provete de dimensões reduzidas (1.25mx1.5m) com composição semelhante à Parede 7 (designado por Parede 2 conforme artigo [10]).

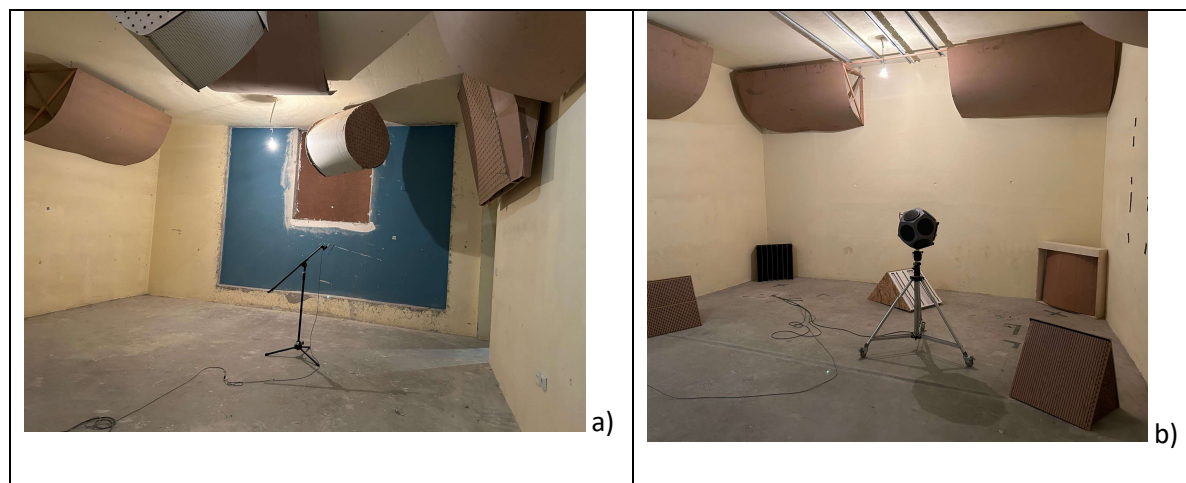


Figura 4. Imagens da montagem de alguns provetes de pequenas dimensões: a) vista geral do provete de pequenas dimensões; b) vista geral da câmara emissora.

2.3 Simulações

Para os casos representados na Figura 1, foram ainda efetuadas simulações, utilizando o software INSUL [7], do modo a verificar o rigor do modelo na previsão dos elementos construtivos em análise. As simulações foram realizadas assumindo que todos os materiais são isotrópicos, com exceção da lã mineral, existente na caixa de ar (além da estrutura de barotes de madeira), que foi simulada como um absorvente através da propriedade acústica resistividade ao fluxo. As propriedades dos materiais utilizadas encontram-se na Tabela 1. O espaçamento entre barotes considerado foi de 600 mm.

Tabela 1: Propriedades dos materiais utilizados no software INSUL.

Material	Resistividade ao fluxo [Rayl/m]	Módulo de Young [GPa]	Densidade [kg/m ³]	Amortecimento Interno
Superpan H tech P5 E-Z	-	3.27	700	0.02
Gesso cartonado	-	2.80	625	0.01
Lã mineral	20 000	-	40	-

Posteriormente, e por se tratar de uma solução frequentemente utilizada em obra (com vista a garantir uma uniformidade no acabamento), foi ainda definida uma Parede 11, conforme se representa na figura seguinte, cujo resultado foi obtido apenas por modelação, por se tratar de uma solução corrente e por se ter verificado que existia um resultado próximo entre a resposta experimental e analítica para solução semelhante (sem a camada de gesso cartonado).

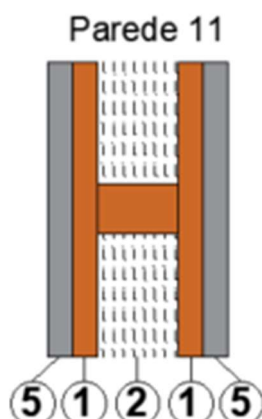


Figura 5. Esquema da solução construtiva que foi apenas simulada. Materiais: 1 – Uma placa de Superpan H tech P5 E-Z de 15 mm; 2 – Caixa de ar formada por estrutura de barrote de madeira, preenchida com lã mineral (40 kg/m³) com 50 mm de espessura; 5 – Placa de gesso cartonado (12.5 mm)

3 RESULTADOS

3.1 Influência da área dos painéis

Na figura seguinte apresentam-se os resultados efetuados às Paredes 2 e 7, que são paredes com composição semelhante, mas com áreas diferentes. Verifica-se que o resultado referente à Parede 7 (com cerca de 10m²) é ligeiramente inferior ao da Parede 2, sobretudo devido à diferença verificada nas baixas frequências. Na banda de frequência de 125 Hz, observa-se uma ligeira quebra no resultado referente à Parede 2 relacionada com um modo de vibração do painel com 1.88 m² e que não se verifica na Parede 7, por apresentar maiores dimensões (encontra-se fora da gama de frequências em análise).

Os resultados da simulação são próximos dos obtidos experimentalmente, pelo que se irá utilizar o modelo de simulação para avaliar, mais à frente, neste trabalho, a influência da introdução de um segundo painel de revestimento, em cada face, neste caso em gesso cartonado com 12.5mm.

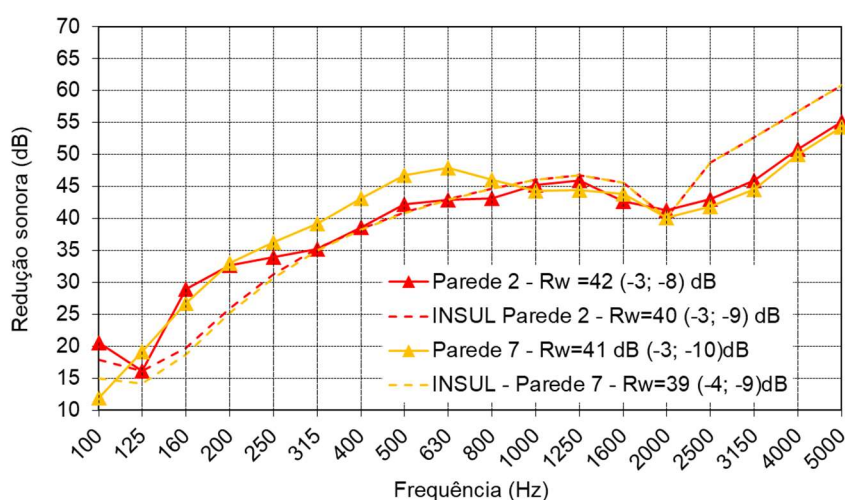


Figura 6. Curvas de redução sonora referentes às Paredes 2 e 7 resultantes do ensaio e da previsão.

3.2 Influência da utilização de estrutura dupla

Na figura seguinte apresentam-se os resultados obtidos para as Paredes 7 e 8, sendo a primeira composta por perfil estrutural simples e a segunda semelhante à Parede 7 tendo ainda sido adicionado um segundo perfil rigidamente ligado a esta parede e um painel de fecho Superpan H tech P5 E-Z, estando as duas caixas de ar preenchidas com lã mineral.

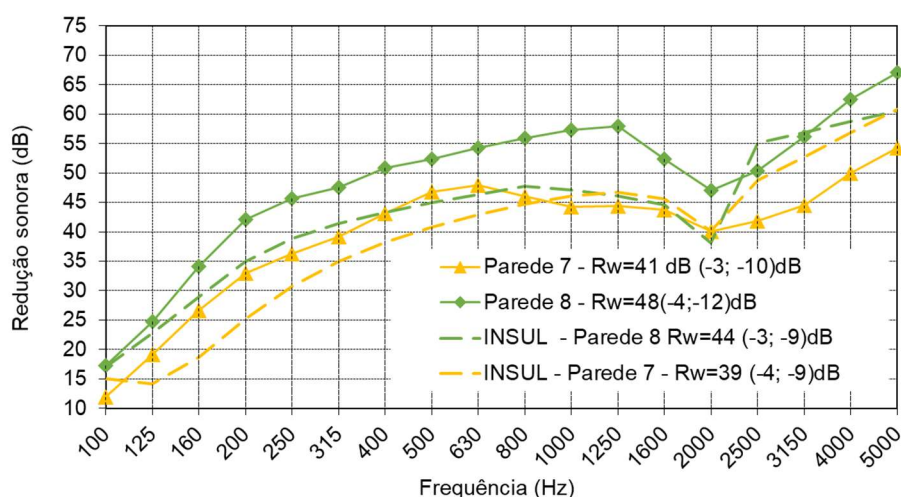


Figura 7. Curvas de redução sonora referentes às Paredes 7 e 8 resultantes do ensaio e da previsão.

Verifica-se que o índice de redução sonora experimental referente à Parede 8 é superior em 7 dB, ao índice obtido para a Parede 7. Relativamente aos resultados da simulação, observa-se que estes são mais conservativos (2 dB abaixo na Parede 7 e 4 dB abaixo na Parede 8), relativamente aos experimentais.

3.3 Influência do desacoplamento do duplo perfil

Na Figura 7 apresentam-se os resultados para as Paredes 8 e 9, ambas com duplo perfil, no entanto, na Parede 9, o segundo perfil estrutural do painel encontra-se desacoplado do primeiro, evitando-se desta forma a ponte acústica existente na zona do perfil, tendo, contudo, sido mantida a espessura da segunda caixa de ar. Com esta separação verifica-se um aumento de 6 dB no valor de R_w , nos resultados experimentais. Já os resultados da simulação, apesar de conduzirem a um ganho também de 6 dB nos valores de R_w , apresentam curvas de isolamento em frequência significativamente diferentes do resultado experimental na gama das médias e altas frequências, não se revelando, por isso, uma ferramenta eficaz na modelação em frequência deste tipo de sistema com dupla estrutura, no entanto, em termos de previsão do ganho conduz a valores semelhantes aos obtidos experimentalmente (acréscimo de 6 dB).

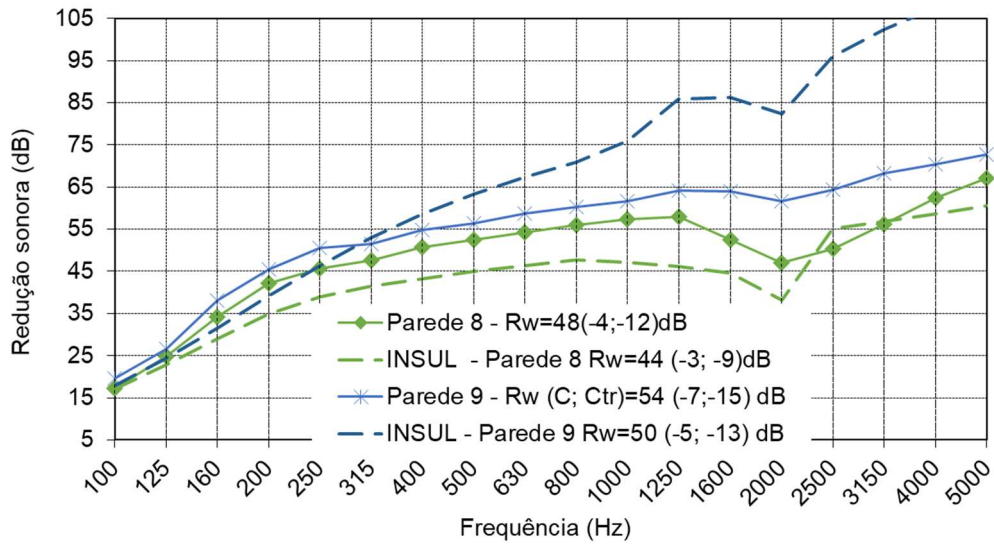


Figura 8. Curvas de redução sonora referentes às Paredes 8 e 9 resultantes do ensaio e da previsão.

3.4 Influência da introdução do acabamento e aumento da caixa de ar

Na figura seguinte apresentam-se os resultados referentes às paredes 7 e 11, que são paredes com um perfil onde se adicionou uma placa de gesso cartonado com 12.5 mm, habitualmente utilizada para acabamento final. Os resultados apresentados foram obtidos apenas por simulação. Verifica-se que a introdução das placas de gesso cartonado permitem aumentar o isolamento em 6 dB, para este caso, enquanto o aumento da caixa de ar para 70 mm juntamente com a introdução das placas possibilita um aumento de 7 dB.

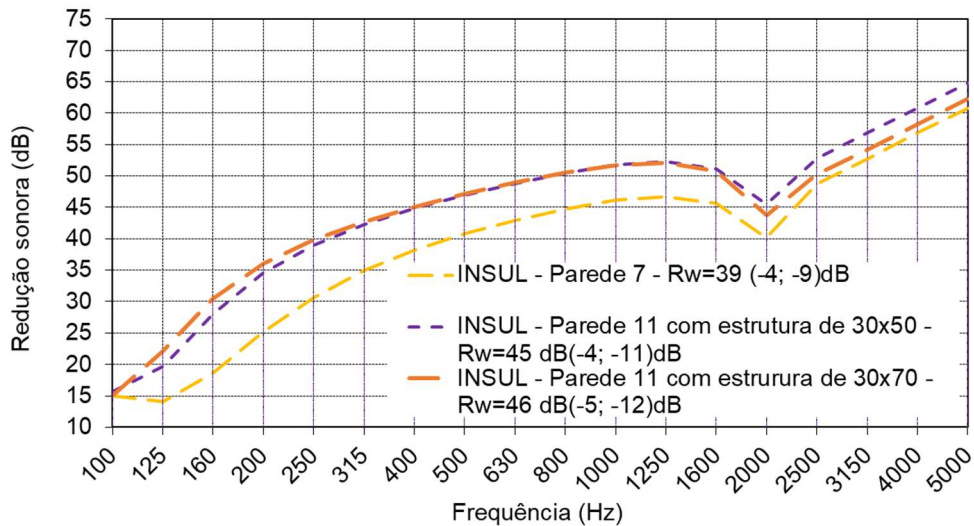


Figura 9. Curvas de redução sonora referentes às Paredes 7 e 11 resultantes de simulação.

Foi ainda testada experimentalmente uma Parede 10, obtida a partir da Parede 9 aumentando a caixa de ar para 80mm e adicionando uma placa de gesso cartonado em ambas as faces exteriores. A Figura 10 apresenta os resultados para ambas as Paredes 9 e 10. Verifica-se um aumento de 6 dB no isolamento com a introdução destas alterações, sendo o índice final de 60 dB. Já o resultado de simulação confere valores bastante superiores aos experimentais.

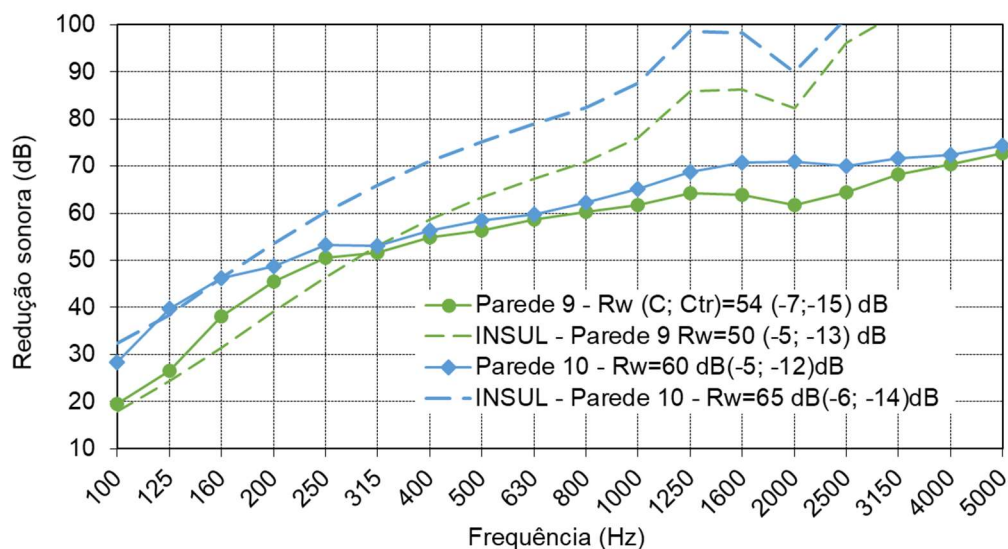


Figura 10. Curvas de redução sonora referentes às Paredes 9 e 10 resultantes do ensaio e da previsão.

4 RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Na tabela seguinte apresentam-se os índices de redução sonora obtidos a partir dos ensaios e do modelo de simulação.

Tabela 2 – Tabela resumo do desempenho acústico dos painéis analisados.

Solução Construtiva	Experimental			Modelo de simulação		
	Rw (dB)	C	Ctr	Rw (dB)	C	Ctr
Painéis de 1.25x1.5 m²						
Parede 2	42	-3	-8	40	-3	-9
Painéis com 3.63x2.69 m²						
Parede 7	41	-3	-10	39	-4	-9
Parede 8	48	-4	-12	44	-3	-9
Parede 9	54	-7	-15	50	-5	-13
Parede 10	60	-5	-12	65	-6	-14
Parede 11 com perfil de 50x30	-	-	-	45	-4	-11
Parede 11 com perfil de 70x30	-	-	-	46	-5	-12

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi 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 constituídas por painéis de aglomerado de madeira, onde se pretende garantir um desempenho mais elevado. A partir dos resultados obtidos para os provetes de dimensões normalizadas, e da comparação com os provetes de menores dimensões, retiraram-se as seguintes conclusões: i) a área do provete tem uma pequena influência nos resultados experimentais, com um valor de R_w 1 dB inferior no provete de maiores dimensões; ii) a duplicação do perfil estrutural e o acréscimo de mais uma placa de Superpan H tech P5 E-Z, permitiu aumentar o índice R_w em 7 dB, passando o R_w de 41 dB para 48 dB; iii) o desacoplamento do segundo perfil estrutural possibilitou um aumento no valor de R_w de 6 dB, relativamente à parede com perfil acoplado; iv) nas paredes de estrutura dupla, a aplicação do acabamento final em gesso cartonado, bem como o aumento da caixa de ar em 2 cm podem permitir um acréscimo no valor de R_w de 6 dB, relativamente à parede sem acabamento, com perfis desacoplados, tendo-se desta forma obtido o melhor resultado de R_w (60 dB); iii) nas paredes de estrutura simples, e neste caso da avaliação apenas por simulação, verifica-se que a aplicação do acabamento final em gesso cartonado possibilitou também um aumento de 6 dB no valor de R_w .

Relativamente à comparação dos resultados do modelo analítico com os resultados experimentais, verifica-se que os resultados previstos foram quase sempre conducentes a valores de isolamento mais baixos (com exceção da Parede 10), nem sempre prevendo o aumento de desempenho esperado, designadamente quando se altera espessura da caixa de ar destes elementos ou no caso da utilização de duplo perfil estrutural.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT / MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) sob a Unidade de I&D Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering (ISISE), sob a referência UIDB / 04029/2020 (doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020), e sob o Laboratório Associado Sistemas de Produção Avançada e Inteligentes (ARISE) sob a referência LA/P/0112/2020. Os autores gostariam ainda de agradecer o apoio facultado pela empresa FINSA.

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] INSUL. Software Version 8.0.12. Available online: [https:// www.insul.co.nz/](https://www.insul.co.nz/) (accessed on 11 April 2017).
- [8] 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
- [9] 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
- [10] A Pereira, D. Mateus, L. Godinho, O. Gomes, “Avaliação do isolamento acústico de divisórias compostas por painéis de aglomerado de madeira” , *Tecniacustica 2023*, Cuenca, 18-20 Outubro, 2023.
- [11] Standards ISO 10140 (2010). Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements.