



ITeCons

Instituto de Investigação e Desenvolvimento
Tecnológico em Ciências da Construção



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Relatório resumo: “Soluções construtivas multicamada para paredes com recurso a subprodutos sustentáveis e com elevado desempenho energético e acústico”

Requerente:

Gyptec Ibérica – Gessos Técnicos, S.A.
Projecto Vale I&DT, com a ref.^a 18801

RELATÓRIO DE INVESTIGAÇÃO APLICADA **(RIA007/12)**



Relatório Resumo

Soluções construtivas multicamada para paredes com recurso a subprodutos sustentáveis e com elevado desempenho energético e acústico

1 - Enquadramento e âmbito do presente relatório

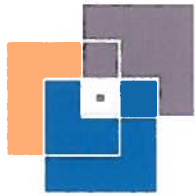
O presente relatório surge no âmbito do projecto " Soluções construtivas multicamada para paredes com recurso a subprodutos sustentáveis e com elevado desempenho energético e acústico", desenvolvido no ITeCons por solicitação da empresa Gyptec Ibérica – Gessos Técnicos, S.A., no âmbito do projecto Vale I&DT, com a ref.^a 18801.

A Gyptec Ibérica – Gessos Técnicos, S.A., desenvolve parte da sua actividade na produção de placas de gesso laminado, através de métodos não poluentes e ambientalmente sustentáveis, visando o fabrico de gessos técnicos de elevada qualidade, com recurso à melhoria contínua dos produtos e métodos de produção, mediante inovação permanente.

Pretende-se, com este projecto, desenvolver soluções construtivas que possibilitem colmatar problemas existentes ao nível do isolamento sonoro para sons de condução aérea, na fronteira entre espaços com funções distintas. O desenvolvimento e o aperfeiçoamento deste tipo de soluções, para elementos de compartimentação, possibilitarão ainda a redução da espessura destes elementos, relativamente às soluções tradicionais, favorecendo a optimização do espaço utilizável no interior dos edifícios.

Neste contexto, pretendeu-se desenvolver soluções construtivas com base em placas de gesso cartonado, também conhecidas como placas de gesso laminado, de modo a potenciar a sua utilização face às soluções tradicionais de paredes divisórias em tijolo cerâmico furado rebocadas em ambas as faces, comprovando as diversas vantagens que seguidamente se enumeram:

- 1- Redução significativa do peso das paredes divisórias, o que se traduz numa redução da massa global do edifício, conduzindo a um melhor comportamento estrutural do mesmo;
- 2- Redução significativa da mão-de-obra e do tempo de execução das paredes divisórias, uma vez que o recurso a elementos leves e pré-fabricados facilitará claramente a aplicação em obra;
- 3- Eliminação do uso de rebocos, os quais, mesmo que bem aplicados, estão sujeitos a retracção, acompanhada do conseqüente aparecimento de fissuras e respectivas patologias associadas;
- 4- Facilidade de reparação, na eventualidade de ocorrência de patologias, bastando apenas corrigir a zona afectada;
- 5- Melhoria significativa do desempenho acústico dos elementos de compartimentação;
- 6- Possibilidade de reutilização, mesmo que parcial, das soluções construtivas, em caso de se pretender efectuar uma remodelação/alteração de áreas funcionais do edifício, demonstrando elevada versatilidade na modelação de espaços do edifício.



2 - Introdução

A execução de paredes divisórias interiores com recurso a sistemas de construção a seco com placas de gesso laminado, tanto em construção nova como em obras de reabilitação, tem revelado um aumento significativo nos últimos anos. Com efeito, a eficiência na execução, os bons desempenhos em termos de isolamento térmico e acústico, a excelente versatilidade de acabamento, a facilidade de manuseamento e a limpeza em obra, e a possibilidade de reciclar os materiais utilizados são vantagens inegáveis destes sistemas construtivos, quando comparados com a habitual alvenaria de tijolo, tendo-se vindo a apresentar como boas alternativas ao mercado tradicional.

Adicionalmente, aqueles sistemas têm conseguido incorporar mais-valias interessantes, numa óptica de construção sustentável, apresentando-se com baixos impactes sobre o ambiente e sobre a saúde dos utilizadores dos edifícios [1] e permitindo minimizar consumos energéticos ao longo do seu processo construtivo e nos edifícios onde são aplicados.

O comportamento acústico de sistemas de construção a seco com placas de gesso tem sido analisado em vários trabalhos ([2], [3], [4]), contudo, com a evolução recente e o surgimento de diferentes opções, sente-se a necessidade de analisar e compreender melhor as diferentes opções que são disponibilizadas ao mercado.

Com o objetivo de recolher mais informação sobre o desempenho acústico de sistemas multi-camada com incorporação de placas de gesso laminado, foi realizada uma extensa campanha de ensaios laboratoriais, em câmaras acústicas. Foram analisadas soluções tradicionais, adoptadas correntemente, mas também soluções menos convencionais, envolvendo sistemas de montagem mais complexos e opções por vezes diferentes das usuais. No âmbito do presente trabalho foram construídos provetes laboratoriais com placas de gesso, do tipo divisória leve, tendo sido ensaiados para analisar o isolamento a sons aéreos conferido pelos sistemas construtivos.

Seguidamente, apresentam-se, de forma breve, as instalações laboratoriais e a metodologia de ensaio, que serviram de base a este estudo. Depois, apresentam-se as características dos principais sistemas ensaiados, indicando-se os materiais constituintes e as opções construtivas seleccionadas. Analisa-se também o desempenho acústico obtido (curva de isolamento determinada e valor do correspondente índice de isolamento sonoro) para um conjunto de soluções relevantes. Ao longo do relatório, tecem-se algumas considerações em face dos resultados atingidos com os sistemas construídos.





3 - Medição de isolamento sonoro em laboratório

Para permitir uma melhor compreensão da influência das diferentes variáveis introduzidas nos sistemas construtivos, adoptou-se uma abordagem maioritariamente laboratorial. Tratando-se, sobretudo, da análise de questões relacionadas com o isolamento sonoro de soluções construtivas, a técnica laboratorial utilizada baseou-se em ensaios de determinação do isolamento sonoro para sons de condução aérea nas câmaras acústicas horizontais existentes no ITECons, as quais se encontram esquematicamente representadas na Figura 1.

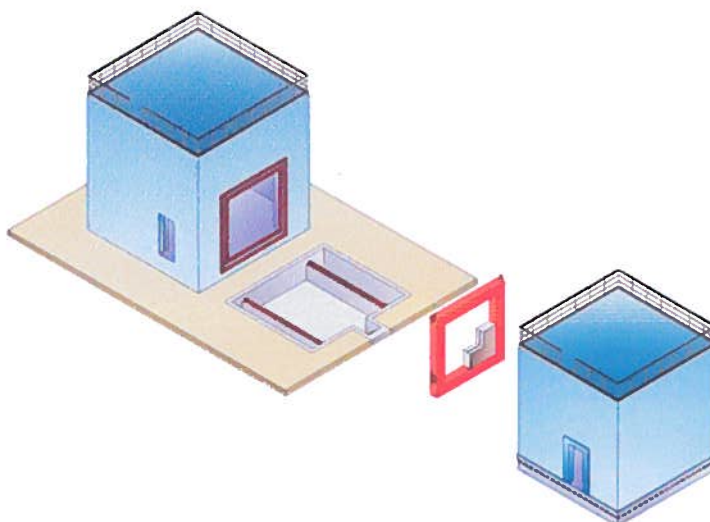


Figura 1. Representação esquemática das câmaras acústicas horizontais do ITECons

Estas instalações laboratoriais foram concebidas, projectadas e construídas de modo a respeitar os requisitos normativos impostos internacionalmente [5]. A nível nacional, aquelas câmaras acústicas são instalações ímpares, observando requisitos normativos bastante exigentes, tal como se documentou, de forma detalhada, nos trabalhos de Tadeu et al. [6] e Castro et al. [7]. Trata-se de um conjunto de câmaras acústicas móveis, que permitem uma elevada flexibilidade na gestão de recursos e programação de ensaios, garantindo sempre elevados níveis de precisão na execução dos ensaios acústicos. No âmbito deste trabalho de investigação, foram realizados ensaios para determinação laboratorial do isolamento sonoro para sons de condução aérea, tendo-se seguido procedimentos de ensaio de acordo com as normas ISO 10140-1:2010 [8], ISO 10140-2:2010 [9] e ISO 10140-4:2010 [10].

3.1 - Metodologia de ensaio laboratorial

Resumidamente, o procedimento de ensaio envolve a realização, em simultâneo, de diversas medições de pressão sonora, nas câmaras emissora e receptora, com recurso a microfones rotativos e na presença de uma fonte sonora omnidirecional, como se ilustra na Figura 2. Seguidamente, também de acordo com as normas anteriormente referidas, é avaliado o tempo de reverberação na câmara receptora, para uma combinação de posições de fonte, posições de paragem do microfone rotativo e número de decaimentos registados.

Os sistemas de paredes ensaiados nas câmaras acústicas do ITeCons apresentam dimensões de 3.16m x 3.16m, totalizando uma área de cerca de 10m².

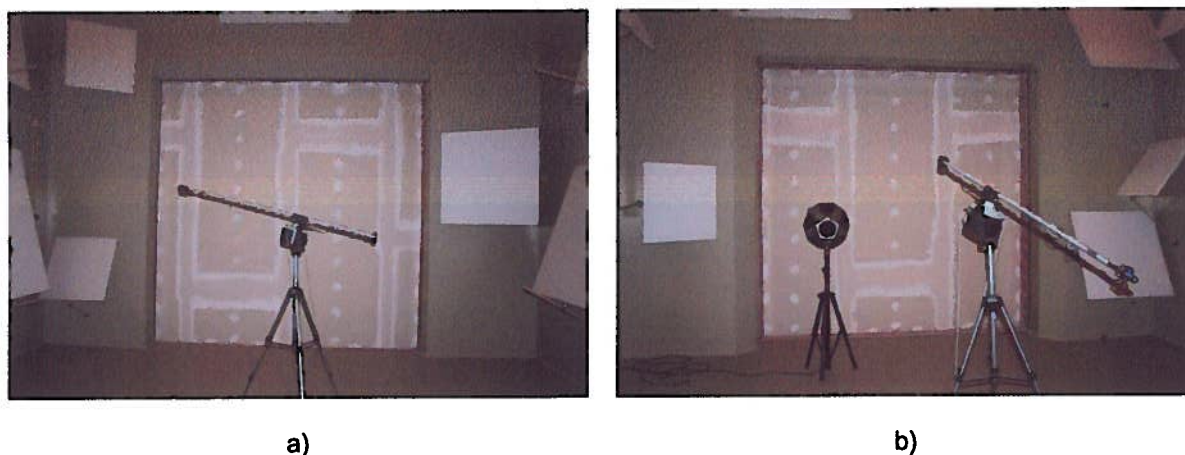


Figura 2. Fotografia ilustrativa de parede divisória ensaiada nas câmaras acústicas do ITeCons:
a) Câmara emissora; b) Câmara receptora

Após análise dos dados recolhidos e do tratamento de resultados, é determinada a curva de isolamento sonoro do elemento construtivo ensaiado e, seguindo a metodologia descrita na NP EN ISO 717-1:2009 [11], procede-se ao cálculo do correspondente índice de redução sonora ponderado, R_w , e dos termos de adaptação espectral, C e C_{tr} .

Complementarmente, determina-se o índice global de redução acústica ponderado A , R_A , com base na metodologia de cálculo adotada pelo "Documento Básico HR. Protección frente al ruido" [12], editado em Espanha em Setembro de 2009, que integra o "Código Técnico de la Edificación (CTE)". Este índice global revela especial interesse no caso da caracterização de produtos a comercializar em mercados internacionais, designadamente o espanhol.



4 - Descrição das amostras ensaiadas

O âmbito principal do trabalho de caracterização laboratorial efectuado centrou-se em soluções baseadas nas placas de gesso laminado, desenvolvidas e fabricadas pela Gyptec Ibérica – Gessos Técnicos, S.A.. No fabrico destas placas, utiliza-se, como matérias-primas, papel reciclado e uma forma de gesso sintético, o gesso “FGD - Flue Gas Desulphurisation”, um subproduto das centrais termoelétricas de Sines e do Pêgo, demonstrando claras preocupações de sustentabilidade ambiental, patentes em todo o processo produtivo [13].

As placas de gesso laminado Gyptec estão de acordo com a norma europeia EN 520:2004+A1:2009 “Gypsum plaster boards. Definitions, requirements and test methods” [13], tendo sido testadas nas gamas de placas “A-Standard”, “H-Hidrófuga”, “F-Anti-fogo” e “D-Alta dureza” e nas gamas de espessuras de 12.5mm e 15mm. Na Tabela 1 apresentam-se algumas propriedades das placas de gesso laminado utilizadas neste trabalho.

Tabela 1. Propriedades das placas de gesso laminado utilizadas

Designação	Espessuras (mm)	Massa superficial (kg/m ²)	Massa volúmica (kg/m ³)
BA13A	12.5	7.8	625
BA13H	12.5	8.5	680
BA13F	12.5	9.5	760
BA13D	12.5	10.3	824
BA15A	15	9.6	640

Tal como se referiu anteriormente, foi caracterizado em laboratório um elevado número de sistemas construtivos incorporando placas de gesso laminado, tendo havido necessidade, de construir um número significativo de provetes com área de cerca de 10m² ou, em alguns casos, de proceder à alteração da sua constituição após montagem de provete inicial. Na Figura 3, ilustram-se alguns aspectos e pormenores construtivos adoptados na construção/montagem das soluções caracterizadas.

Globalmente, os sistemas pretendem reproduzir condições de montagem representativas da prática corrente em obra, podendo agrupar-se em soluções para paredes divisórias, sistemas simples e sistemas complexos/especiais. Seguidamente, apresentam-se os resultados obtidos no desenvolvimento deste projecto, assim como uma breve análise do comportamento acústico de um conjunto de soluções seleccionadas.





5



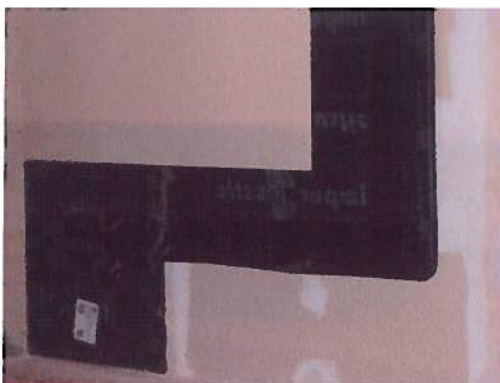
a)



b)



c)



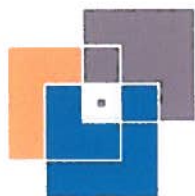
d)



e)

Figura 3. Exemplos de aspectos e pormenores construtivos: a) Estrutura de perfis metálicos; b) Estrutura de perfis metálicos preenchida com lã mineral; c) Aplicação de placa de gesso laminado; d) Aplicação de membrana acústica entre placas de gesso laminado; e) Aplicação de perfis metálicos desfasados





5 - Apresentação e análise de resultados obtidos

Foram caracterizados em laboratório cerca de seis dezenas de sistemas com recurso a gesso laminado, apresentando-se os respectivos resultados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados experimentais obtidos

Ref.º Relatório	Ref.º Ensaio	R _w (dB)	C; C _{1r}	C ₁₀₀₋₅₀₀₀ ; C _{1r,100-5000}	R _A (dBA) DB-HR
ACU156/12	E1	40	-4;-10	-4;-10	36.7
ACU157/12	E2	47	-5;-11	-4;-11	43.4
ACU158/12	E3	38	-3;-8	-2;-8	35.7
ACU159/12	E4	46	-6;-11	-5;-11	41.5
ACU160/12	E5	33	-2;-7	-1;-7	31.6
ACU262/11	E6	39	-3;-8	-2;-8	37.4
ACU161/12	E7	40	-3;-8	-2;-8	37.9
ACU162/12	E8	47	-4;-9	-3;-9	44.2
ACU163/12	E9	40	-3;-7	-2;-7	38.4
ACU164/12	E10	40	-4;-10	-3;-10	36.7
ACU165/12	E11	46	-4;-10	-3;-10	43.3
ACU166/12	E12	41	-5;-10	-4;-10	37.3
ACU167/12	E13	48	-5;-11	-4;-11	44.2
ACU168/12	E14	39	-3;-8	-2;-8	37.0
ACU169/12	E15	48	-4;-10	-3;-10	44.6
ACU170/12	E16	62	-4;-11	-4;-11	58.4
ACU171/12	E17	49	-4;-10	-3;-10	45.7
ACU172/12	E18	65	-3;-9	-4;-9	61.4
ACU173/12	E19	59	-3;-9	-2;-9	56.7
ACU174/12	E20	41	-3;-9	-3;-9	38.6
ACU175/12	E21	49	-5;-11	-4;-11	45.3
ACU176/12	E22	44	-6;-12	-5;-12	39.4
ACU177/12	E23	49	-5;-11	-4;-11	45.0
ACU178/12	E24	67	-3;-9	-5;-9	62.6
ACU179/12	E25	56	-4;-10	-3;-10	53.3
ACU180/12	E26	54	-3;-10	-3;-10	51.5
ACU181/12	E27	61	-4;-11	-4;-11	57.5
ACU182/12	E28	47	-6;-12	-5;-12	42.2
ACU183/12	E29	50	-5;-11	-4;-11	46.4
ACU184/12	E30	53	-6;-12	-5;-12	48.2
ACU185/12	E31	69	-6;-13	-7;-13	62.5
ACU186/12	E32	40	-5;-10	-4;-10	36.5
ACU187/12	E33	46	-4;-10	-3;-10	43.2
ACU188/12	E34	47	-5;-11	-4;-11	43.2
ACU189/12	E35	54	-6;-12	-5;-12	49.3
ACU190/12	E36	54	-6;-12	-5;-12	49.5
ACU191/12	E37	60	-2;-6	-2;-6	58.4
ACU192/12	E38	50	-6;-12	-5;-12	45.3
ACU193/12	E39	50	-3;-9	-2;-9	47.7
ACU194/12	E40	53	-1;-7	-1;-7	52.3
ACU195/12	E41	46	-5;-11	-4;-11	41.8
ACU196/12	E42	51	-5;-11	-4;-11	47.2
ACU197/12	E43	56	-4;-10	-4;-10	52.5
ACU198/12	E44	46	-5;-11	-4;-11	42.1
ACU199/12	E45	51	-4;-10	-3;-10	47.8
ACU200/12	E48	45	-5;-11	-4;-11	41.4
ACU201/12	E47	51	-5;-11	-4;-11	47.1
ACU202/12	E48	55	-4;-10	-3;-10	51.7
ACU203/12	E49	49	-4;-10	-3;-10	48.0
ACU204/12	E50	48	-4;-9	-3;-9	45.2
ACU205/12	E51	45	-3;-7	-2;-7	43.1
ACU206/12	E52	47	-3;-8	-2;-8	44.7
ACU207/12	E53	47	-3;-8	-2;-8	44.7
ACU208/12	E54	48	-3;-8	-2;-8	46.3
ACU209/12	E55	48	-4;-9	-3;-9	45.0
ACU210/12	E56	66	-2;-8	-5;-9	60.9
ACU329/12	E57	62	-5;-12	-5;-12	57.2
ACU330/12	E58	63	-6;-12	-5;-12	58.0





5.1 - Paredes divisórias – Sistemas simples

Considerando estruturas de perfis metálicos espaçados de 400mm e 600mm, em dois provetes distintos, compostos por perfis com 48mm de largura preenchidos com lã mineral de baixa densidade (esp. 50mm), verificou-se que a menor distância entre perfis, associada ao aumento da sua quantidade, provoca o decréscimo de isolamento sonoro da solução construtiva, nomeadamente a partir da banda de frequência dos 400Hz. Na Figura 4 ilustra-se a comparação entre as curvas de isolamento sonoro normalizado correspondentes aos referidos provetes de ensaio, com aplicação de uma (E1 e E3) e duas camadas de placas de gesso laminado BA13A (E2 e E4), com juntas desencontradas e barradas.

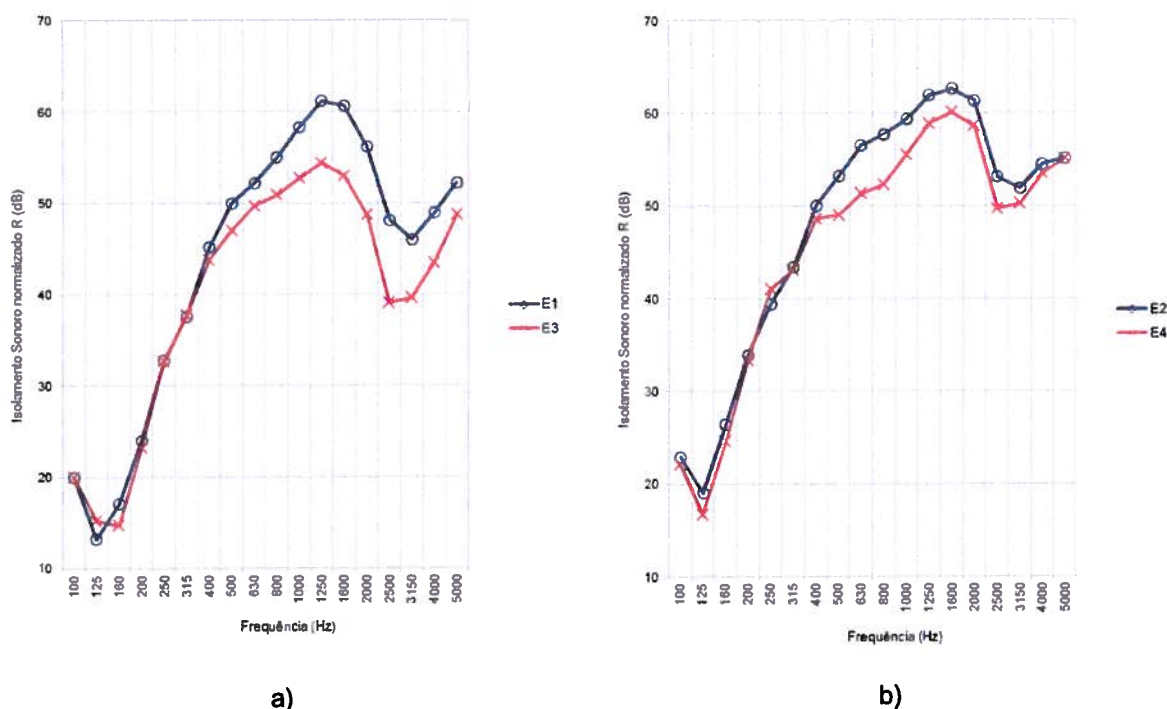


Figura 4. Curvas de isolamento sonoro normalizado: a) Placa A simples (E1: Af. 600mm: $R_w = 40$ dB, E3: Af. 400mm: $R_w = 38$ dB; b) Placa A dupla (E2: Af. 600mm: $R_w = 47$ dB, E4: Af. 400mm: $R_w = 46$ dB)

Contudo, fazendo uma análise semelhante, em que se variou o espaçamento entre perfis (E49, 400mm e E50, 600m), mas com a utilização de perfis metálicos com 70mm de largura, caixa-de-ar parcialmente preenchida com lã mineral de baixa densidade, com 65mm de espessura, e duas camadas de placas de gesso laminado BA13D, constatou-se que o aumento da distância entre perfis provocou, neste caso, um decréscimo do índice de isolamento, de $R_w = 49$ dB para $R_w = 48$ dB. Apresentam-se as respectivas curvas de isolamento sonoro na Figura 5, observando-se algumas diferenças abaixo dos 500Hz, de entre as quais se destaca a redução da frequência de ressonância da parede, para o caso do menor valor de afastamento entre perfis montantes.

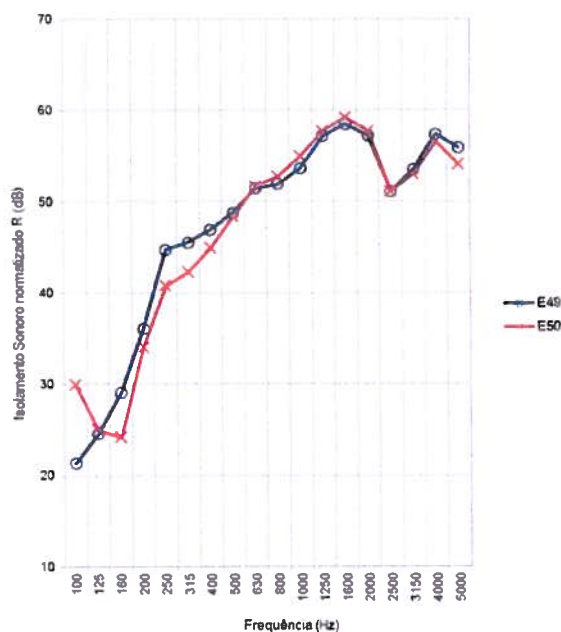


Figura 5. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Af. 400mm vs Af. 600mm (E49: Af. 400mm: $R_w = 49$ dB, E50: Af. 600mm: $R_w = 48$ dB)

O aumento da espessura das placas de gesso laminado também foi alvo de comparação, através do uso de placas BA13A, com 12.5mm de espessura, e placas BA15A, com 15mm de espessura. Para tal, construíram-se provetes utilizando perfis metálicos com 48mm de largura, parcialmente preenchidos com lã mineral de baixa densidade (esp. 50mm), e foram sucessivamente aplicadas uma (E1 e E14) e duas camadas de placas de gesso laminado (E2 e E15), com a espessura respectiva.

A comparação de resultados de isolamento sonoro apresenta-se na Figura 6. Verifica-se que, utilizando uma camada de placas em cada face do sistema, o aumento de espessura do gesso laminado é acompanhado de ligeiro incremento de isolamento sonoro nas bandas de frequência anteriores a 400Hz, e de decréscimo acentuado a partir desta banda de frequência, provocando uma diminuição do índice de isolamento de 40dB para 39dB. Por seu turno, quando se considera a utilização de duas camadas de placas em cada face do sistema, o aumento de espessura de cada placa também é acompanhado de decréscimo de isolamento sonoro a partir da banda de frequência correspondente a 400Hz, mas o incremento nas bandas de frequência anteriores favorece o índice de isolamento, que aumenta de 47dB para 48dB.

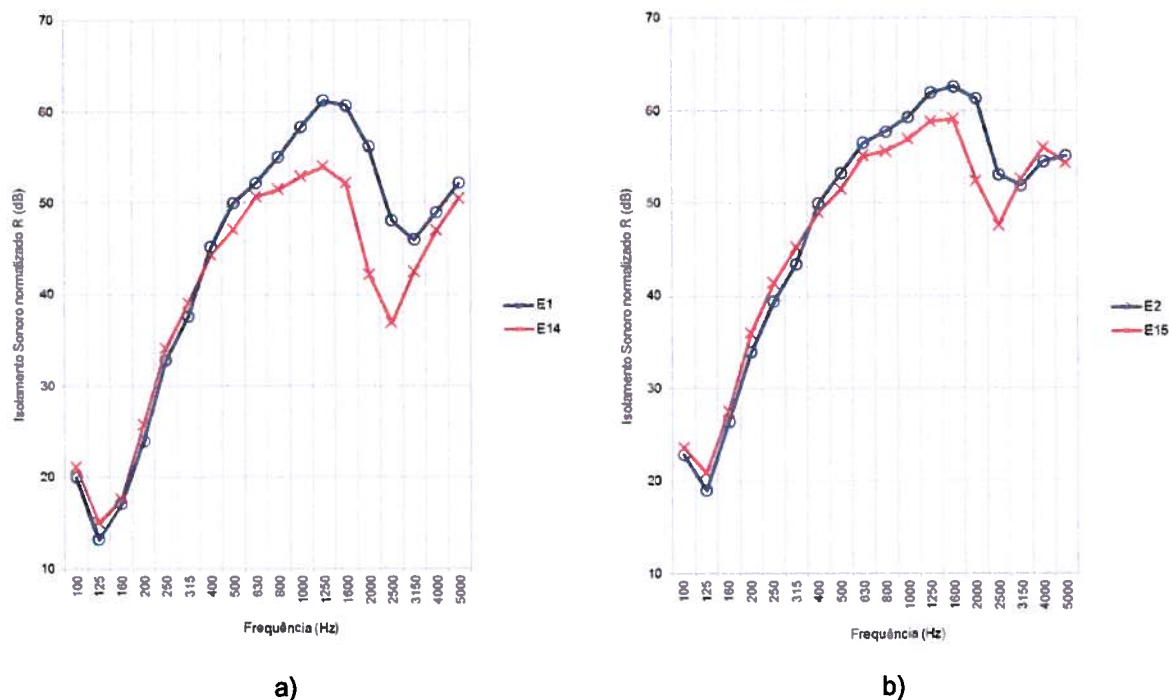
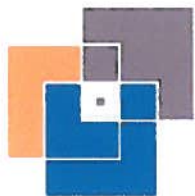


Figura 6. Curvas de isolamento sonoro normalizado: a) Placa simples (E1: Placa BA13A: $R_w = 40$ dB, E14: Placa BA15A: $R_w = 39$ dB; b) Placa dupla (E2: Placa BA13A: $R_w = 47$ dB, E15: Placa BA15A: $R_w = 48$ dB)

Foram igualmente testadas várias gamas de placas de gesso laminado, com referências “A-Standard”, “H-Hidrófuga”, “F-Anti-fogo”, com espessura de 12.5mm. Para esta comparação, foram contruídos provetes com perfis metálicos com 48mm de largura parcialmente preenchidos com lã mineral de baixa densidade (esp. 50mm), e, sucessivamente, uma (E1, E10 e E12) e duas camadas de placas de gesso laminado (E2, E11 e E13).

Ilustram-se os resultados obtidos na Figura 7. Considerando a utilização de uma placa em cada face dos sistemas, obtiveram-se os seguintes índices de isolamento: $R_w = 40$ dB (Placa BA13A); $R_w = 40$ dB (Placa BA13H) e $R_w = 41$ dB (Placa BA13F). Por outro lado, aplicando duas camadas de placas de gesso em cada face do sistema observam-se os resultados seguintes: $R_w = 47$ dB (Placa BA13A); $R_w = 46$ dB (Placa BA13H) e $R_w = 48$ dB (Placa BA13F), demonstrando que, em ambos os casos, as diferenças entre gamas de placas de gesso laminado são bastante ténues.





9

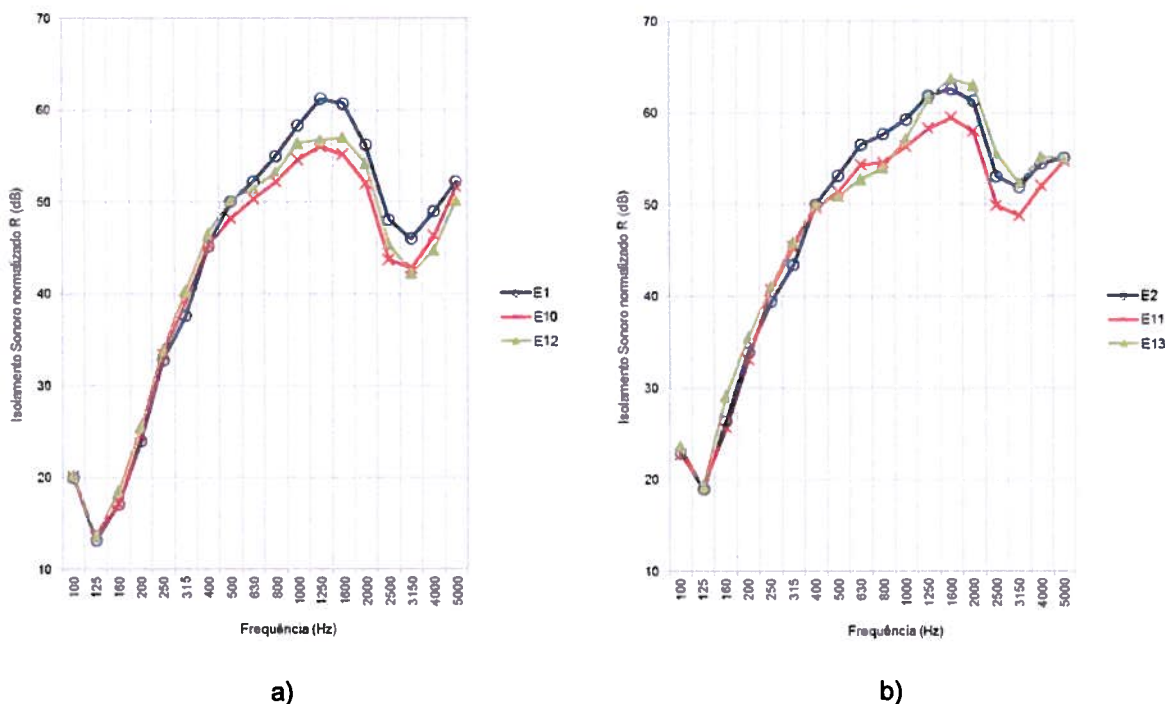


Figura 7. Curvas de isolamento sonoro normalizado: a) Placa simples (E1: Placa BA13A: $R_w = 40$ dB, E10: Placa BA13H: $R_w = 40$ dB, E12: Placa BA13F: $R_w = 41$ dB; b) Placa dupla (E2: Placa BA13A: $R_w = 47$ dB, E11: Placa BA13H: $R_w = 46$ dB, E13: Placa BA13F: $R_w = 48$ dB)

Para avaliação da influência do aumento do número de placas de gesso laminado em ambos os lados do sistema, de uma até três placas BA13A, com 12.5mm de espessura cada (E41, E42 e E43), utilizaram-se perfis metálicos com 100mm de largura afastados de 600mm, e a respectiva caixa-de-ar preenchida parcialmente com lã mineral de média densidade, com 60mm de espessura, incorporando véu negro de protecção. O comportamento acústico das três soluções é semelhante, registando-se uma translação das curvas de isolamento à medida que se adicionam mais placas de ambos os lados do sistema. Tal como verificado em representações gráficas apresentadas anteriormente, nas três curvas de isolamento são visíveis quebras de isolamento pronunciadas, para as frequências de 125Hz e de 2500Hz. No primeiro caso, a quebra observada deverá estar relacionada com a ressonância do conjunto da parede e, na frequência mais elevada, ficará a dever-se ao efeito de coincidência e à frequência crítica das placas de gesso laminado. Em termos de índice de redução sonora, observa-se um incremento de 46dB, com placa simples, para 51dB, com placa dupla, e 56dB, no caso de três placas do mesmo tipo.

A comparação gráfica destes resultados, na gama de frequências analisada, apresenta-se na Figura 8.



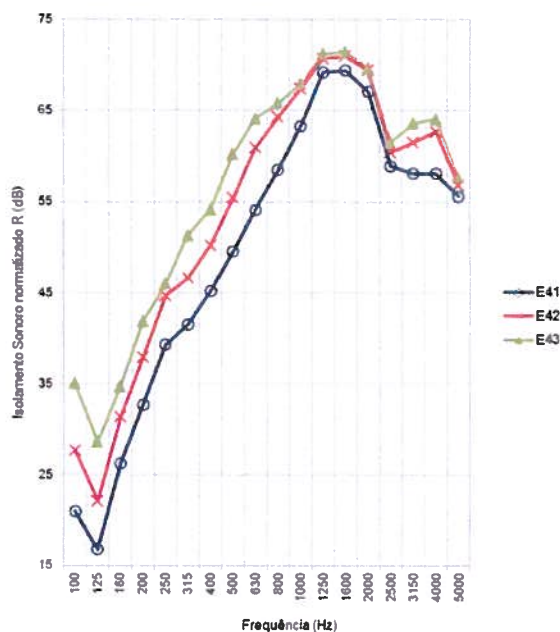


Figura 8. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Placa A simples vs Placa A dupla vs Placa A tripla, com perfis de 100mm de largura (E41: Placa A simples: $R_w = 46\text{dB}$; E42: Placa A dupla: $R_w = 51\text{dB}$; E43: Placa A tripla: $R_w = 56\text{dB}$)

De igual modo, variou-se o número de placas de gesso laminado em ambos os lados do sistema, de uma até três placas BA13A, empregando perfis metálicos com largura de 90mm e afastamento de 600mm, com a respectiva caixa-de-ar preenchida parcialmente com lã mineral de média densidade, com 60mm de espessura, incorporando véu negro de protecção.

O comportamento acústico das três soluções é também semelhante, registando-se uma translação das curvas de isolamento à medida que se adicionam mais placas de ambos os lados do sistema.

Relativamente aos índices de redução sonora, observa-se um acréscimo de 45dB, com placa simples, para 51dB, com placa dupla, e 55dB, no caso de três placas do mesmo tipo.

Estes resultados constam da Figura 9.



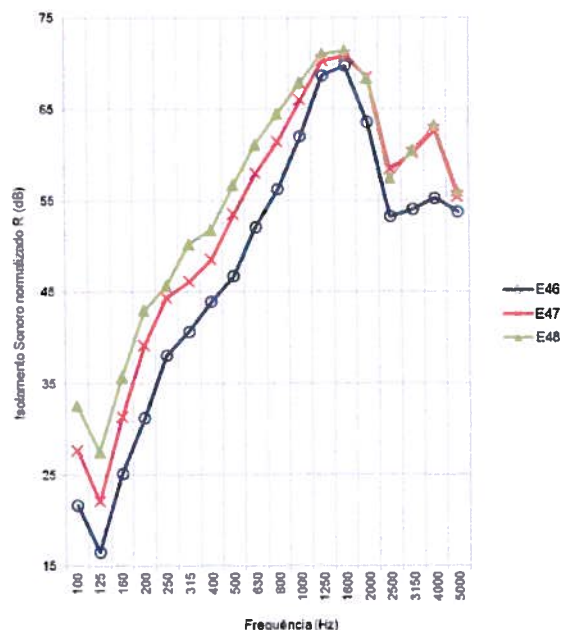


Figura 9. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Placa A simples vs Placa A dupla vs Placa A tripla, com perfis de 90mm de largura (E46: Placa A simples: $R_w = 45\text{dB}$; E47: Placa A dupla: $R_w = 51\text{dB}$; E48: Placa A tripla: $R_w = 55\text{dB}$)

Considerando provetes com Placa A simples e Placa A dupla, optou-se ainda pela comparação entre sistemas constituídos por placas de gesso com 12.5mm de espessura (BA13A) (E41 e E42), e placas de gesso com 15mm de espessura (BA15A) (E44) e estas reforçadas com placas de gesso com 12.5mm de espessura (BA13A) (E45). Para este efeito, utilizaram-se perfis metálicos com 100mm de largura afastados de 600mm, e a respectiva caixa-de-ar preenchida parcialmente com lã mineral de média densidade, com 60mm de espessura.

A representação gráfica dos resultados obtidos com os provetes ensaiados apresenta-se na Figura 10.

Apesar de ligeiras diferenças verificadas ao nível das curvas de isolamento sonoro, constata-se que, neste tipo de sistemas, o aumento da espessura das placas de gesso não afecta o índice de isolamento sonoro, que se manteve igual a 46dB nas duas soluções testadas com Placa A simples e igual a 51dB nas soluções com Placa A dupla.



9

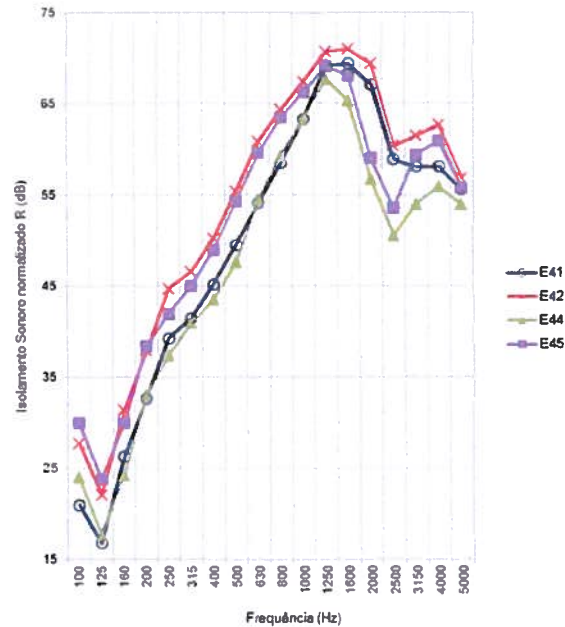


Figura 10. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Placa A simples vs Placa A dupla
(E41: Placa BA13A simples: $R_w = 46\text{dB}$; E42: Placa BA13A dupla: $R_w = 51\text{dB}$; E44: Placa BA15A simples:
 $R_w = 46\text{dB}$; E45: Placa dupla BA15A+BA13A: $R_w = 51\text{dB}$)

De modo a analisar as alterações decorrentes da mudança da configuração e processo de montagem dos perfis metálicos utilizados, foram construídos provetes com os perfis colocados em "C" (E53) e em "H" (E54), mantendo-se a utilização de perfis com 70mm de largura e afastamento de 600mm, parcialmente preenchidos com lã mineral de média densidade, com 60mm de espessura, e duas camadas de placas de gesso laminado BA13A, com 12.5mm de espessura, em cada face do sistema.

Apresentam-se as respectivas curvas de isolamento sonoro na Figura 11, onde se observam melhorias notórias sobretudo na gama das médias frequências quando se utilizam perfis em "H" ($R_w = 48\text{dB}$), em detrimento dos perfis em posicionados "C" ($R_w = 47\text{dB}$).





9

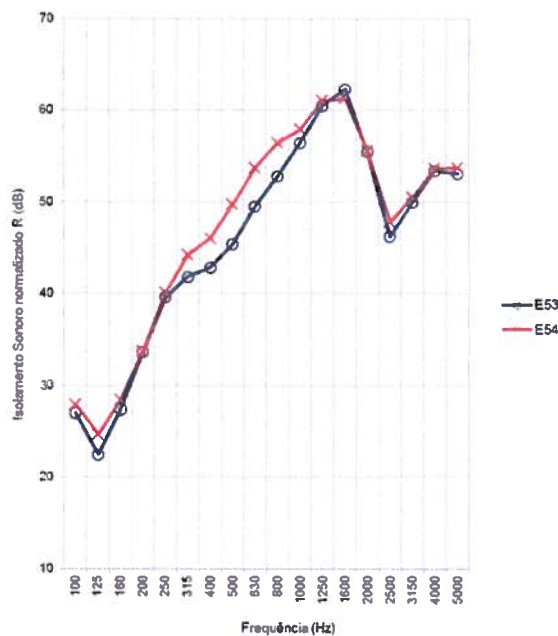


Figura 11. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Perfis colocados em "C" vs Perfis em "H" (E53: Perfis em "C": $R_w = 47\text{dB}$; E54: Perfis em "H": $R_w = 48\text{dB}$)

Tendo como foco o preenchimento da estrutura constituída pelos perfis metálicos, pretendeu-se analisar soluções construtivas com caixa-de-ar preenchida com lã mineral de baixa densidade (E1 e E7) e lã mineral de média densidade (E2 e E8), assim como com caixa-de-ar vazia (E5 e E9). Não obstante, manteve-se a utilização de perfis metálicos com 48mm de largura e afastamento de 600mm, e placas de gesso laminado BA13A, com espessura de 12.5mm, com juntas barradas e desencontradas. A análise comparativa das curvas de isolamento sonoro apresenta-se nas Figuras 12a), 12b) e 12c).

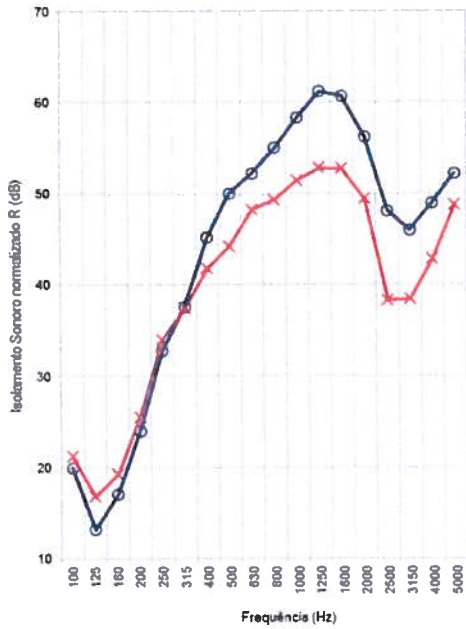
Note-se que, alterando a densidade da lã mineral (baixa e média densidade) introduzida na caixa-de-ar, tanto para a solução de parede com placa de gesso simples como para a solução com placa dupla, apesar das curvas de isolamento sonoro apresentarem comportamentos notoriamente distintos na gama de médias-altas frequências, os respectivos índices de isolamento sonoro mantêm-se inalterados. Assim, para soluções com Placa A simples obteve-se $R_w = 40\text{dB}$, enquanto para as soluções com Placa A dupla se obteve $R_w = 47\text{dB}$.

Por seu turno, considerando a caixa-de-ar vazia, o comportamento do sistema é semelhante, observando-se a translação das curvas de isolamento com a adição de uma camada de placas de gesso em ambas as faces da parede. Regista-se um acréscimo do índice de isolamento sonoro de 33dB, com Placa A simples, para 40dB, com Placa A dupla.

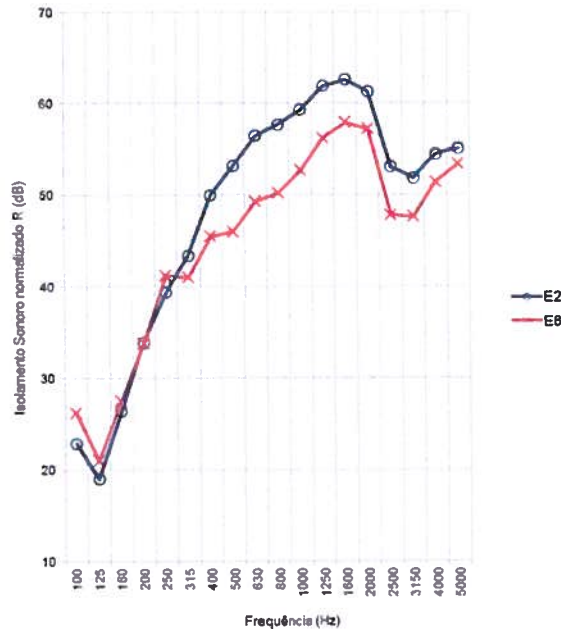




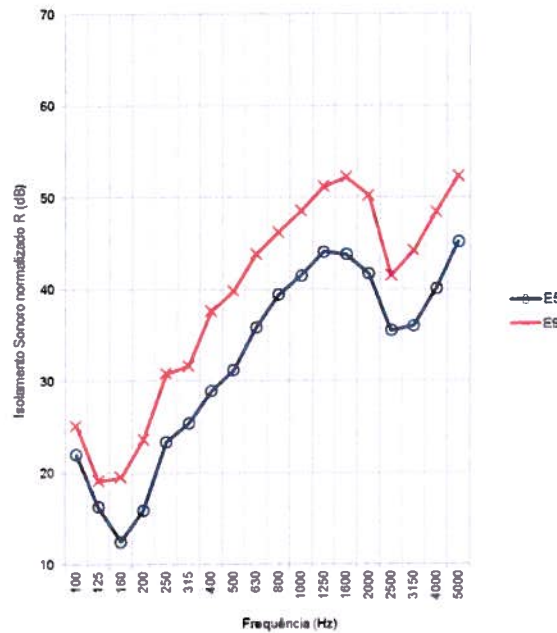
0



a)



b)



c)

Figura 12. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Lã mineral baixa densidade vs Lã mineral média densidade vs Caixa-de-ar vazia; a) Placa A simples (E1: Lã mineral baixa densidade: $R_w = 40\text{dB}$, E7: Lã mineral média densidade: $R_w = 40\text{dB}$); b) Placa A dupla (E2: Lã mineral baixa densidade: $R_w = 47\text{dB}$, E8: Lã mineral média densidade: $R_w = 47\text{dB}$); c) Caixa-de-ar vazia (E5: Placa A simples: $R_w = 33\text{dB}$, E9: Placa A dupla: $R_w = 40\text{dB}$)





9

Através da construção de soluções com perfis metálicos de 70mm de largura, afastados de 600mm, pretendeu-se analisar as alterações produzidas pelo preenchimento da perfilaria com lã mineral de baixa densidade (E20 e E22) e alta densidade (E21 e E23). Nestes termos, ilustra-se, na Figura 13, a comparação das soluções sobre as quais se fez variar a densidade da lã mineral utilizada, tanto com placa A simples como com placa A dupla. Enquanto com placa A simples se regista um acréscimo do índice de isolamento sonoro com o aumento da densidade da lã mineral, de 41dB para 44dB, acompanhado de melhoria notória de isolamento a partir dos 1000Hz, com placa A dupla as curvas de isolamento respectivas são quase idênticas, resultando, em ambas, um índice de isolamento de 49dB, permitindo constatar que a alteração da densidade da lã mineral tem efeitos mais visíveis em provetes mais leves.

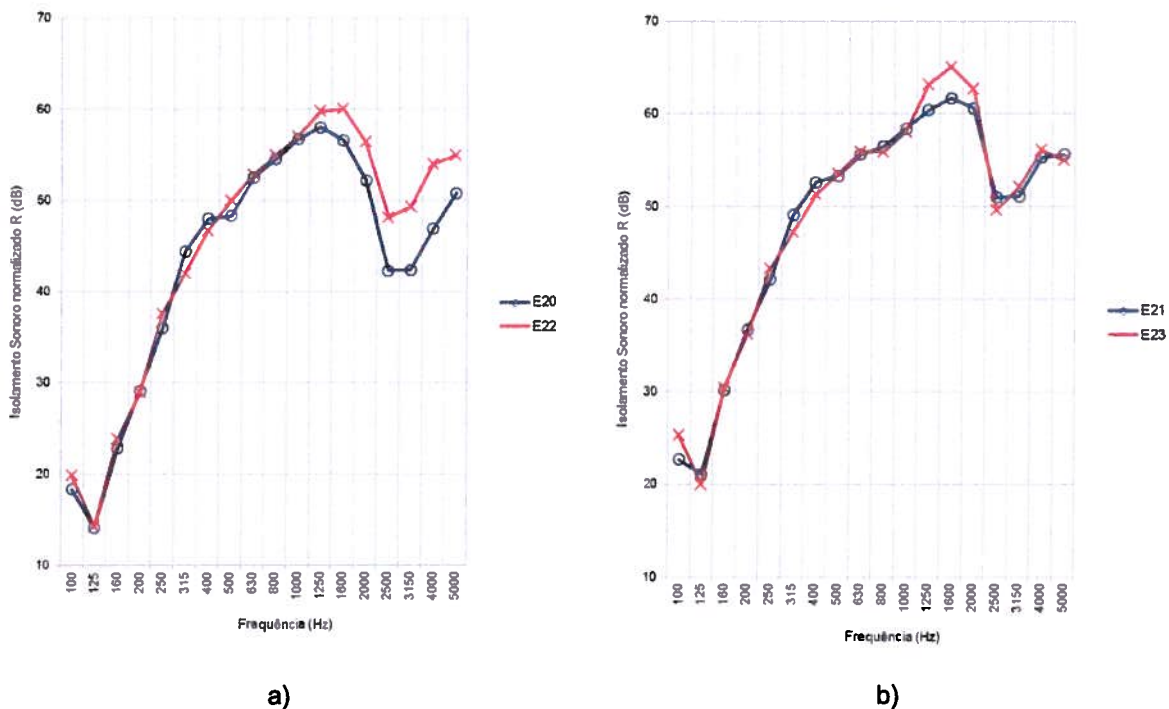
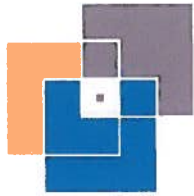


Figura 13. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Lã mineral de baixa densidade vs Lã mineral de alta densidade; a) Placa A simples (E20: Lã mineral de baixa densidade: $R_w = 41$ dB, E22: Lã mineral de alta densidade: $R_w = 44$ dB); b) Placa A dupla (E21: Lã mineral de baixa densidade: $R_w = 49$ dB, E23: Lã mineral de alta densidade: $R_w = 49$ dB)

Na Figura 14, podem observar-se as curvas de isolamento sonoro num sistema de placa simples, em que se varia a largura dos perfis metálicos e a espessura da caixa-de-ar por eles condicionada. Assim, num sistema com uma placa do tipo A de cada lado, com espessura de 12.5mm, foram utilizados perfis metálicos com as seguintes espessuras: 48mm, 70mm, 90mm, 100mm e 125mm (respectivamente, os ensaios E1, E22, E46, E41 e E34). A caixa-de-ar foi, em todos os casos, parcialmente preenchida com lã mineral.





O comportamento dos sistemas apresenta as principais diferenças na gama de médias-altas frequências, com valores de isolamento mais elevados a serem observados para maiores espaçamentos da caixa-de-ar e perfis mais largos, variando o índice R_w de 40dB a 47dB.

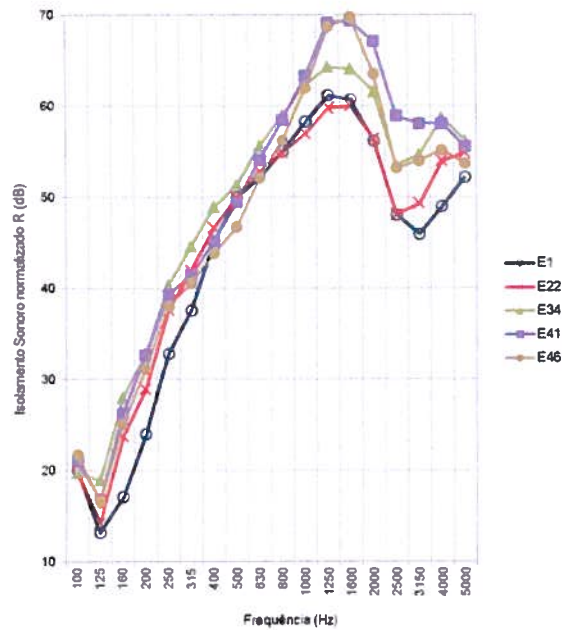


Figura 14. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Perfil 48mm vs 70mm vs 90mm vs 100mm vs 125mm (E1: Prf 48mm: $R_w = 40$ dB; E22: Prf 70mm: $R_w = 44$ dB; E34: Prf 125mm: $R_w = 47$ dB; E41: Prf 100mm: $R_w = 46$ dB; E46: Prf 90mm: $R_w = 45$ dB)





5

5.2 - Paredes divisórias – Sistemas complexos/especiais

Pode analisar-se, na Figura 15, uma comparação entre o desempenho acústico de sistemas com dupla placa com 12.5mm de espessura do tipo A, montados com o auxílio de perfis metálicos de 48mm de largura (e caixa-de-ar totalmente preenchida com lã mineral de baixa densidade, E2), ou com perfis metálicos de 70mm de largura (e caixa-de-ar parcialmente preenchida com lã mineral de baixa densidade, E21), ou com uma solução menos convencional, em que perfis metálicos de 48mm de largura são montados de forma alternada a ligar os dois panos em canal inferior e superior de 70mm (e caixa-de-ar parcialmente preenchida com lã mineral de baixa densidade, E40). É de salientar que, neste último sistema, os conjuntos de placas dos dois lados dos compartimentos emissor e receptor se encontram, na realidade, desligados, embora não se tratando de uma montagem com dupla perfilaria. Com efeito, este tipo de montagem revela melhorias claras no desempenho acústico destas paredes divisórias, com um índice de redução sonora a atingir o valor de 53dB.

Analisando as curvas de isolamento sonoro, observam-se os efeitos do desacoplamento dos conjuntos de placas de gesso, permitindo evitar a quebra de isolamento na frequência de 125Hz e deslocando a curva acima da frequência de 800Hz.

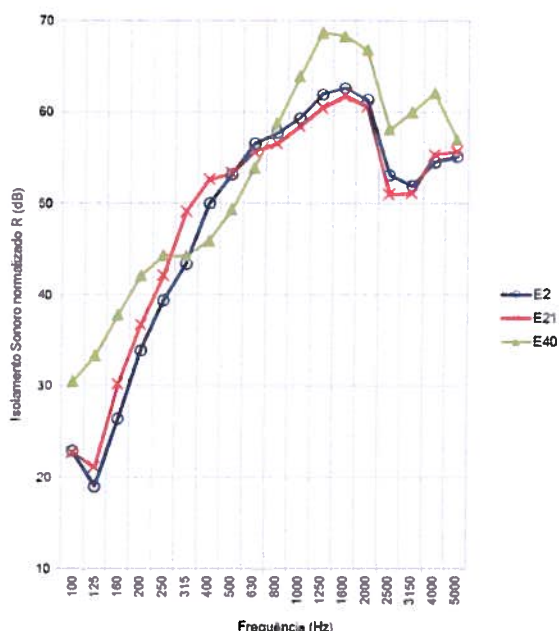


Figura 15. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Perfil 48mm vs Perfil 70mm vs Perfil 48mm desfasado em canal 70mm (E2: perfil 48mm: $R_w = 47\text{dB}$; E21: perfil 70mm: $R_w = 49\text{dB}$; E40: perfil 48mm desfasado: $R_w = 53\text{dB}$)





9

Um comportamento semelhante foi igualmente identificado para montagens em que os perfis metálicos, com uma dada largura, foram instalados de forma desencontrada em canais com maior largura, revelando-se como opções construtivas extremamente interessantes.

Ilustra-se, assim, na Figura 16, a comparação entre sistemas com dupla placa de gesso com 12.5mm de espessura do tipo A, montados com o auxílio de perfis metálicos de 70mm de largura (e caixa-de-ar parcialmente preenchida com lã mineral de baixa densidade, E21), ou com perfis metálicos de 125mm de largura (e caixa-de-ar parcialmente preenchida com lã mineral de baixa densidade, E35), ou ainda com uma solução em que perfis metálicos de 70mm de largura são montados de forma alternada a ligar os dois panos em canal inferior e superior de 125mm (e caixa-de-ar parcialmente preenchida com lã mineral de baixa densidade, E37). De igual forma, a montagem desfasada de perfis metálicos volta a apresentar melhorias significativas ao nível do desempenho acústico, obtendo-se um Índice de redução sonora a atingir o valor de 60dB, bastante acima de 49dB e 54dB para as soluções com as camadas de placas interiores e exteriores ligadas de forma solidária pelos perfis metálicos.

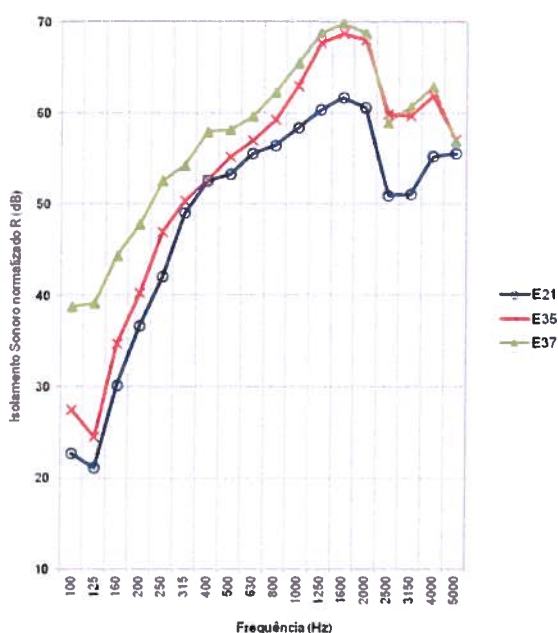


Figura 16. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Perfil 70mm vs Perfil 125mm vs Perfil 70mm desfasado em canal 125mm (E21: perfil 70mm: $R_w = 49\text{dB}$; E35: perfil 125mm: $R_w = 54\text{dB}$; E37: perfil 70mm desfasado: $R_w = 60\text{dB}$)





9

Na Figura 17, documentam-se os resultados, em termos de isolamento sonoro, de duas soluções de paredes divisórias construídas com dupla perfilaria (com 70mm de largura em cada lado), em que os panos com as placas de gesso laminado se encontram totalmente desligados e separados através de uma caixa-de-ar de 40mm de espessura. Trata-se de soluções um pouco mais pesadas, em que se utilizaram duas camadas de lã mineral de alta densidade e em que se pode comparar o efeito, num sistema deste tipo, de passar de uma a duas placas de cada lado (E25 e E24), com 12.5mm de espessura e do tipo A. Nesta situação, o desempenho acústico é melhorado numa gama de frequências abaixo dos 800Hz, determinando um incremento substancial do valor global de redução sonora que passa de 56dB para 67dB.

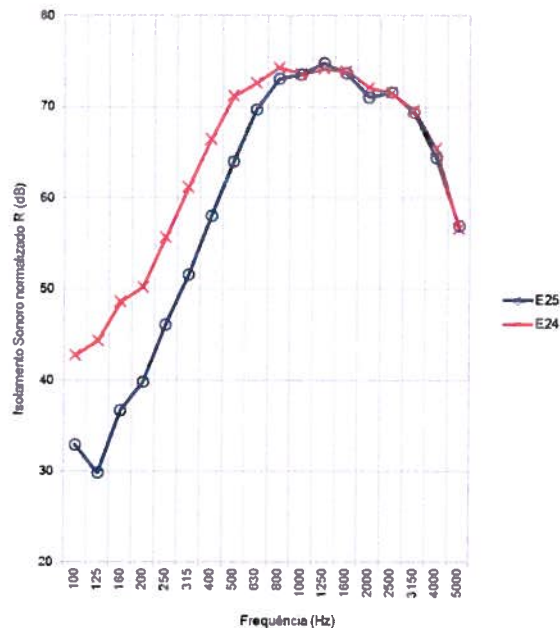
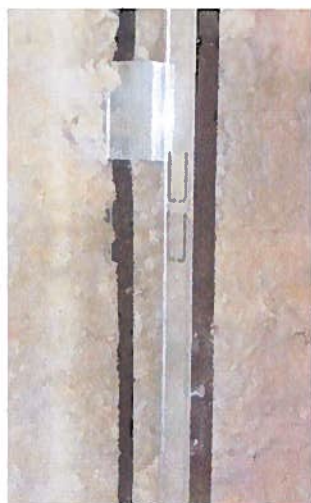
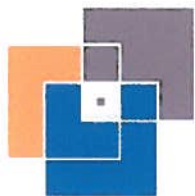


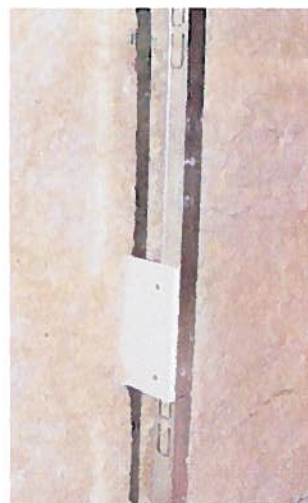
Figura 17. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Duplo perfil 70mm com placa simples vs Duplo perfil 70mm com placa dupla (E25: 2x prf 70mm 1x13A: $R_w = 56\text{dB}$; E24: 2x prf 70mm 2x13A: $R_w = 67\text{dB}$)

Mantendo a composição da parede divisória, constituída por dupla perfilaria (com 70mm de largura em cada lado), com perfis preenchidos com lã mineral de alta densidade, separados por caixa-de-ar de 40mm, e uma camada de placas de gesso laminado (12.5mm de espessura) em cada face exposta, analisou-se também a ligação entre os perfis que constituem os dois panos. Deste modo, com ligação flexível entre a dupla perfilaria (E25) obteve-se um índice de isolamento sonoro de 56dB, e com ligação em "arriostado" entre a dupla perfilaria (E26), através da introdução de placas de gesso curtas para ligação rígida entre os perfis de ambos os panos, obteve-se um índice de isolamento sonoro inferior, correspondente a 54dB. Ilustram-se os dois tipos de ligação entre perfis na Figura 18 e as respectivas curvas de isolamento sonoro na Figura 19.





a)



b)

Figura 18. Ligações entre perfilaria dupla: a) Ligação flexível; b) Ligação em “arriostrado”

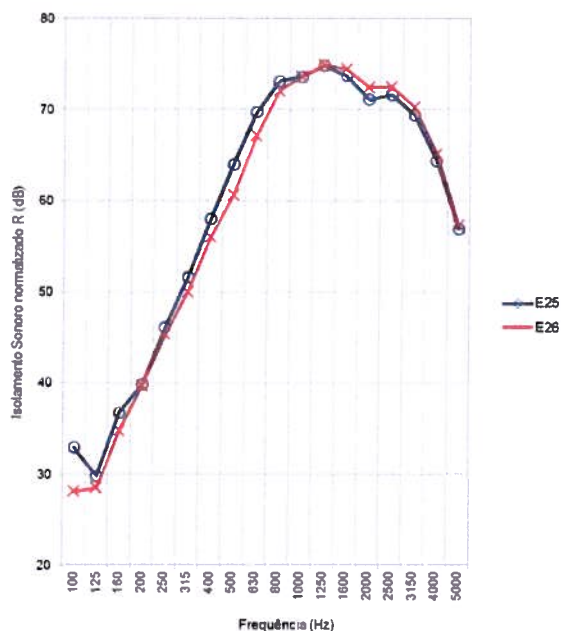


Figura 19. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Ligação flexível vs Ligação em “arriostrado” (E25: 2x prf 70mm 1x13A; ligação flexível: $R_w = 56$ dB; E26: 2x prf 70mm 1x13A: $R_w = 54$ dB; ligação em “arriostrado”)





Outro exemplo, em que se confrontou a ligação flexível entre perfilaria dupla (E18) e a ligação em “arriostrado” (E19), é ilustrado na Figura 20. Foi utilizada dupla perfilaria (com 48mm de largura em cada lado), com perfis preenchidos com lã mineral de baixa densidade, separados por caixa-de-ar, e duas camadas de placas de gesso laminado, com 12.5mm de espessura, em cada face exposta. Neste caso, o índice de isolamento sonoro diminuiu de 65dB para 59dB, com a introdução de ligações mais rígidas entre a perfilaria dupla, face à ligação flexível entre perfis.

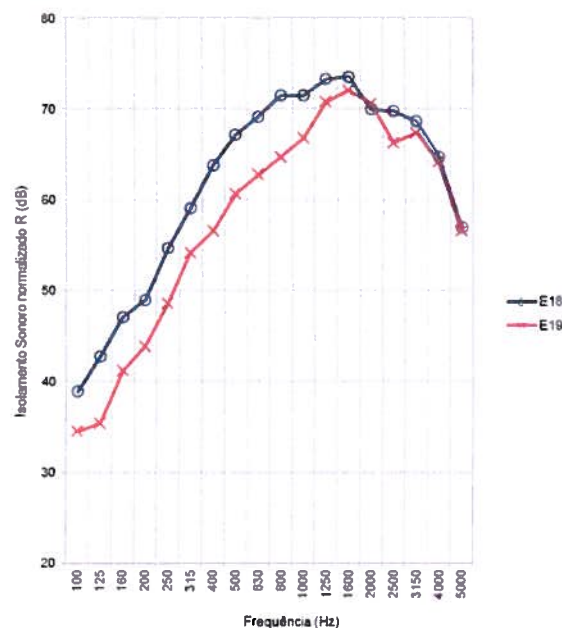


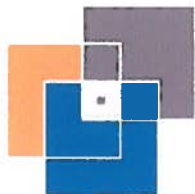
Figura 20. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Ligação flexível vs Ligação em “arriostrado”
(E18: 2x prf 48mm 2x13A; ligação flexível: $R_w = 65\text{dB}$;
E19: 2x prf 48mm 2x13A: $R_w = 59\text{dB}$; ligação em “arriostrado”)

Na Figura 21, comparam-se graficamente algumas soluções compostas por perfis metálicos com 70mm de largura e com duas camadas de placas de gesso laminado em cada face do sistema.

Duas destas soluções apresentam perfis preenchidos com lã mineral de baixa densidade (E21) e alta densidade (E23), respectivamente, para as quais o índice de isolamento sonoro é de 49dB.

As outras duas soluções consideradas contêm lã mineral de média densidade no interior da estrutura metálica. A primeira, apresenta tiras pontuais de aglomerado de cortiça (6mm de espessura) entre as duas camadas de placas de gesso laminado, nas zonas de aparafusamento aos perfis, apenas numa das faces do sistema (E29). A segunda, apresenta membrana acústica (4mm de espessura e 6,5 kg/m² de massa superficial) entre as duas placas de gesso laminado que revestem uma das faces do sistema (E30). O índice R_w é igual a 50dB e 53dB, respectivamente. Naquela figura, é bastante notória a influência da colocação de material resiliente a desligar duas das placa de gesso laminado, em toda a gama de frequências, no caso da colocação de membrana acústica, e acima dos 630Hz, quando se utilizou o aglomerado de cortiça.





9

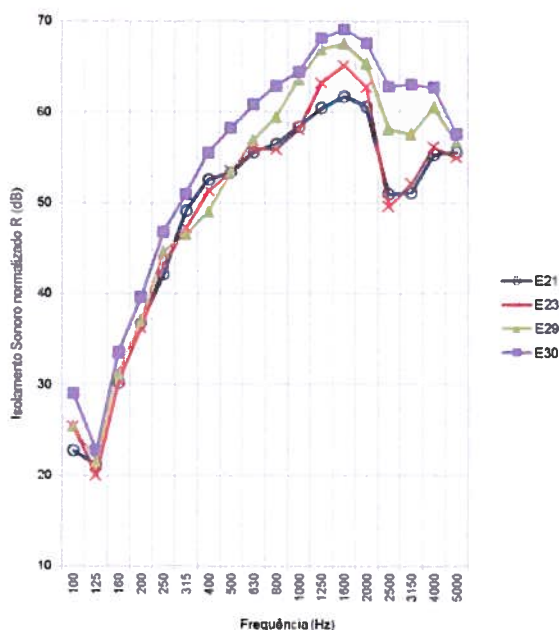


Figura 21. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Lã mineral baixa densidade vs Lã mineral média densidade vs Lã mineral alta densidade (E21: Lã mineral baixa densidade: $R_w = 49\text{dB}$; E23: Lã mineral alta densidade: $R_w = 44\text{dB}$; E29: Lã mineral média densidade (aglom. cortiça entre 2x13A): $R_w = 50\text{dB}$; E30: Lã mineral média densidade (membrana acústica entre 2x13A): $R_w = 53\text{dB}$)

Considerando, ainda, soluções construtivas com perfilaria dupla composta por perfis metálicos com 48mm de largura, apresenta-se, na Figura 22, a comparação entre uma solução revestida em ambas as faces por duas camadas de placas de gesso laminado (BA15A) e constituída por dois panos preenchidos com lã mineral de baixa densidade, intermediados por caixa-de-ar com 30mm e por uma camada de placas de gesso laminado com 15mm de espessura (E16) e outra solução revestida em ambas as faces por duas camadas de placas de gesso laminado (BA13A) e constituída por dois panos (com ligações flexíveis) preenchidos com lã mineral de baixa densidade, intermediados apenas por caixa-de-ar com 30mm (E18).

Os índices de isolamento sonoro obtidos correspondem, respectivamente, a 62dB e 65dB.



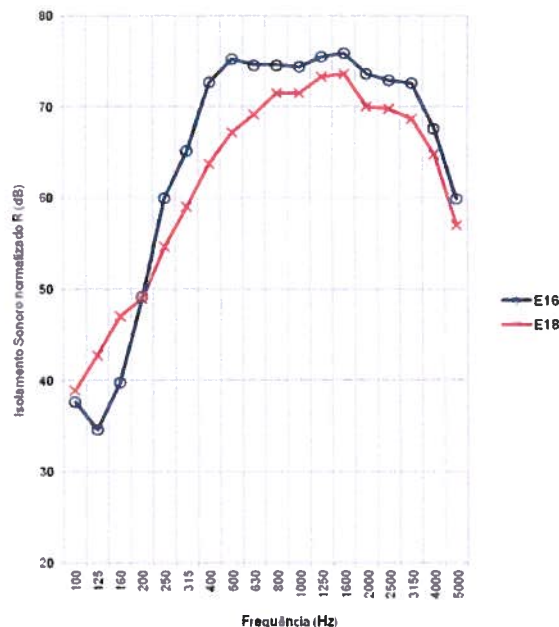


Figura 22. Curvas de isolamento sonoro normalizado: (E16: 2x prf 48mm 2x15A (cx. ar 30mm + 1x15A): $R_w = 62\text{dB}$; E18: 2x prf 48mm 2x13A (cx. ar 30mm): $R_w = 65\text{dB}$)

Na Figura 23, pode observar-se a comparação gráfica entre as curvas de isolamento sonoro correspondentes às soluções construtivas para as quais se obtiveram os valores de índice de isolamento sonoro mais elevados, com base em perfilaria dupla constituída por perfis metálicos com 70mm de largura.

Considerou-se uma solução revestida em ambas as faces com placa dupla de gesso laminado (BA13A) e composta por dois panos parcialmente preenchidos por lã mineral de alta densidade, separados por caixa-de-ar com 40mm e com ligação flexível entre perfis (E24); outra solução revestida em ambas as faces com placa dupla de gesso laminado (BA13A), e constituída por dois panos parcialmente preenchidos por lã mineral de média densidade, intermediados por placa simples de gesso (BA13A), membrana acústica (espessura 4mm e massa superficial $6,5 \text{ kg/m}^2$) e caixa-de-ar com 25mm (E31); e uma solução revestida em ambas as faces com placa dupla de gesso laminado (BA15A), e formada por dois panos parcialmente preenchidos por lã mineral de média densidade, intermediados por caixa-de-ar com 25mm e por placa simples de gesso laminado (BA15A) (E56).

Obtiveram-se, respectivamente, os índices de isolamento sonoro de 67dB, 69dB e 66dB.





4

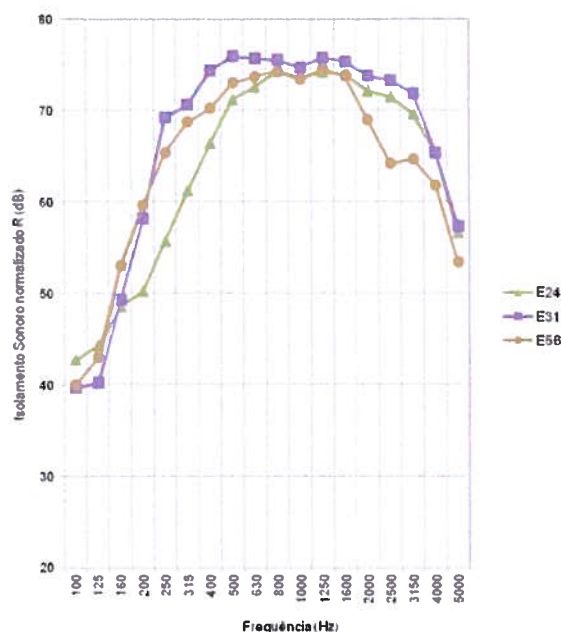
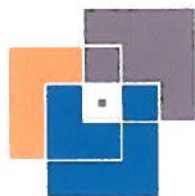


Figura 23. Curvas de isolamento sonoro normalizado: (E24: 2x prf 70mm 2x13A (cx. ar 40mm): $R_w = 67\text{dB}$; E31: 2x prf 70mm 2x13A (cx. ar 25mm + 1x15A + membrana acústica): $R_w = 69\text{dB}$; E56: 2x prf 70mm 2x15A (cx. ar 25mm + 1x15A): $R_w = 66\text{dB}$)

Apresenta-se, na Figura 24, a comparação entre o desempenho acústico determinado com uma solução construtiva de pano simples, com estrutura de perfis metálicos com 48mm de largura, afastados de 600mm, sem preenchimento (caixa-de-ar vazia), com placa simples de gesso laminado (BA13A) (E5), e a mesma solução reforçada com a aplicação de uma camada de placas de aglomerado expandido de cortiça (ICB), com 40mm de espessura, e uma camada de placa de gesso laminado (BA13A) numa face do sistema (E6).

A introdução deste reforço proporcionou um aumento do índice de isolamento sonoro de 33dB para 39dB, resultante de um acréscimo de isolamento generalizado em todas as bandas de frequência.





5

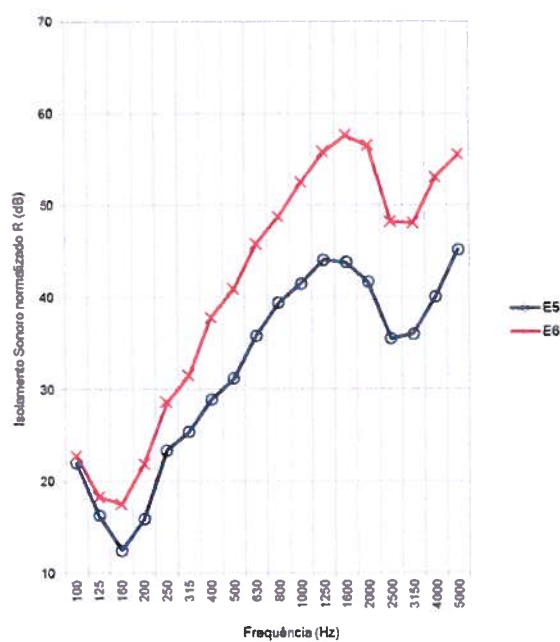


Figura 24. Curvas de isolamento sonoro normalizado: (E5: Prf. 48mm, caixa-de-ar vazia, 1x13A: $R_w = 33\text{dB}$; E6: Prf. 48mm, caixa-de-ar vazia, 1x13A + ICB 40mm e 1x13A: $R_w = 39\text{dB}$).



6 - Considerações finais


No âmbito do projecto Vale I&DT, com a ref.ª 18801, referente a “Soluções construtivas multicamada para paredes com recurso a subprodutos sustentáveis e com elevado desempenho energético e acústico”, procedeu-se à caracterização laboratorial de um conjunto de cerca de seis dezenas de sistemas.

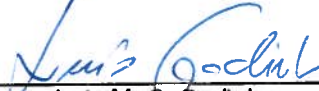
No caso das paredes divisórias interiores, subdividiram-se as soluções construtivas em sistemas mais simples, de utilização e execução correntes, e em sistemas mais complexos, envolvendo estruturas duplas de perfis metálicos ou montagens dos perfis de forma menos corrente. De entre as opções analisadas, pode referir-se o espaçamento entre perfis metálicos (de 400mm e 600mm) e sua montagem em “C” e em “H”; a largura daqueles perfis (48mm, 70mm, 90mm, 100mm e 125mm), condicionando de forma significativa a largura da caixa-de-ar; o material de preenchimento da caixa-de-ar (caixa-de-ar vazia, com lã mineral de baixa, média e alta densidade); a incorporação de aglomerado de cortiça ou de membrana acústica entre placas, em sistemas de placas duplas; ou ainda diferentes condições de ligação transversal e montagem entre perfis metálicos e entre estes e as placas de gesso laminado.

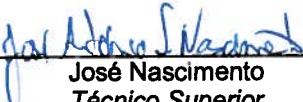
A caracterização laboratorial realizada incidiu sobre a determinação do índice de isolamento sonoro para sons de condução aérea de várias soluções construtivas, recorrendo a amostras com área de 10m², aproximadamente. A gama de resultados obtidos, neste conjunto de ensaios, corresponde a valores do índice de redução sonora de 33dB a 69dB, com valores dos termos de adaptação espectral a atingirem, no máximo, (-6; -13)dB.

Coimbra, 15 de Novembro de 2012

Autoria técnica do relatório:


Paulo Amado Mendes
Supervisor Técnico-Científico


Luis M. C. Godinho
Supervisor Técnico-Científico


José Nascimento
Técnico Superior


António Tadeu
Presidente da Direcção do ITeCons



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- [1] Godinho, Luís, *Avaliação do comportamento de soluções de isolamento sonoro incorporando materiais naturais*, in CD-Rom *Construção 2007*, 17-19 de Dezembro, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal (2007).
- [2] Everest, F. A. e Pohlmann, K.C., *Master Handbook of Acoustics*, 5.ª ed., McGraw-Hill (2009).
- [3] Vigran, T. E., *Bulding Acoustics*, Taylor & Francis (2008).
- [4] Carvalho, A.P., *A new lightweight partition made with cork and gypsum board. Acoustical design*, Proceedings of XXIV IAHS World Housing Congress, Ankara, Turquia (1996).
- [5] EN ISO 10140-5:2010. *Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 5: Requirements for test facilities and equipment.*
- [6] Tadeu, A.; Godinho, L., Bandeira, F., António, J., Amado Mendes, P. e Castro, I., *Câmaras móveis ITeCons para a realização de ensaios acústicos: Parte I – Descrição e projecto das câmaras*, in CD-Rom *Acústica 2008*, 20-22 de Outubro, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal (2008).
- [7] Castro, I., Tadeu, A.; António, J., Moreira, A., Amado Mendes, P. e Godinho, L., *Câmaras móveis ITeCons para a realização de ensaios acústicos: Parte II – Preparação e caracterização das câmaras horizontais*, in CD-Rom *Acústica 2008*, 20-22 de Outubro, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal (2008).
- [8] EN ISO 10140-1:2010. *Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 1: Application rules for specific products.*
- [9] EN ISO 10140-2:2010. *Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 2: Measurement of airborne sound insulation.*
- [10] EN ISO 10140-4:2010. *Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 4: Measurement procedures and requirements.*
- [11] NP EN ISO 717-1:2009. *Acústica. Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea.*
- [12] *Documento Básico HR. Protección frente al ruido - Código Técnico de la Edificación (CTE)*, 2009.
- [13] Ávila e Sousa, J., Rocha, M., Carvalho, D., *Nova placa composta de gesso laminado com isolamento incorporado em aglomerado de cortiça expandida*, in *Atas de CINCOS'12 – Congresso de Inovação na Construção Sustentável*, 20-22 de Setembro, Aveiro, Portugal, (2012).





ITeCons

Instituto de Investigação e Desenvolvimento
Tecnológico em Ciências da Construção



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



ANEXO

Comunicação a apresentar no Congresso Construção 2012, no âmbito do projecto:

Amado Mendes, P., Neves, A.I., Nascimento, J.A., Tadeu, A., Godinho, L., 2012 - "Desempenho acústico de soluções multicamada em paredes incorporando placas de gesso laminado", in CD *Construção 2012 - 4.º Congresso Nacional*, 18 a 20 de Dezembro, Universidade de Coimbra, Coimbra, 10 p.



DESEMPENHO ACÚSTICO DE SOLUÇÕES MULTICAMADA EM PAREDES INCORPORANDO PLACAS DE GESSO LAMINADO

Paulo Amado Mendes^{1*}, Ana I. Neves², José A. Nascimento², António Tadeu¹ e Luís Godinho¹

1: CICC – Centro de Investigação em Ciências da Construção
Departamento de Engenharia Civil
Universidade de Coimbra
Rua Luís Reis Santos; 3030-788 Coimbra
e-mail: {pamendes, tadeu, lgodinho}@dec.uc.pt, web: <http://www.uc.pt/fctuc/dec>

2: ITeCons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção
Polo II da Universidade de Coimbra - Rua Pedro Hispano, 3030-289 Coimbra
e-mail: {anaisab, jose.nascimento}@itecons.uc.pt, web: <http://www.itecons.uc.pt>

Palavras-chave: Sistemas de construção a seco, Placas de gesso laminado, Soluções multicamada em paredes, Isolamento acústico a sons de condução aérea, Caracterização laboratorial em câmaras acústicas

Resumo. *Têm-se registado, nos últimos anos, níveis crescentes de utilização de sistemas de construção a seco com recurso a placas de gesso laminado, tanto em paredes de compartimentação entre espaços distintos como em soluções de reabilitação de paredes existentes e de reforço de paredes em alvenaria. São reconhecidas diversas vantagens deste tipo de sistemas, designadamente ao nível do conforto térmico e acústico proporcionado em espaços interiores, da segurança ao fogo das soluções, da eficiência e economia de recursos na aplicação em obra, da redução das necessidades energéticas dos edifícios, ou da versatilidade conferida aos sistemas construídos e sua adequação a tendências arquitetónicas atuais e em evolução.*

Do ponto de vista do conforto interior dos espaços construídos, revela-se importante, para projetistas e utentes, conhecer o desempenho acústico de elementos, soluções ou sistemas construtivos, recorrendo a modelos de previsão, à sua caracterização laboratorial ou à análise de medições acústicas realizadas in situ. Neste trabalho, analisa-se o desempenho acústico, em termos de isolamento sonoro avaliado em laboratório, de sistemas construtivos, incorporando placas de gesso laminado, adotados em paredes divisórias ou em soluções de reabilitação acústica de paredes de alvenaria. Tendo em conta os desafios que se colocam a este tipo de sistemas construtivos, face a requisitos funcionais e regulamentares cada vez mais exigentes, procurou-se efetuar uma extensa caracterização de múltiplas opções que podem ser adotadas (ao nível, por exemplo, da constituição dos panos de parede, da perfilaria utilizada, do preenchimento da caixa-de-ar ou do tipo de montagem escolhido), procurando compreender como afetam o comportamento acústico e os níveis de desempenho que podem ser atingidos.

1. INTRODUÇÃO

A execução de paredes divisórias interiores com recurso a sistemas de construção a seco com placas de gesso laminado, tanto em construção nova como em obras de reabilitação, tem revelado um aumento significativo nos últimos anos. Com efeito, a eficiência na execução, os bons desempenhos em termos de isolamento térmico e acústico, a excelente versatilidade de acabamento, a facilidade de manuseamento e a limpeza em obra, e a possibilidade de reciclar os materiais utilizados são vantagens inegáveis destes sistemas construtivos, quando comparados com a habitual alvenaria de tijolo, tendo-se vindo a apresentar como boas alternativas ao mercado tradicional.

Adicionalmente, aqueles sistemas têm conseguido incorporar mais-valias interessantes, numa ótica de construção sustentável, apresentando-se com baixos impactes sobre o ambiente e sobre a saúde dos utilizadores dos edifícios [1] e permitindo minimizar consumos energéticos ao longo do seu processo construtivo e nos edifícios onde são aplicados.

O comportamento acústico de sistemas de construção a seco com placas de gesso tem sido analisado por alguns autores ([2], [3], [4]), contudo, com a evolução recente e o surgimento de diferentes opções, sente-se a necessidade de analisar e compreender melhor as diferentes opções que são disponibilizadas ao mercado.

Com o objetivo de recolher mais informação sobre o desempenho acústico de sistemas multicamada com incorporação de placas de gesso laminado, foi realizada uma extensa campanha de ensaios laboratoriais, em câmaras acústicas. Foram analisadas soluções tradicionais, adotadas correntemente, mas também soluções menos convencionais, envolvendo sistemas de montagem mais complexos e opções por vezes diferentes das usuais. No âmbito do presente trabalho foram construídos provetes laboratoriais com placas de gesso, do tipo divisória leve e solução de reforço/reabilitação de parede de alvenaria, tendo sido ensaiados para analisar o isolamento a sons aéreos conferido pelos sistemas construtivos.

Seguidamente, apresentam-se, de forma breve, as instalações laboratoriais e a metodologia de ensaio, que serviram de base a este estudo. Depois, apresentam-se as características dos principais sistemas ensaiados, indicando-se os materiais constituintes e as opções construtivas selecionadas. Analisa-se também o desempenho acústico obtido (curva de isolamento determinada e valor do correspondente índice de redução sonora ou incremento de redução sonora) para um conjunto de soluções relevantes. Por fim, tecem-se algumas considerações finais em face dos resultados atingidos com os sistemas construídos.

2. MEDIÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO EM LABORATÓRIO

A caracterização experimental documentada no presente trabalho decorreu no ITeCons, tendo sido utilizadas as câmaras acústicas horizontais ali existentes. Estas instalações laboratoriais foram concebidas, projetadas e construídas de modo a respeitar os requisitos normativos impostos internacionalmente [5], representando-se esquematicamente na Figura 1. A nível nacional, aquelas câmaras acústicas são instalações ímpares, observando requisitos normativos bastante exigentes, tal como se documentou, de forma detalhada, nos trabalhos de Tadeu et al. [6] e Castro et al. [7]. Trata-se de um conjunto de câmaras acústicas móveis, que permitem uma elevada flexibilidade na gestão de recursos e programação de ensaios, garantindo sempre elevados níveis de precisão na execução dos ensaios acústicos. No âmbito deste trabalho, foram realizados ensaios para determinação laboratorial do isolamento sonoro para sons de condução aérea, tendo-se seguido procedimentos de ensaio de acordo com as normas ISO 10140-1:2010 [8], ISO 10140-2:2010 [9] e ISO 10140-4:2010 [10].

De forma breve, o procedimento de ensaio envolve a realização, em simultâneo, de diversas medições de pressão sonora, nas câmaras emissora e recetora, com recurso a microfones rotativos e

na presença de uma fonte sonora omnidirecional. Seguidamente, também de acordo com aquelas normas, é avaliado o tempo de reverberação na câmara recetora, para uma combinação de posições de fonte, posições de paragem do microfone rotativo e número de decaimentos registados.

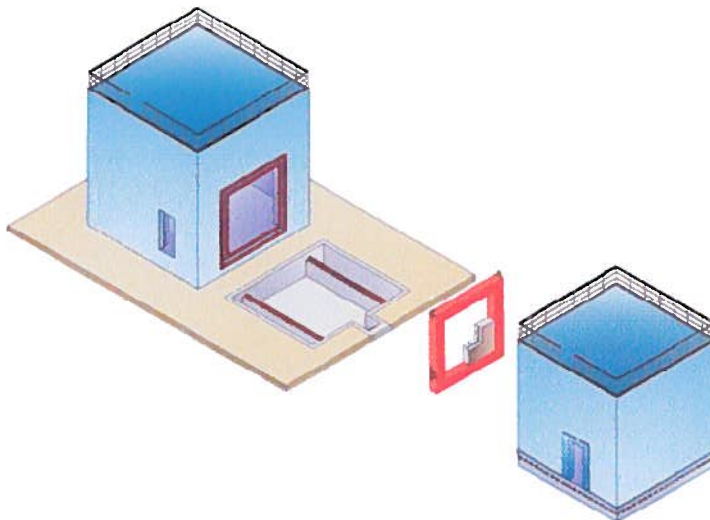


Figura 1. Representação esquemática das câmaras acústicas horizontais do ITeCons.

Após análise dos dados recolhidos e do tratamento de resultados, é determinada a curva de isolamento sonoro do elemento construtivo ensaiado e, seguindo a metodologia descrita na NP EN ISO 717-1:2009 [11], procede-se ao cálculo do correspondente índice de redução sonora ponderado, R_w , e dos termos de adaptação espectral, C e C_{tr} . Complementarmente, pode determinar-se o índice global de redução acústica ponderado A , R_A , com base na metodologia de cálculo adotada pelo “Documento Básico HR. Protección frente al ruido” [12], editado em Espanha em Setembro de 2009, que integra o “Código Técnico de la Edificación (CTE)”.

Com interesse particular no caso das soluções de reforço acústico, pode ainda ser avaliado o incremento da redução sonora conferido pela solução de reforço, em relação a uma solução de parede de base, $\Delta R_{w,direct}$, de acordo com o descrito no anexo G da norma ISO 10140-1:2010 [8].

3. PRINCIPAIS SISTEMAS ENSAIADOS E DESEMPENHO ACÚSTICO OBTIDO

Tal como se referiu anteriormente, foi caracterizado em laboratório um elevado número de sistemas construtivos incorporando placas de gesso laminado. Globalmente, os sistemas podem agrupar-se em soluções para paredes divisórias (sistemas simples e sistemas complexos/especiais) e em soluções de reforço acústico de paredes de alvenaria. De seguida, descrevem-se as características dos sistemas analisados e dos materiais constituintes e, para um conjunto de soluções selecionadas, apresentam-se alguns resultados representativos do correspondente comportamento acústico.

3.1. Placa de gesso laminado

A placa de gesso laminado Gyptec, desenvolvida e fabricada pela Gyptec Ibérica – Gessos Técnicos, S.A., serviu de base ao estudo de caracterização que aqui se apresenta. No fabrico destas placas, utiliza-se, como matérias-primas, papel reciclado e uma forma de gesso sintético, o gesso “FGD - Flue Gas Desulphurisation”, um subproduto das centrais termoelétricas de Sines e do Pêgo, demonstrando claras preocupações de sustentabilidade ambiental, patentes em todo o processo produtivo [13]. As placas de gesso laminado Gyptec estão de acordo com a norma europeia EN

520:2004+A1:2009 "Gypsum plaster boards. Definitions, requirements and test methods" [13], tendo sido testadas nas gamas de placas "A-Standard", "H-Hidrófuga", "F-Anti-fogo" e "D-Alta dureza" e nas gamas de espessuras de 12.5mm e 15mm.

3.2. Paredes divisórias – Sistemas simples

No caso das paredes divisórias interiores, procedeu-se à caracterização de um conjunto de cerca de seis dezenas de sistemas, tendo-se subdividido em sistemas mais simples, de utilização e execução correntes, e em sistemas mais complexos, envolvendo estruturas duplas de perfis metálicos ou montagens dos perfis de forma menos corrente. De entre as opções analisadas, pode referir-se o espaçamento entre perfis metálicos (de 400mm e 600mm) e sua montagem em "C" e em "H"; a largura daqueles perfis (48mm, 70mm, 90mm, 100mm e 125mm), condicionando de forma significativa a largura da caixa-de-ar; o material de preenchimento da caixa-de-ar (caixa-de-ar vazia, com aglomerado de cortiça expandida – ICB, com lã mineral de baixa, média e alta densidade, ou com XPS); a incorporação de aglomerado de cortiça ou de membrana acústica entre placas, em sistemas de placas duplas; ou ainda diferentes condições de ligação transversal e montagem entre perfis metálicos e entre estes e as placas de gesso laminado.

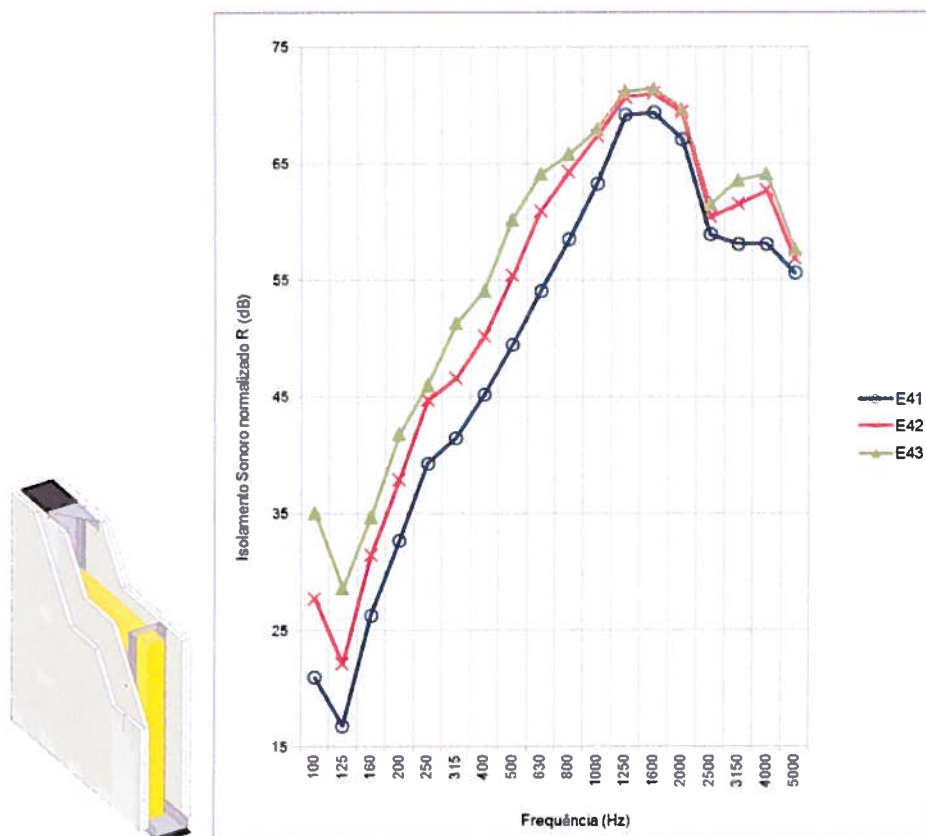


Figura 2. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Placa A simples vs Placa A dupla vs Placa A tripla (E41: Placa A simples: $R_w = 46\text{dB}$, $R_A = 41.8\text{dBA}$; E42: Placa A dupla: $R_w = 51\text{dB}$, $R_A = 47.2\text{dBA}$; E43: Placa A tripla: $R_w = 56\text{dB}$, $R_A = 52.5\text{dBA}$).

Deve referir-se que se procurou que a montagem dos provetes, em aro metálico com abertura livre de

10m², fosse tão representativa quanto possível de condições realistas de aplicação dos sistemas em obra. Para o conjunto total de sistemas de paredes divisórias ensaiados, registaram-se índices globais de redução sonora (R_w) numa extensa gama de resultados, de 33 a 69dB, com valores dos termos de adaptação espectral, C e C_{tr} , a atingirem níveis máximos de (-6; -13)dB, tal como se esperava neste tipo de sistemas de construção leve. Seguindo a metodologia de cálculo do regulamento espanhol, os valores do índice de redução sonora ponderado A (R_A) das soluções testadas situaram-se na gama de 31.6 a 62.6dBA.

Para sistemas simples, destacam-se dois conjuntos de resultados, que se apresentam nas Figuras 2 e 3. Na primeira daquelas figuras, ilustra-se a comparação entre as curvas de isolamento sonoro normalizado correspondentes a provete de ensaio em que se aumentou o número de placas de ambos os lados do sistema, de uma até três placas do tipo "A", com 12.5mm de espessura cada. Utilizaram-se perfis metálicos com 100mm de largura afastados de 600mm, a caixa-de-ar foi parcialmente preenchida com lã mineral de média densidade, com 60mm de espessura, e as placas de gesso foram aplicadas com juntas desencontradas e barradas. O comportamento acústico das três soluções é semelhante, registando-se uma translação das curvas de isolamento à medida que se adicionam mais placas de ambos os lados do sistema. Nas três curvas de isolamento são visíveis quebras de isolamento pronunciadas, para as frequências de 125Hz e de 2500Hz. No primeiro caso, a quebra observada deverá estar relacionada com a ressonância do conjunto da parede e, na frequência mais elevada, ficará a dever-se ao efeito de coincidência e à frequência crítica das placas de gesso laminado. Em termos de índice de redução sonora, observa-se um incremento de 46dB, com placa simples, para 51dB, com placa dupla, e 56dB, no caso de três placas do mesmo tipo.

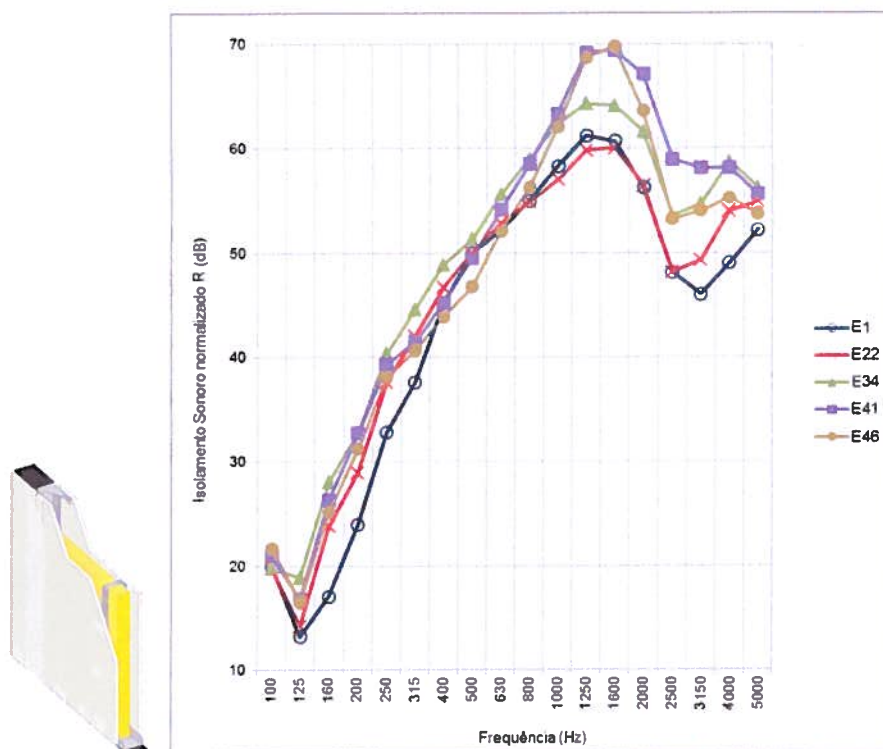


Figura 3. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Perfil 48mm vs 70mm vs 90mm vs 100mm vs 125mm (E1: Prf 48mm: $R_w = 40$ dB, $R_A = 36.7$ dBA; E22: Prf 70mm: $R_w = 44$ dB, $R_A = 39.4$ dBA; E34: Prf 125mm: $R_w = 47$ dB, $R_A = 43.2$ dBA; E41: Prf 100mm: $R_w = 46$ dB, $R_A = 41.8$ dBA; E46: Prf 90mm: $R_w = 45$ dB, $R_A = 41.4$ dBA).

Na Figura 3, podem observar-se as curvas de isolamento sonoro num sistema de placa simples, em que se varia a largura dos perfis metálicos e a espessura da caixa-de-ar por eles condicionada. Assim, num sistema com uma placa do tipo "A" de cada lado, com espessura de 12.5mm, foram utilizados perfis metálicos com as seguintes espessuras: 48mm, 70mm, 90mm, 100mm e 125mm. A caixa-de-ar foi, em todos os casos, parcialmente preenchida com lã mineral. Neste caso, o comportamento dos sistemas apresenta as principais diferenças na gama de médias-altas frequências, com valores de isolamento mais elevados a serem observados para maiores espaçamentos da caixa-de-ar e perfis mais largos, variando o índice R_w de 40dB a 47dB.

3.3. Paredes divisórias – Sistemas complexos/especiais

Para os sistemas com montagens especiais foram igualmente seleccionados dois conjuntos de resultados, de modo a ilustrar os efeitos de algumas opções de montagem e constituição. Assim, pode analisar-se, na Figura 4, uma comparação entre o desempenho acústico de sistemas com dupla placa com espessura de espessura do tipo "A", montados com o auxílio de perfis metálicos de 48mm de largura (e caixa-de-ar totalmente preenchida com lã mineral de baixa densidade), ou com perfis metálicos de 70mm de largura (e caixa-de-ar parcialmente preenchida com lã mineral de baixa densidade), ou com uma solução menos convencional, em que perfis metálicos de 48mm de largura são montados de forma alternada a ligar os dois panos em canal inferior e superior de 70mm (e caixa-de-ar parcialmente preenchida com lã mineral de baixa densidade).

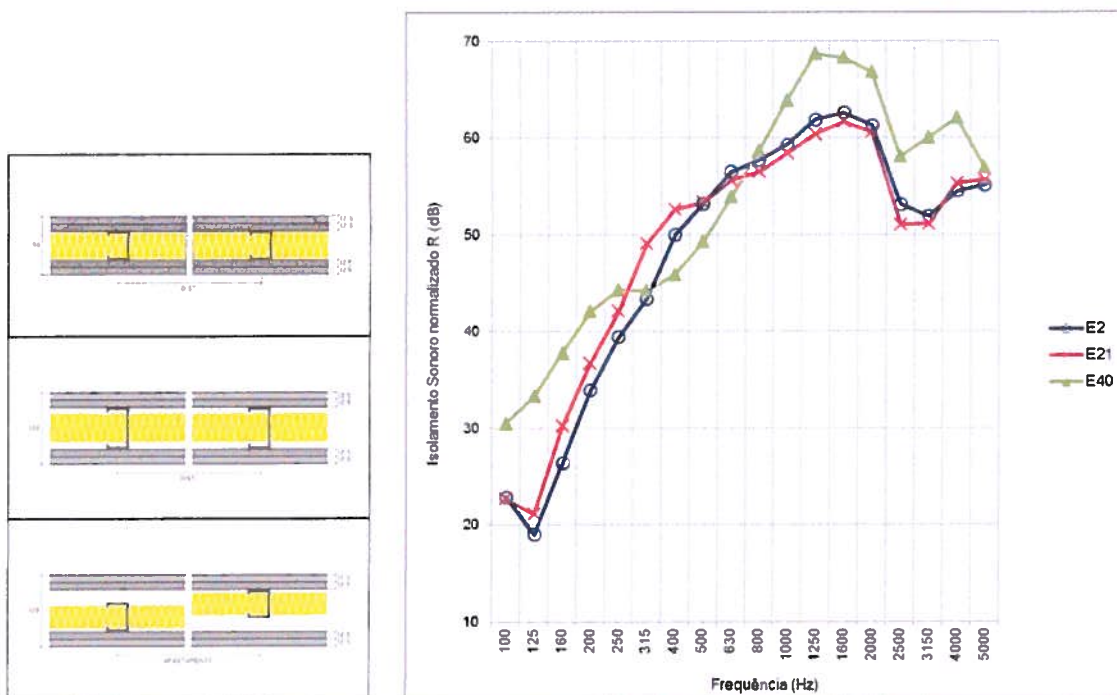


Figura 4. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Perfil 48mm vs Perfil 70mm vs Perfil 48mm desfasado em canal 70mm (E2: perfil 48mm: $R_w = 47$ dB, $R_A = 43.4$ dB; E21: perfil 70mm: $R_w = 49$ dB, $R_A = 45.3$ dB; E40: perfil 48mm desfasado: $R_w = 53$ dB, $R_A = 52.3$ dB).

É de salientar que, neste último sistema, os conjuntos de placas dos dois lados dos compartimentos emissor e recetor se encontram desligados, embora não se tratando de uma montagem com dupla perfilaria. Com efeito, este tipo de montagem revela melhorias claras no desempenho acústico destas

paredes divisórias, com um índice de redução sonora a atingir o valor de 53dB. Analisando as curvas de isolamento sonoro, observam-se os efeitos do desacoplamento dos conjuntos de placas de gesso, permitindo evitar a quebra de isolamento na frequência de 125Hz e deslocando a curva acima da frequência de 800Hz. Um comportamento semelhante foi igualmente identificado para montagens em que os perfis metálicos, com uma dada largura, foram instalados de forma desencontrada em canais com maior largura, revelando-se como opções construtivas extremamente interessantes.

Na Figura 5, documentam-se os resultados, em termos de isolamento sonoro, de duas soluções de paredes divisórias construídas com dupla perfilaria (com 70mm de largura em cada lado), em que os panos com as placas de gesso laminado se encontram totalmente desligados e separados através de uma caixa-de-ar de 40mm de espessura. Trata-se de soluções um pouco mais pesadas, em que se utilizaram duas camadas de lã mineral de alta densidade e em que se pode comparar o efeito, num sistema deste tipo, de passar de uma a duas placas de cada lado, com 12.5mm de espessura e do tipo "A". Nesta situação, o desempenho acústico é melhorado numa gama de frequências abaixo dos 800Hz, determinando um valor global de redução sonora que passa de 56dB para 67dB.

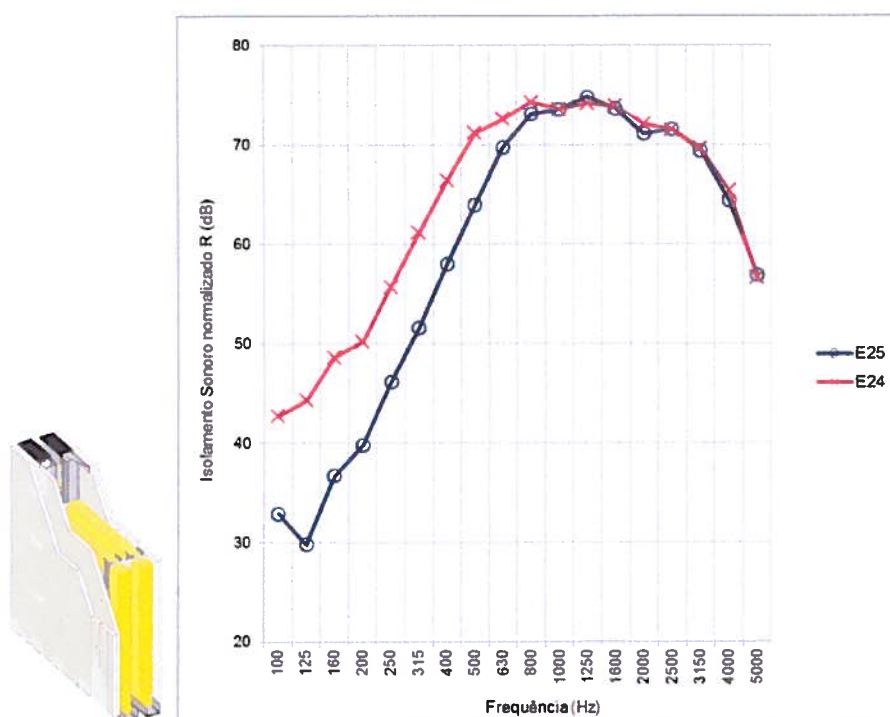


Figura 5. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Duplo perfil 70mm com placa simples vs Duplo perfil 70mm com placa dupla (E25: 2x prf 70mm 1x13A: $R_w = 56\text{dB}$, $R_A = 53.3\text{dBA}$; E24: 2x prf 70mm 2x13A: $R_w = 67\text{dB}$, $R_A = 62.6\text{dBA}$).

3.4. Soluções de reforço acústico de paredes de alvenaria

Como é conhecido, as soluções de reforço acústico dependem bastante do tipo e constituição de parede de alvenaria de base. No âmbito do presente trabalho, foram abordadas diferentes técnicas de reforço, com maior incidência na aplicação de soluções de reforço pelo interior, à semelhança da aplicação de soluções em fase de reabilitação de um edifício existente. Como soluções de base, foram construídas paredes de alvenaria em pano simples de tijolo cerâmico com 15cm, 22cm e 24cm de largura, e em pano duplo de tijolo cerâmico com 11cm+15cm e caixa-de-ar vazia. Os sistemas de

reforço adotados permitiram a combinação de uma ou duas placas de gesso laminado com a aplicação de diferentes soluções, tais como: "Lambourdé" 40mm e 60mm (aglomerado de cortiça expandida com ripado de madeira embutido para facilitar a ligação às placas de gesso); aplicação de placas de aglomerado de cortiça expandida (ICB) 40mm, fixas à parede de suporte com perfis metálicos em "ómega"; utilização de lã mineral com 40mm de espessura e média densidade e de placas em XPS. Foi ainda analisado o comportamento de um sistema de reforço pelo exterior do tipo ETICS, com placas de aglomerado de cortiça expandida. Na grande maioria das situações testadas, a parede de alvenaria foi rebocada em ambas as faces com cerca de 15mm de argamassa tradicional.

A gama de resultados obtidos, neste conjunto de ensaios, corresponde a valores do índice de redução sonora de 27dB a 74dB, com valores dos termos de adaptação espectral a atingirem, no máximo, (-4; -10)dB. As soluções de reforço analisadas permitiram atingir um valor máximo do incremento de redução sonora, $\Delta R_{w, direct}$, de até 31dB.

Pode observar-se, na Figura 6, o comportamento acústico de uma parede de alvenaria em tijolo cerâmico com 22cm de largura, rebocada em ambas as faces, e da mesma parede com aplicação de três soluções de reforço acústico (com uma placa de gesso laminado de 12.5mm do tipo "A"), seguintes: aglomerado de cortiça expandida, em "Lambourdé" com 60mm de espessura; placas de aglomerado de cortiça expandida com 40mm de espessura, aplicadas sobre perfis metálicos em "ómega"; e utilização de placas de lã mineral com 40mm de espessura e média densidade, aplicadas com perfis metálicos de 48mm de largura. As curvas apresentadas na figura, ilustram o isolamento sonoro conferido pelas várias paredes, após aplicação do sistema de reforço, e, na parte inferior do gráfico, o incremento sonoro conferido pela solução de reforço, em relação à solução de base. Esta apresentava, isoladamente, um índice de redução sonora de 47dB, tendo-se registado em laboratório valores de 54dB, 56dB e 65dB, respetivamente para as três soluções anteriormente mencionadas. A estes valores corresponderam incrementos de redução sonora de 7dB, 9dB e 18dB, pela mesma ordem de tipologia de sistema de reforço.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, apresentou-se, de forma resumida, a caracterização laboratorial, em termos de isolamento a sons de condução aérea, de um extenso conjunto de soluções multicamada para paredes divisórias e para reforço acústico, incorporando placas de gesso laminado. Foram analisadas diferentes tipologias de sistemas construtivos e múltiplas opções que podem ser adotadas correntemente em obra, em sistemas de construção a seco.

Os resultados obtidos, através de extensa campanha de ensaios laboratoriais, com amostras normalizadas (sistemas de paredes com 10m² de área) em câmaras acústicas, permitiram concluir que a gama de desempenhos acústicos é muito abrangente, adequando-se aos requisitos funcionais e regulamentares nacionais, bem como ao nosso panorama da atividade da construção. As soluções analisadas podem revelar-se especialmente interessantes do ponto de vista das divisórias leves dentro do mesmo fogo e entre fogos distintos, e também no caso do reforço acústico de paredes de alvenaria.

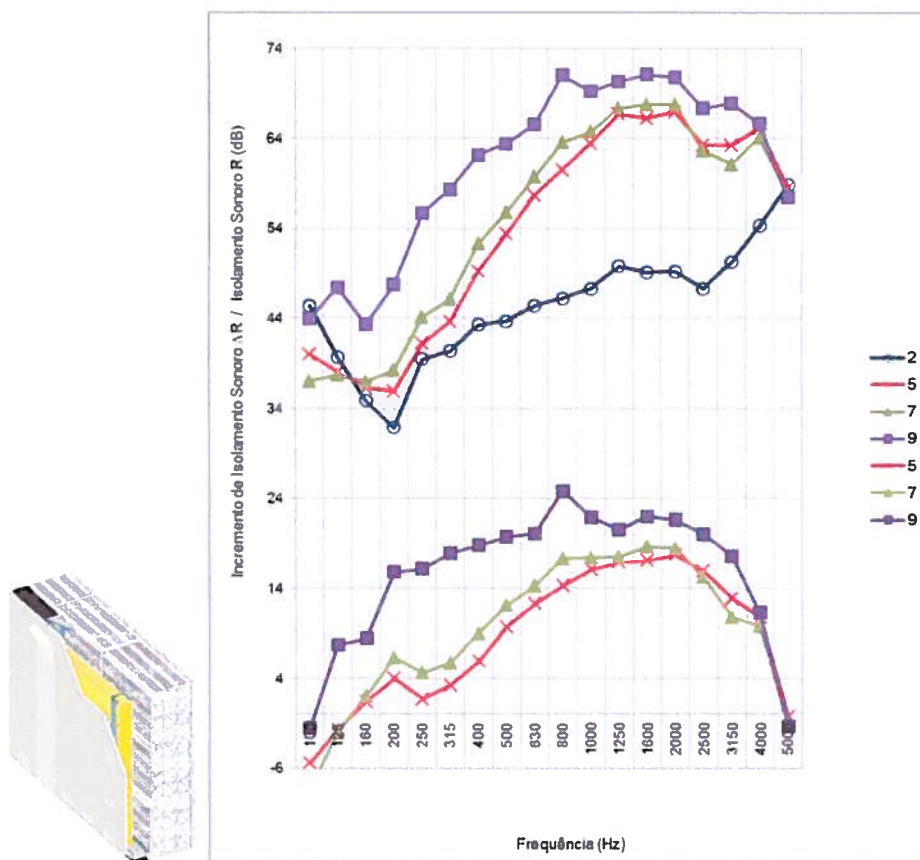


Figura 6. Curvas de isolamento sonoro normalizado: “Lambourdé” 60mm vs ICB 40mm vs LM 40mm (2: parede tijolo 22cm rebocada, base: $R_w = 47\text{dB}$; 5: “Lambourdé” 60mm: $R_w = 54\text{dB}$ [$\Delta R_{w \text{ direct}} = 7\text{dB}$]; 7: ICB 40mm omega: $R_w = 56\text{dB}$ [$\Delta R_{w \text{ direct}} = 9\text{dB}$]; 9: Lã Mineral perfil 48mm: $R_w = 65\text{dB}$ [$\Delta R_{w \text{ direct}} = 18\text{dB}$]).

REFERÊNCIAS

- [1] Godinho, Luís, *Avaliação do comportamento de soluções de isolamento sonoro incorporando materiais naturais*, in CD-Rom *Construção 2007*, 17-19 de Dezembro, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal (2007).
- [2] Everest, F. A. e Pohlmann, K.C., *Master Handbook of Acoustics*, 5.ª ed., McGraw-Hill (2009).
- [3] Vigran, T. E., *Bulding Acoustics*, Taylor & Francis (2008).
- [4] Carvalho, A.P., *A new lightweight partition made with cork and gypsum board. Acoustical design*, Proceedings of XXIV IAHS World Housing Congress, Ankara, Turquia (1996).
- [5] EN ISO 10140-5:2010. *Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 5: Requirements for test facilities and equipment*.
- [6] Tadeu, A.; Godinho, L., Bandeira, F., António, J., Amado Mendes, P. e Castro, I., *Câmaras móveis ITeCons para a realização de ensaios acústicos: Parte I – Descrição e projecto das câmaras*, in CD-Rom *Acústica 2008*, 20-22 de Outubro, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal (2008).
- [7] Castro, I., Tadeu, A.; António, J., Moreira, A., Amado Mendes, P. e Godinho, L., *Câmaras móveis ITeCons para a realização de ensaios acústicos: Parte II – Preparação e*

- caracterização das câmaras horizontais*, in CD-Rom *Acústica 2008*, 20-22 de Outubro, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal (2008).
- [8] EN ISO 10140-1:2010. *Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 1: Application rules for specific products.*
- [9] EN ISO 10140-2:2010. *Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 2: Measurement of airborne sound insulation.*
- [10] EN ISO 10140-4:2010. *Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 4: Measurement procedures and requirements.*
- [11] NP EN ISO 717-1:2009. *Acústica. Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea.*
- [12] *Documento Básico HR. Protección frente al ruido - Código Técnico de la Edificación (CTE)*, 2009.
- [13] Ávila e Sousa, J., Rocha, M., Carvalho, D., *Nova placa composta de gesso laminado com isolamento incorporado em aglomerado de cortiça expandida*, in *Atas de CINCOS'12 – Congresso de Inovação na Construção Sustentável*, 20-22 de Setembro, Aveiro, Portugal, (2012).