

ITeCons

Instituto de Investigação e Desenvolvimento
Tecnológico em Ciências da Construção



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Relatório resumo: “Desenvolvimento de soluções construtivas de compartimentação em tijolo incorporando materiais de isolamento sustentáveis”

Requerente:

Preceram Norte, Cerâmicas, S.A.
Projecto Vale I&DT, com a ref.ª 18802

RELATÓRIO DE INVESTIGAÇÃO APLICADA

(RIA006/12)



Relatório Resumo

Desenvolvimento de soluções construtivas de compartimentação em tijolo incorporando materiais de isolamento sustentáveis

1 - Enquadramento e âmbito do presente relatório

O presente relatório surge no âmbito do projecto "Desenvolvimento de soluções construtivas de compartimentação em tijolo incorporando materiais de isolamento sustentáveis" desenvolvido no ITeCons por solicitação da empresa Preceram Norte, Cerâmicas, S.A., no âmbito do projecto Vale I&DT, com a ref.ª 18802.

A Preceram Norte, Cerâmicas, S.A., integrada no sector da cerâmica estrutural, é uma empresa do Grupo Preceram, maior produtor de tijolo cerâmico em Portugal, cuja principal actividade se centra no fabrico de tijolos correntes. Na produção de tijolos, a Preceram utiliza as mais recentes tecnologias e, principalmente, as melhores matérias-primas do país, o que lhe permite obter produtos de excelente qualidade. Neste contexto, aliada a uma política de melhoria contínua dos seus produtos e métodos de produção, a Preceram tem apostado no desenvolvimento de novos produtos, nomeadamente o tijolo térmico Preceram.

Com o desenvolvimento deste projecto, a Preceram Norte pretende disponibilizar soluções construtivas no mercado, que tenham por base a prosequção de três objectivos fundamentais:

- 1- Facilidade de aplicação;
- 2- Contributo para a melhoria do conforto térmico e acústico dos edifícios;
- 3- Respeito pelo meio ambiente.

De facto, no âmbito deste projecto, pretendeu-se desenvolver soluções construtivas para paredes exteriores com base em alvenaria de tijolo cerâmico, reforçadas com materiais ecológicos e com elevado desempenho térmico e acústico, como painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB), contribuindo assim para um desenvolvimento sustentável da construção. Por outro lado, pretendeu-se também desenvolver soluções construtivas através da aplicação de isolamento térmico pelo interior da envolvente e revestimento em placas de gesso laminado, assegurando-se a continuidade do isolamento térmico e a sua aderência ao suporte, de modo a garantir a minimização das descontinuidades e futuras patologias, assim como a elevada durabilidade da solução. Trata-se de soluções bastante abrangentes, que podem ser aplicáveis, quer em novas construções, quer na reabilitação de edifícios existentes, do sector residencial e de serviços.

O desenvolvimento deste projecto, que se enquadra na área da tecnologia e ciência dos materiais, visou a realização de testes laboratoriais nas instalações do ITEcons, necessários à avaliação do desempenho acústico, térmico e mecânico de diversas soluções construtivas com base num suporte em tijolo cerâmico.

2 - Introdução

A falta de implementação de medidas que contribuam para a redução do consumo de energia e diminuição da emissão de gases poluentes compromete, a longo prazo, a sustentabilidade do nosso planeta.

No caso da indústria da construção, estando inevitavelmente associada ao consumo de grandes quantidades de energia, com a decorrente emissão de elevados níveis de gases com efeito de estufa, verificam-se, de facto, algumas lacunas no que diz respeito à sensibilização para a sustentabilidade.

Neste contexto, facilmente se evidencia que a utilização de componentes renováveis ou recicláveis, em substituição de materiais de construção tradicionalmente usados ou em seu complemento, contribui claramente para melhorar o desempenho ambiental dos edifícios. Contudo, de modo a que as soluções construtivas, assim constituídas, garantam também adequados desempenhos funcionais e de conforto, torna-se fundamental a sua caracterização do ponto de vista acústico, térmico e mecânico.

De forma a tornar clara a leitura do presente relatório, este foi dividido nas seguintes grandes secções:

- Caracterização do isolamento sonoro para sons de condução aérea de paredes de alvenaria de tijolo da Preceram com reforço / reabilitação acústica;
- Determinação do valor de cálculo da resistência térmica e coeficiente de transmissão térmica de soluções constituídas por painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB), Ref.ª “Lambourdé”, fixos a paredes de alvenaria de tijolo da Preceram;
- Avaliação da resistência ao arrancamento da solução construtiva constituída por painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB), Ref.ª “Lambourdé” 60mm, fixos a paredes de alvenaria de tijolo da Preceram;
- Considerações finais.

6

3 - Caracterização do isolamento sonoro para sons de condução aérea de paredes de alvenaria de tijolo da Preceram com reforço / reabilitação acústica

Seguidamente, apresentam-se, de forma breve, as instalações laboratoriais e a metodologia de ensaio, para a determinação do isolamento sonoro para sons de condução aérea de soluções construtivas verticais do tipo paredes. Posteriormente, 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 sonoro determinada e valor calculado do correspondente índice de redução sonora ou incremento de redução sonora) para um conjunto de soluções relevantes no âmbito do projecto. Ao longo do texto, tecem-se algumas considerações referentes aos resultados laboratoriais obtidos com os sistemas construídos.

3.1 - Instalações laboratoriais (Câmaras acústicas horizontais do ITeCons)

Tratando-se, sobretudo, da abordagem a questões relacionadas com o isolamento sonoro de soluções construtivas de compartimentação vertical, a técnica laboratorial utilizada baseou-se em ensaios de determinação do isolamento sonoro para sons de condução aérea, R_w , nas câmaras acústicas horizontais existentes no ITeCons, que se encontram esquematicamente representadas na Figura 1.

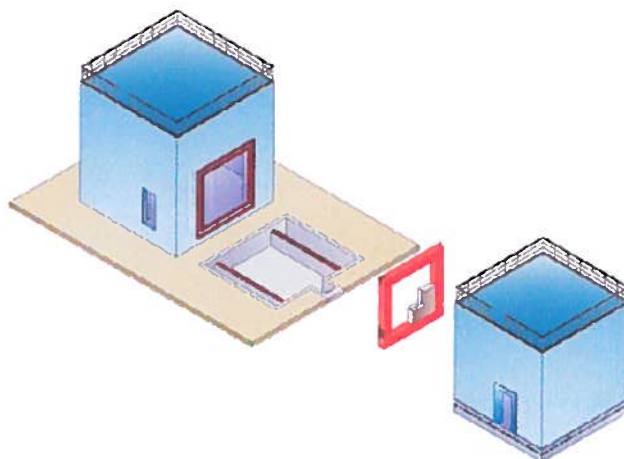


Figura 1 – Representação esquemática das câmaras acústicas horizontais do ITeCons

Estas instalações laboratoriais foram concebidas, projectadas e construídas de modo a respeitar os requisitos normativos impostos internacionalmente [1]. Ao 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. [2] e Castro et al. [3].

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.

3.2 - Metodologia de ensaio laboratorial

No âmbito deste projecto, 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 [4], ISO 10140-2:2010 [5] e ISO 10140-4:2010 [6].

De forma breve, 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 omnidireccional, 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 apresentaram dimensões de 3.16m x 3.16m, totalizando uma área aproximada de 10m².

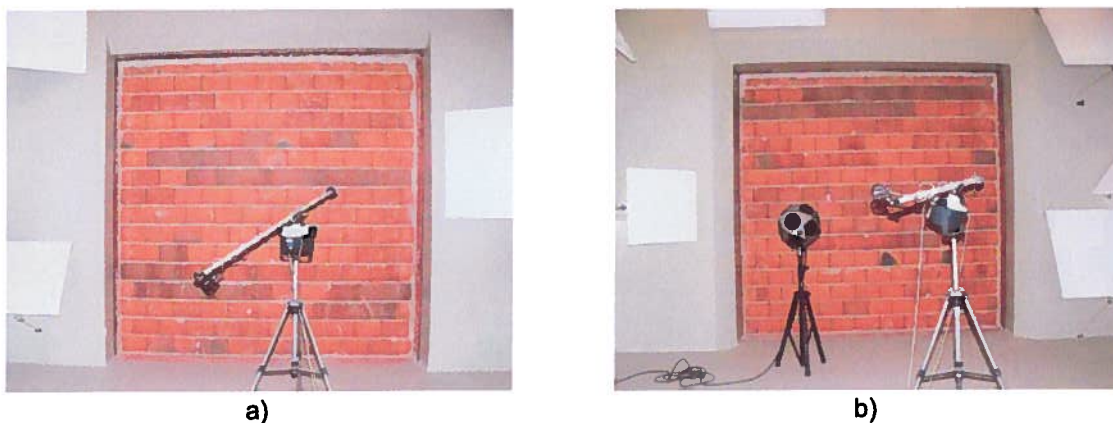


Figura 2 – Fotografia ilustrativa de parede de tijolo cerâmico ensaiada nas câmaras acústicas do ITeCons:
a) Câmara emissora; b) Câmara receptora

Após análise dos dados recolhidos, da validação do ensaio e do tratamento de resultados, é determinada a curva de isolamento sonoro do elemento construtivo ensaiado (para uma gama alargada de frequências de interesse de 100Hz a 5000Hz) e, seguindo a metodologia descrita na NP EN ISO 717-1:2009 [7], 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 adoptada pelo “Documento Básico HR. Protección frente al ruido” [8], 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.

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 [4].

3.3 - Descrição das soluções de base ensaiadas

O âmbito principal deste trabalho de caracterização laboratorial e optimização de soluções centrou-se nos tijolos cerâmicos furados, desenvolvidos e fabricados pela Preceram Norte, Cerâmicas, S.A.. No fabrico destes tijolos, com furação vertical e estrias de reboco, utiliza-se argila como matéria-prima. Esta, depois de adequado processamento, é moldada em função da geometria e configuração de furos pretendida e os tijolos resultantes são cozidos a elevadas temperaturas.

A montagem destes tijolos em paredes de alvenaria é efectuada com recurso a juntas de argamassa horizontais entre fiadas, contínuas ou descontínuas, e com juntas verticais secas ou totalmente preenchidas com argamassa.

A qualidade da produção de tijolos e a conformidade dos produtos com os requisitos legais rege-se pela aplicação da Directiva 89/106/CEE [9], Marcação CE, com a implementação do Sistema de Controlo de Produção em Fábrica.

Neste trabalho foram utilizados tijolos cerâmicos tradicionais com 11cm, 15cm e 22cm de largura, assim como tijolo cerâmico térmico e acústico com largura de 24cm. Na Figura 3 ilustram-se os tijolos cerâmicos utilizados no âmbito do presente trabalho.

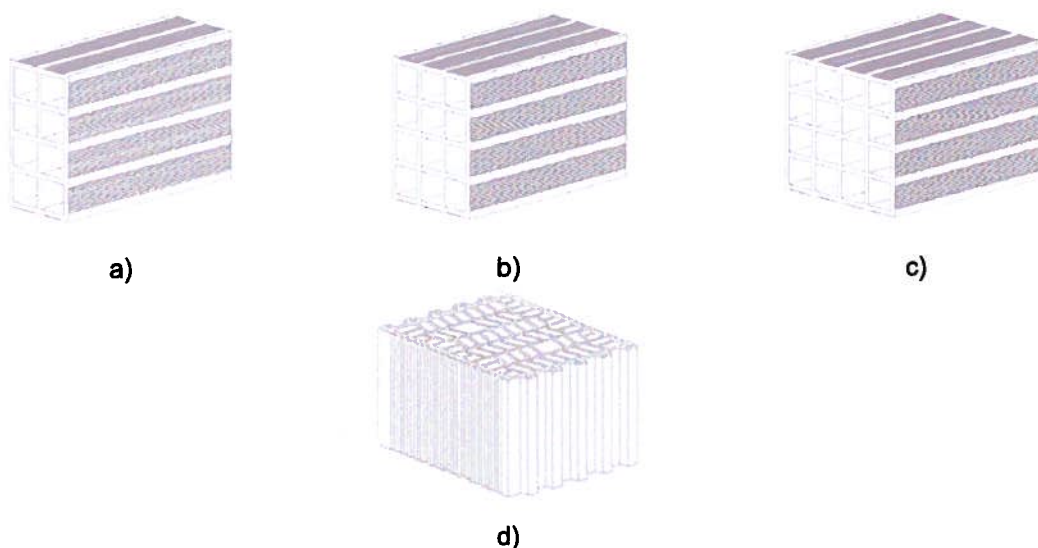
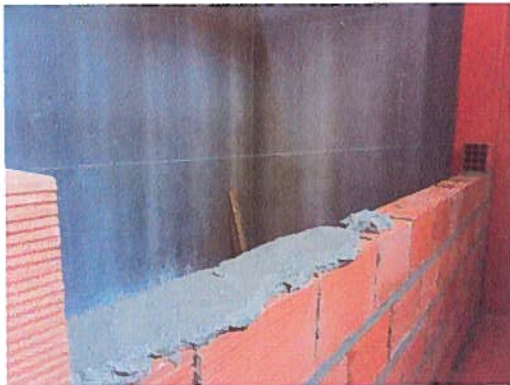


Figura 3. Tijolos cerâmicos utilizados: a) Tijolo tradicional 30x20x11; b) Tijolo tradicional 30x20x15; c) Tijolo tradicional 30x20x22; d) Tijolo térmico e acústico 30x19x24

Na Figura 4 ilustram-se alguns aspectos e pormenores construtivos adoptados na construção/montagem das soluções caracterizadas.



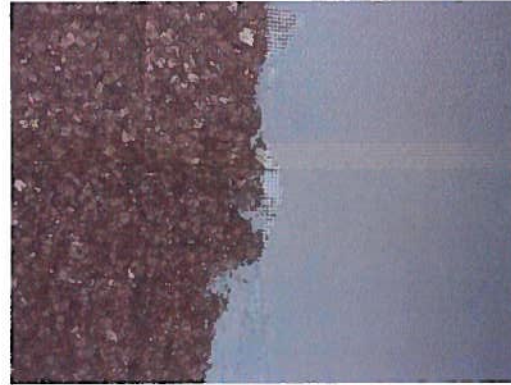
a)



b)



c)



d)



e)



f)

Figura 4. Exemplos de aspectos e pormenores construtivos: a) Construção de parede de alvenaria simples; b) Construção de parede de alvenaria dupla com caixa-de-ar; c) Aplicação de reforço em aglomerado expandido de cortiça, em "Lambourdé", e placa de gesso; d) Aplicação de revestimento tipo ETICS (sistema "Barbothem"), com aglomerado expandido de cortiça; e) Aplicação de reforço com estrutura metálica preenchida com lã mineral; f) Aplicação de reforço com placas compostas XPS aplicadas sobre perfis metálicos em "ómega"



3.4 - Apresentação e análise de resultados obtidos

Foi caracterizado em laboratório um elevado número de sistemas com base em paredes de alvenaria em tijolo cerâmico (soluções de referência em alvenaria e com aplicação de diferentes soluções de reforço / reabilitação acústica), dos quais se apresenta uma síntese dos respectivos resultados na Tabela 1.

Tabela 1. Síntese dos resultados experimentais obtidos

Ref. ^a Relatório	Ref. ^a Ensalo	R _w (dB)	C; C _{tr}	C ₁₀₀₋₅₀₀₀ ; C _{tr 100-5000}	ΔR _{w direct} (dB)	R _A (dBA) DB-HR
ACU294/12	1	40	-1;-2	0;-2	---	39.9
ACU295/12	2	47	-1;-4	0;-4	---	46.4
ACU296/12	3	48	-1;-5	0;-5	1	47.5
ACU297/12	4	49	-1;-5	0;-5	2	48.7
ACU298/12	5	54	-2;-7	-1;-7	7	52.6
ACU299/12	6	55	-2;-6	-1;-6	8	53.9
ACU300/12	7	56	-3;-7	-2;-7	9	54.2
ACU301/12	8	59	-2;-7	-2;-7	12	57.2
ACU302/12	9	65	-3;-8	-4;-8	18	61.4
ACU303/12	10	67	-2;-5	-3;-5	20	63.8
ACU304/12	E1	52	-1;-4	0;-4	---	51.5
ACU305/12	E2	56	-1;-5	0;-5	4	55.6
ACU306/12	E3	59	-2;-7	-1;-7	7	57.6
ACU307/12	E4	56	-2;-6	-1;-6	4	55.2
ACU308/12	E5	59	-2;-7	-1;-7	7	57.6
ACU309/12	E6	52	0;-4	0;-4	0	52.3
ACU310/12	E7	59	-2;-7	-2;-7	7	56.8
ACU311/12	E8	61	-2;-7	-3;-7	9	58.4
ACU312/12	E9	43	-1;-3	0;-3	---	43.3
ACU313/12	E10	60	-2;-8	-2;-8	17	58.6
ACU314/12	E11	63	-1;-5	-2;-5	20	61.4
ACU315/12	E12	74	-2;-5	-8;-6	31	66.7
ACU316/12	E13	71	-4;-10	-6;-10	28	64.8
ACU317/12	E14	27	0;0	0;0	---	27.4
ACU318/12	E15	45	-1;-3	0;-3	---	45.2
ACU319/12	E16	63	-2;-8	-2;-8	18	60.6
ACU320/12	E17	66	-2;-6	-3;-6	21	63.0
ACU321/12	E18	33	-1;-1	0;-1	---	33.2
ACU322/12	E19	43	-1;-4	0;-4	-3	42.5
ACU323/12	E20	45	-1;-3	0;-3	-1	45.3
ACU324/12	E21	46	-1;-4	-1;-4	---	45.3
ACU325/12	E22	44	-1;-4	0;-4	-2	44.0
ACU326/12	E23	30	0;0	0;0	---	30.3
ACU327/12	E24	48	0;-1	1;-1	---	48.8
ACU101/12	E25	54	-2;-5	-1;-5	6	52.9
ACU328/12	E26	51	-2;-6	-1;-6	3	49.8



Neste contexto, para um conjunto de soluções seleccionadas, apresentam-se seguidamente alguns resultados mais detalhados representativos do correspondente comportamento acústico.

Comparam-se, na Figura 5, todas as tipologias de paredes de alvenaria de tijolo cerâmico construídas, quer com pano simples quer com pano duplo, considerando ambas as faces com aplicação de reboco tradicional de areia e cimento, com cerca de 15mm de espessura. Construíram-se, portanto, paredes simples, em tijolo tradicional com 22cm de largura (ensaio com ref.^a 2: $R_w = 47\text{dB}$) e 15cm de largura (E9: $R_w = 43\text{dB}$) e em tijolo térmico e acústico com 24cm de largura, com juntas horizontais descontínuas (E21: $R_w = 46\text{dB}$) e juntas horizontais contínuas (E24: $R_w = 48\text{dB}$). Por outro lado, construiu-se também uma parede dupla, constituída por dois panos em tijolo tradicional com 11cm de largura e 15cm de largura, separados por caixa-de-ar com 4cm de largura (E1: $R_w = 52\text{dB}$). Como seria de esperar, para paredes simples, registou-se um acréscimo do índice de isolamento com o aumento da largura dos tijolos tradicionais utilizados (15cm e 22cm). Por seu turno, verificou-se que a consideração de juntas horizontais contínuas entre fiadas de tijolo térmico e acústico com 24cm de largura revela-se mais benéfica, do ponto de vista acústico, que a adopção de juntas horizontais descontínuas. Na Figura 6 ilustram-se estes dois tipos de juntas horizontais. A parede dupla, como expectável, apresenta o maior índice de isolamento sonoro entre as soluções de base, com paredes de alvenaria, analisadas.

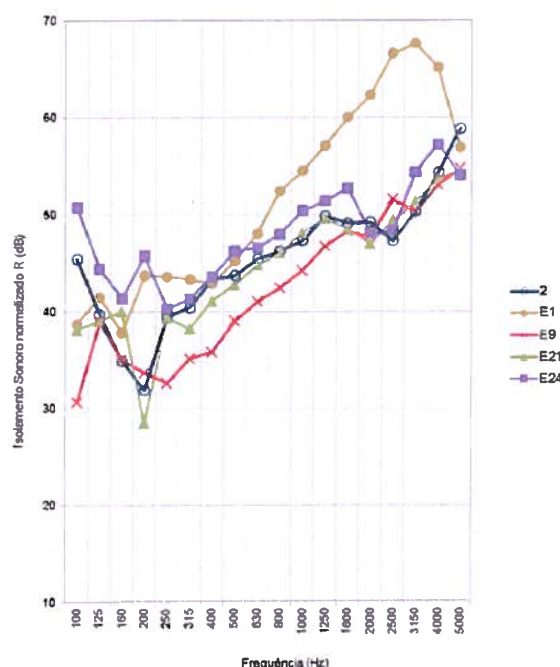


Figura 5. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Paredes de alvenaria rebocadas em ambas as faces: (2: Pano simples 22cm: $R_w = 47\text{dB}$; E1: Pano duplo 15cm+cx.ar4cm+11cm: $R_w = 52\text{dB}$; E9: Pano simples 15cm: $R_w = 43\text{dB}$; E21: Pano simples 24cm, juntas descontínuas: $R_w = 46\text{dB}$; E24: Pano simples 24cm, juntas contínuas: $R_w = 48\text{dB}$)



Figura 6. a) Junta horizontal descontinua; b) Junta horizontal contínua

Pode observar-se, na Figura 7a), o comportamento acústico de uma parede de alvenaria em tijolo cerâmico com 22cm de largura, rebocada em ambas as faces (2), e da mesma parede com aplicação de três soluções de reforço acústico (incorporando uma placa de gesso laminado de 12.5mm do tipo "A"), as quais se descrevem seguidamente: aglomerado expandido de cortiça, em "Lambourdé", com 60mm de espessura (5); placas de aglomerado expandido de cortiça com 40mm de espessura, aplicadas sobre perfis metálicos em "ómega" (7); e utilização de placas de lã mineral com 40mm de espessura e média densidade, aplicadas com perfis metálicos de 48mm de largura (9).

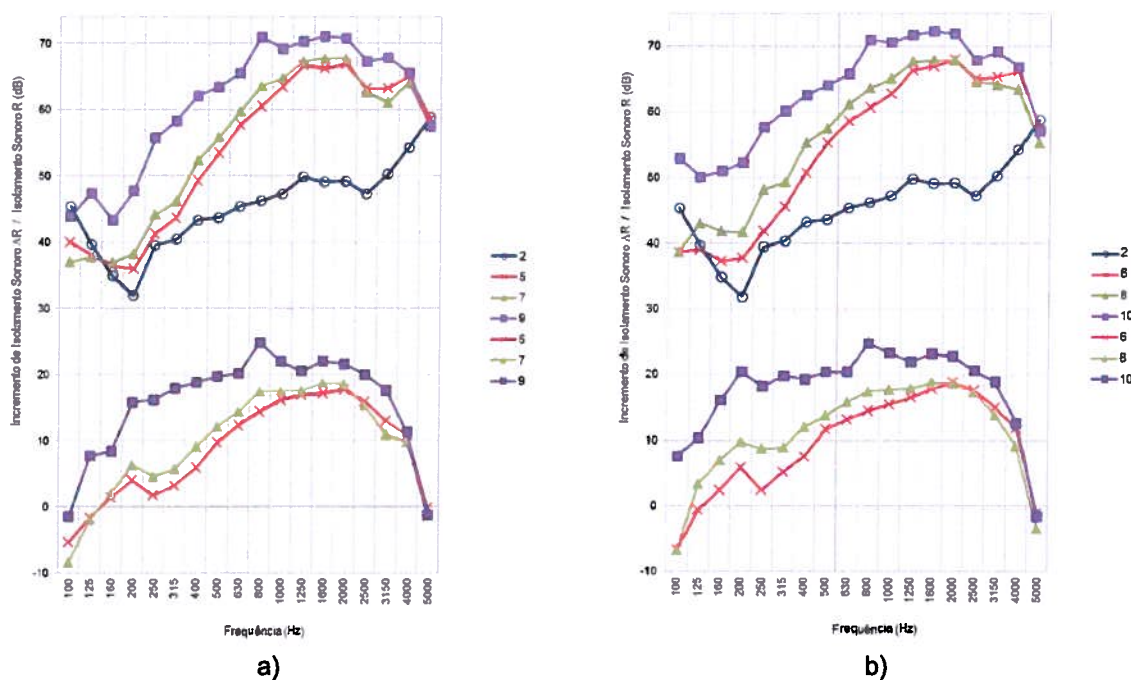


Figura 7. Curvas de isolamento sonoro normalizado: a) Placa "A" simples (2: parede tijolo 22cm rebocada, base: $R_w = 47\text{dB}$; 5: "Lambourdé" 60mm: $R_w = 54\text{dB}$ [$\Delta R_{w \text{ direct}} = 7\text{dB}$]; 7: ICB 40mm ómega: $R_w = 56\text{dB}$ [$\Delta R_{w \text{ direct}} = 9\text{dB}$]; 9: Lã Mineral perfil 48mm: $R_w = 65\text{dB}$ [$\Delta R_{w \text{ direct}} = 18\text{dB}$]); b) Placa "A" dupla (2: parede tijolo 22cm rebocada, base: $R_w = 47\text{dB}$; 6: "Lambourdé" 60mm: $R_w = 55\text{dB}$ [$\Delta R_{w \text{ direct}} = 8\text{dB}$]; 8: ICB 40mm ómega: $R_w = 59\text{dB}$ [$\Delta R_{w \text{ direct}} = 12\text{dB}$]; 10: Lã Mineral prf. 48mm: $R_w = 67\text{dB}$ [$\Delta R_{w \text{ direct}} = 20\text{dB}$])



17

As curvas apresentadas na Figura 7a), 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, respectivamente para as três soluções de reforço anteriormente mencionadas. A estes valores corresponderam incrementos de redução sonora de 7dB, 9dB e 18dB, pela mesma ordem de tipologia de sistema de reforço. Uma comparação semelhante é igualmente apresentada na Figura 7b), considerando as mesmas soluções de reforço, acrescidas da aplicação de mais uma camada de placas de gesso laminado de 12.5mm do tipo "A", tendo-se registado valores do índice de isolamento sonoro de 55dB, 59dB e 67dB, respectivamente para as três soluções de reforço mencionadas. De igual forma, os incrementos de redução sonora correspondem a 8dB, 12dB e 20dB, respectivamente.

Na Figura 8, compara-se também o comportamento acústico de uma parede de alvenaria em tijolo cerâmico com 22cm de largura, rebocada em ambas as faces (2), com a mesma parede reforçada com as três soluções seguintes: aglomerado expandido de cortiça, em "Lambourdé", com 40mm de espessura (3 e 4); aglomerado expandido de cortiça, em "Lambourdé", com 60mm de espessura (5 e 6); e placas de aglomerado expandido de cortiça com 40mm de espessura, aplicadas sobre perfis metálicos em "ómega" (7 e 8).

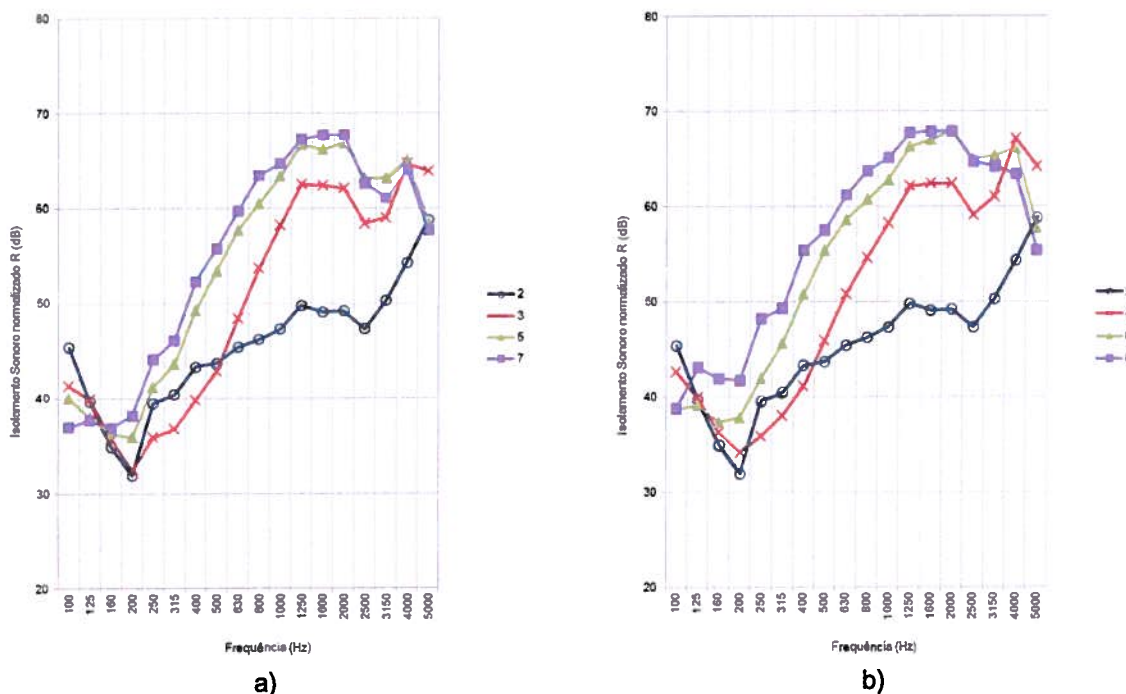


Figura 8. Curvas de isolamento sonoro normalizado: "Lambourdé" 40mm vs "Lambourdé" 60mm vs ICB 40mm: a) Placa "A" simples (2: parede tijolo 22cm rebocada, base: $R_w = 47$ dB; 3: "Lambourdé" 40mm: $R_w = 48$ dB; 5: "Lambourdé" 60mm: $R_w = 54$ dB; 7: ICB 40mm ómega: $R_w = 56$ dB; b) Placa "A" dupla (2: parede tijolo 22cm rebocada, base: $R_w = 47$ dB; 4: "Lambourdé" 40mm: $R_w = 49$ dB; 6: "Lambourdé" 60mm: $R_w = 55$ dB; 8: ICB 40mm ómega: $R_w = 59$ dB)





Ressalve-se que estas três soluções de reforço acústico foram analisadas com aplicação de placa simples de gesso laminado do tipo "A", com 12.5mm de espessura (3, 5 e 7), e com placa dupla do mesmo material (4, 6 e 8). Pode observar-se o acréscimo de isolamento sonoro acentuado, com o aumento da espessura de aglomerado expandido de cortiça, em "Lambourdé", de 40mm para 60mm, com valores de incremento na ordem dos 6dB, tanto para utilização de placa de gesso simples como para consideração de placa de gesso dupla. Repare-se também no elevado aumento de isolamento sonoro quando se considera a utilização da mesma espessura de aglomerado expandido de cortiça (40mm), mas com estratégias de aplicação distintas, como sejam a utilização de ripado de madeira embutido ("Lambourdé") e a utilização de perfis metálicos "em ómega", que contribuem para a formação de uma caixa-de-ar entre a parede e as placas de cortiça. Usando placa de gesso simples registou-se um acréscimo de 8dB, entre estas soluções e, com placa de gesso dupla, o incremento foi de 10dB.

Considerando a parede de alvenaria dupla rebocada em ambas as faces, com dois panos em tijolo tradicional com 11cm e 15cm de largura, respectivamente, espaçados com caixa-de-ar vazia com 4cm de largura (E1), apresenta-se, na Figura 9, uma análise comparativa entre as curvas de isolamento sonoro correspondentes a quatro soluções de reforço (com uma placa de gesso laminado de 12.5mm do tipo "A"), as quais se descrevem seguidamente: aglomerado expandido de cortiça, em "Lambourdé", com 40mm de espessura (E2); aglomerado expandido de cortiça, em "Lambourdé", com 60mm de espessura (E4); placas de poliestireno extrudido (XPS) com 40mm de espessura, aplicadas sobre perfis metálicos em "ómega" (E6); e placas de aglomerado expandido de cortiça com 40mm de espessura, aplicadas sobre perfis metálicos em "ómega" (E7).

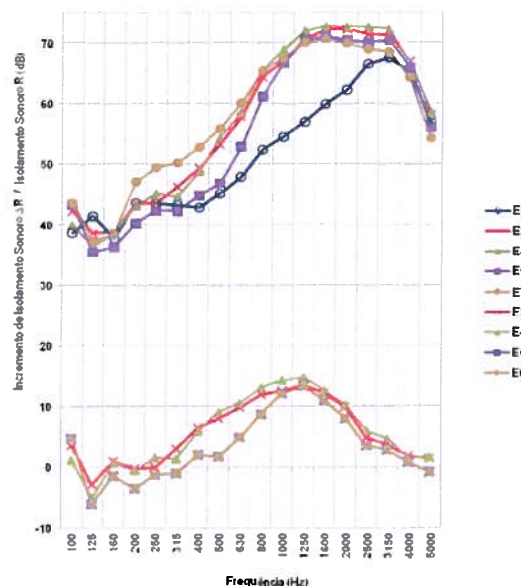


Figura 9. Curvas de isolamento sonoro normalizado (placa "A" simples): "Lambourdé" 40mm vs "Lambourdé" 60mm vs XPS 40mm vs ICB 40mm: (E1: parede dupla 15cm+cx.ar4cm+11cm, base: $R_w = 52\text{dB}$; E2: "Lambourdé" 40mm: $R_w = 56\text{dB}$ [$\Delta R_{w \text{ direct}} = 4\text{dB}$]; E4: "Lambourdé" 60mm: $R_w = 56\text{dB}$ [$\Delta R_{w \text{ direct}} = 4\text{dB}$]; E6: XPS 40mm ómega: $R_w = 52\text{dB}$ [$\Delta R_{w \text{ direct}} = 0\text{dB}$]; E7: ICB 40mm ómega: $R_w = 59\text{dB}$ [$\Delta R_{w \text{ direct}} = 7\text{dB}$])



A parede de alvenaria, com aplicação de reboco tradicional de areia e cimento em ambas as faces, apresenta um índice de isolamento sonoro de 52dB. Verifica-se, portanto, que a solução de reforço com placas de XPS, apesar de melhoria significativa de isolamento sonoro na região das médias-altas frequências, não se revela benéfica ao nível do índice de isolamento, que se mantém igual a 52dB, sem incremento de redução sonora face à parede de alvenaria, devido à massa diminuta das placas de poliestireno extrudido. Observa-se, também, que o aumento de espessura das placas de aglomerado expandido de cortiça, em "Lambourdé", de 40mm para 60mm, não provoca alterações no índice de isolamento sonoro, mantendo-se igual a 59dB em ambas as situações, correspondentes a incremento de redução sonora de 4dB em relação à parede de alvenaria. O maior incremento de redução sonora obtido corresponde à solução que utiliza ICB com 40mm de espessura, sobre perfis metálicos em "ómega" (7dB), com melhoria de isolamento sobretudo entre as bandas de frequência de 200Hz e 630Hz, face às restantes soluções de reforço.

Ainda referente às soluções de reforço anteriormente mencionadas, exceptuando a utilização de placas de XPS, apresentam-se, na Figura 10, as curvas de isolamento sonoro com aplicação de placa dupla de gesso laminado do tipo "A", com 12.5mm de espessura. Ambas as soluções com base em aglomerado expandido de cortiça, em "Lambourdé", com 40mm e 60mm de espessura (E3 e E5), possuem um índice de isolamento de 59dB, enquanto a solução composta por ICB com 40mm de espessura, sobre perfis metálicos em "ómega" (E8), revela um índice de 61dB.

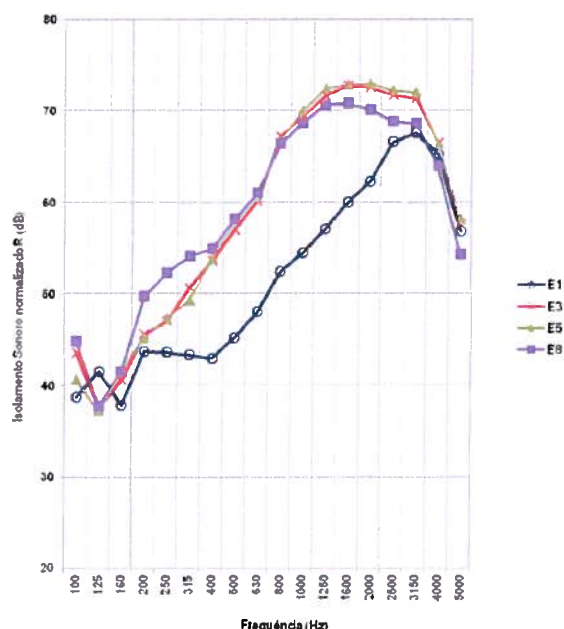


Figura 10. Curvas de isolamento sonoro normalizado (placa "A" dupla): "Lambourdé" 40mm vs "Lambourdé" 60mm vs ICB 40mm: (E1: parede dupla 15cm+cx.ar4cm+11cm: $R_w = 52\text{dB}$; E3: "Lambourdé" 40mm: $R_w = 59\text{dB}$; E5: "Lambourdé" 60mm: $R_w = 59\text{dB}$; E8: ICB 40mm ómega: $R_w = 61\text{dB}$)

Considera-se, agora, a parede de alvenaria simples, em tijolo tradicional com 15cm de largura, rebocada em ambas as faces (E9). Na Figura 11, ilustra-se a comparação entre os respectivos valores de isolamento sonoro, por bandas de frequência de terços de oitava, e os valores de isolamento obtidos com a utilização de reforço acústico, numa das faces, constituído por caixa-de-ar de 30mm e estrutura em perfis metálicos com 48mm de largura preenchida parcialmente com lã mineral de média densidade, sucessivamente com a aplicação de uma e duas placas de gesso laminado com 15mm de espessura (E10 e E11). Observa-se um incremento generalizado de isolamento sonoro quando se aplicam as soluções de reforço, face à parede simples ($R_w = 43\text{dB}$). Por outro lado, regista-se um acréscimo de isolamento sonoro, sobretudo nas bandas de frequência anteriores a 400Hz, quando se consideram duas placas de gesso laminado no sistema, face à aplicação de apenas uma placa de gesso, passando o índice de isolamento de 60dB (Placa "A" simples) para 63dB (Placa "A" dupla), com incrementos de redução sonora de 17dB e 20dB, respectivamente.

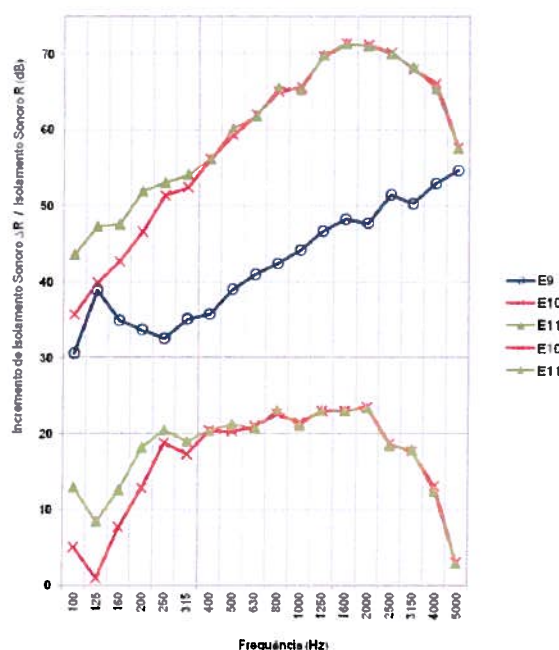


Figura 11. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Placa "A" simples vs Placa "A" dupla:
(E9: parede tijolo 15cm rebocada, base: $R_w = 43\text{dB}$; E10: Placa A simples: $R_w = 60\text{dB}$ [$\Delta R_{w \text{ direct}} = 7\text{dB}$];
E11: Placa A dupla: $R_w = 63\text{dB}$ [$\Delta R_{w \text{ direct}} = 10\text{dB}$])

Ainda com a parede de alvenaria simples, em tijolo tradicional com 15cm de largura, como base, considera-se também a comparação entre a utilização de reforço acústico, apenas numa das faces e em ambas as faces da parede, constituído por caixa-de-ar (30mm) e estrutura em perfis metálicos (48mm) preenchida parcialmente com lã mineral de média densidade (40mm), com a aplicação de duas placas de gesso laminado (15mm cada) (E11 e E12). Apresentam-se as respectivas curvas de isolamento sonoro na Figura 12.

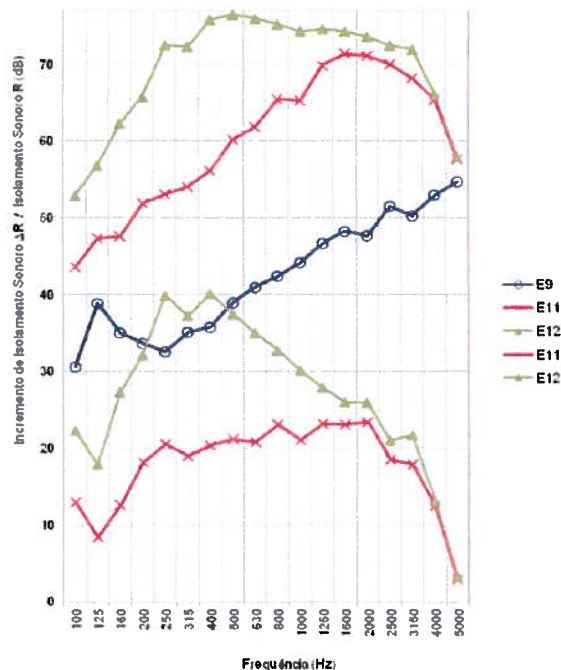


Figura 12. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Reforço numa face vs Reforço nas duas faces:
(E9: parede tijolo 15cm rebocada, base: $R_w = 43\text{dB}$; E11: Reforço numa face: $R_w = 63\text{dB}$;
E12: Reforço nas duas faces: $R_w = 74\text{dB}$)

Com ambas as soluções de reforço, observa-se um aumento muito significativo do índice de isolamento sonoro, face à parede simples rebocada. Com efeito, para a aplicação de reforço numa das faces regista-se um índice de 63dB, enquanto com o reforço nas duas faces da parede se obteve um índice de 74dB, resultando num incremento de redução sonora muito relevante de 31dB, face à parede de alvenaria simples.

Na Figura 13, apresenta-se a comparação entre parede de alvenaria simples em tijolo térmico e acústico com 24cm de largura, em que se consideram juntas horizontais contínuas entre tijolos e reboco tradicional em ambas as faces (E24), com a mesma parede sujeita a reforço de isolamento pelo exterior (ETICS, sistema "Barbotherm"), constituído por placas de aglomerado expandido de cortiça, com espessura de 60mm, coladas com pontos de massa "Barbotherm" sobre o reboco, e revestidas com massa "Barbotherm", com camada intermédia de rede de fibra de vidro, "Barbocril Plus" (regulador de fundo) e massa de revestimento final (E25). Apesar do decréscimo de isolamento registado nas bandas de frequência anteriores a 250Hz, conseqüente ao pronunciamento da quebra devida à ressonância do conjunto da parede na frequência de 160Hz, o índice de isolamento sonoro, com a introdução de reforço pelo exterior, aumentou de 48dB para 54dB.





4

De igual forma, mantendo o reforço de isolamento pelo exterior, analisou-se também a introdução de reforço pelo interior, constituído pela aplicação de uma camada de placas de gesso laminado, com 12.5mm de espessura, colada directamente com cola adesiva à face rebocada da parede (E26).

Contudo, este reforço adicional acentua destacadamente a quebra de isolamento na frequência de 160Hz, verificando-se que a curva de isolamento sonoro desta solução apresenta valores generalizadamente inferiores aos registados apenas com reforço exterior, sobretudo abaixo dos 500Hz, condicionando a diminuição do índice de isolamento sonoro para 51dB. Ilustram-se graficamente estes resultados também na Figura 13.

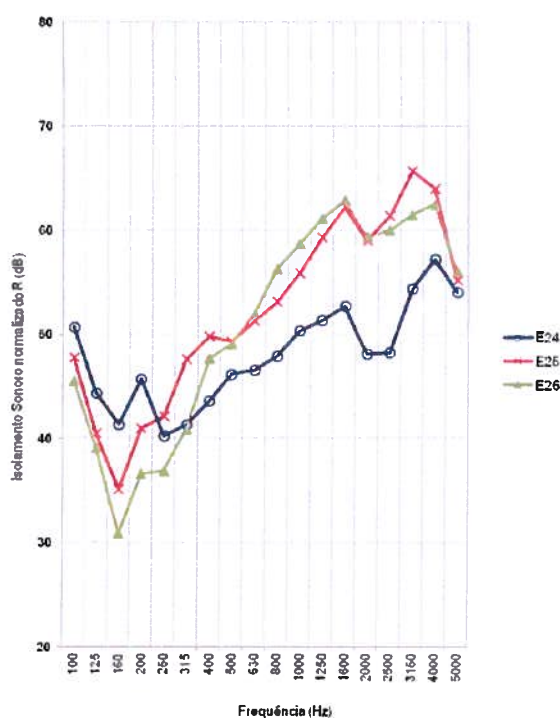


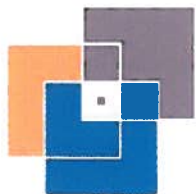
Figura 13. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Reforço ETICS (ext.) vs Reforço ETICS (ext.) + Placa gesso simples 12.5mm (int.): (E24: parede tijolo 24cm rebocada, juntas contínuas, base: $R_w = 48\text{dB}$; E25: Reforço ETICS (ext.): $R_w = 54\text{dB}$; E26: Reforço ETICS (ext.) + Placa gesso simples 12.5mm (int.): $R_w = 51\text{dB}$)



3.5 - Considerações relativas ao desempenho acústico de paredes de alvenaria com reforço / reabilitação acústica

Como é conhecido, as soluções de reforço acústico dependem bastante do tipo e constituição da parede de alvenaria de base. No âmbito do presente projecto, foram abordadas diferentes técnicas de reforço com materiais de isolamento sustentáveis, 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 representativas do processo de reabilitação, 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 adoptados permitiram a combinação de uma ou duas placas de gesso laminado com a aplicação de diferentes soluções, tais como: "Lambourdé" 40mm e 60mm (aglomerado expandido de cortiça com ripado de madeira embutido para facilitar a ligação às placas de gesso); aplicação de placas de aglomerado expandido de cortiça (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 ampla divulgação e aplicação na actualidade), com placas de aglomerado expandido de cortiça. Na grande maioria das situações testadas, a parede de alvenaria foi rebocada em ambas as faces com cerca de 15mm de argamassa tradicional, processo representativo da prática corrente no nosso país.

A gama de resultados obtidos, neste conjunto de ensaios, corresponde a valores do índice de redução sonora de 27dB (alvenaria de tijolo simples não rebocada) a 74dB (solução com reforço mais significativo), com valores dos termos de adaptação espectral a atingirem, no máximo, (-4; -10)dB. As soluções de reforço analisadas permitiram atingir valores máximos do incremento de redução sonora, $\Delta R_{w \text{ direct}}$, de até 31dB, abrangendo uma gama de soluções muito ampla e permitindo uma selecção optimizada de soluções adequada a diferentes requisitos funcionais e de desempenho.



4 - Determinação do valor de cálculo da resistência térmica e coeficiente de transmissão térmica de soluções constituídas por painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB), Ref.^a “Lambourdé”, fixos a paredes de alvenaria de tijolo da Preceram

No âmbito do presente projecto procedeu-se também a uma análise com o objectivo de determinar os valores de cálculo da resistência térmica e do coeficiente de transmissão térmica de paredes de alvenaria com vários tipos de tijolo cerâmico da Preceram, reforçadas termicamente por painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB), em “Lambourdé”. O cálculo destes parâmetros térmicos foi realizado de acordo com as normas EN 1745:2002 [10], ISO 6946:2007 [11] e ISO 10211:2007 [12], tendo em conta as propriedades dos produtos de alvenaria em estado seco.

4.1 - Características geométricas dos tijolos e definição das paredes de alvenaria

Na Tabela 2, apresentam-se as dimensões dos elementos de alvenaria considerados.

Tabela 2. Dimensões lineares exteriores dos tijolos

	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
Tijolo 11	290	106	189
Tijolo 15	290	146	189
Tijolo 22	290	220	189
Tijolo Térmico 24	294	233	189

Apresentam-se, na Figura 14, os esquemas das soluções de paredes analisadas e um exemplo de pormenor utilizado no cálculo térmico.

Assumiu-se que a camada de argamassa, que constitui o reboco, a aplicar nas duas superfícies da parede tem uma espessura de 15mm. Admitiu-se que, na construção das paredes de alvenaria, se utilizam juntas de assentamento horizontais com 15mm de altura, contínuas para o caso dos tijolos tradicionais e descontínuas para o caso do tijolo térmico. Teve-se igualmente em consideração juntas verticais de ligação dos tijolos tradicionais, com 15mm de espessura e junta seca nas ligações entre os tijolos térmicos. Foi considerado para a parede dupla uma caixa-de-ar de 40mm de espessura.

Foram consideradas as espessuras de 40mm e de 60mm para a placa de ICB, e para o revestimento considerou-se a espessura de 13mm, com diferentes materiais: gesso cartonado, MDF e aglomerado de partículas de madeira. As travessas de fixação do revestimento ao elemento de ICB foram consideradas como constituídas por aglomerado de partículas de madeira.



h

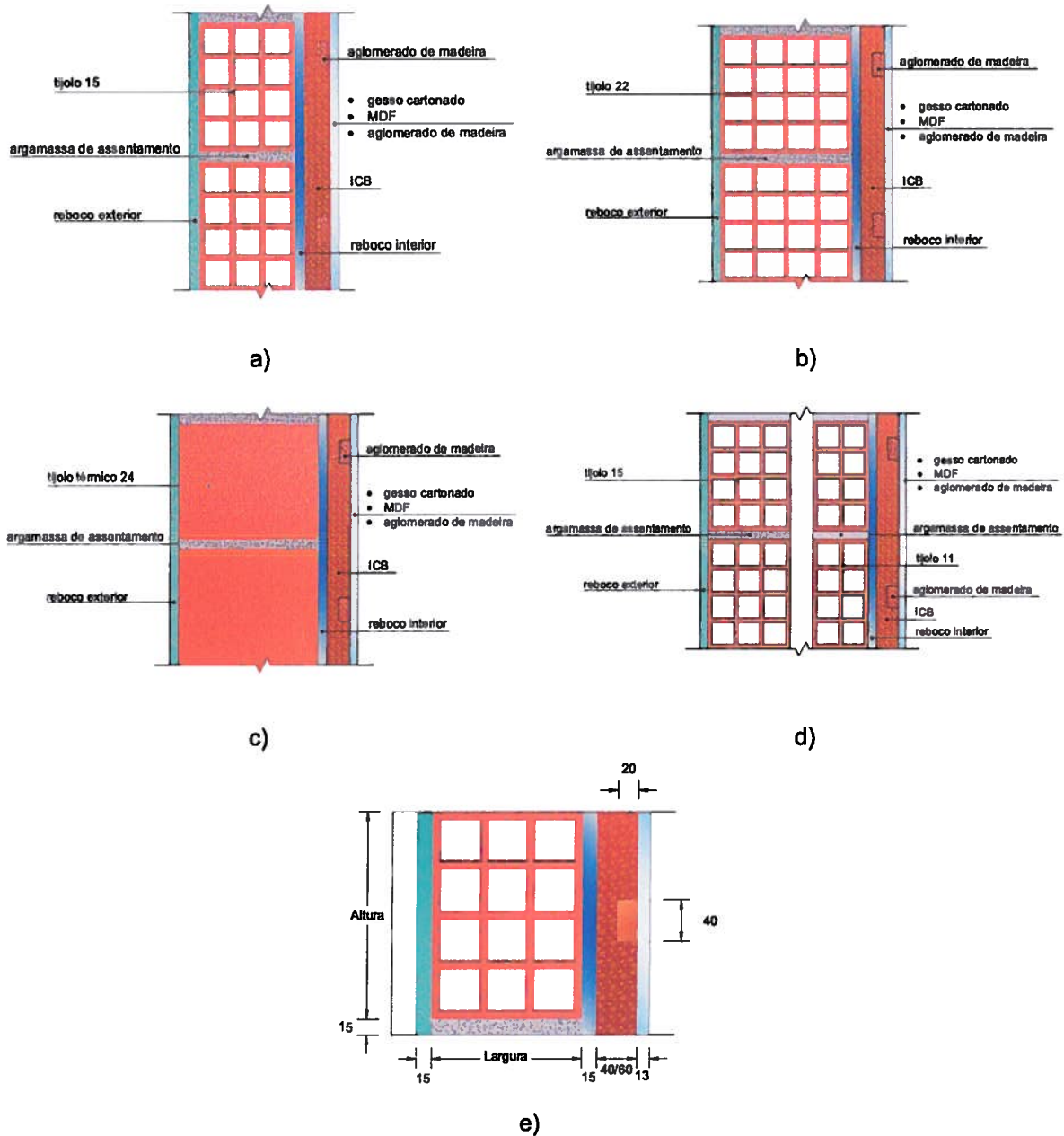


Figura 14. Representações esquemáticas de soluções de parede (Perfil) a) Parede analisada com tijolo 15; b) Parede analisada com tijolo 22; c) Parede analisada com tijolo térmico 24; d) Parede dupla analisada com tijolo 30x20x15 + 30x20x11; e) Pormenor de um elemento de parede utilizado no cálculo térmico (dim. em mm)



4.1.1 Descrição das soluções analisadas

Foram consideradas as seguintes soluções de paredes:

Solução 1 - parede de alvenaria em tijolo **Preceram 30×20×15** rebocada em ambas as faces com 15mm de argamassa tradicional; isolamento térmico constituído por painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB) Ref.^a **“Lambourdé” 40mm** da Amorim Isolamentos, fixos à parede através de aparafusamento; placas de gesso cartonado Gyptec ou placa de MDF ou placa de aglomerado de partículas de madeira, fixas às régua de madeira, através de aparafusamento.

Solução 2 - parede de alvenaria em tijolo **Preceram 30×20×15** rebocada em ambas as faces com 15mm de argamassa tradicional; isolamento térmico constituído por painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB) Ref.^a **“Lambourdé” 60mm** da Amorim Isolamentos, fixos à parede através de aparafusamento; placas de gesso cartonado Gyptec ou placa de MDF ou placa de aglomerado de partículas de madeira, fixas às régua de madeira, através de aparafusamento.

Solução 3 - parede de alvenaria em tijolo **Preceram 30×20×22** rebocada em ambas as faces com 15mm de argamassa tradicional; isolamento térmico constituído por painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB) Ref.^a **“Lambourdé” 40mm** da Amorim Isolamentos, fixos à parede através de aparafusamento; placas de gesso cartonado Gyptec ou placa de MDF ou placa de aglomerado de partículas de madeira, fixas às régua de madeira, através de aparafusamento.

Solução 4 - parede de alvenaria em tijolo **Preceram 30×20×22** rebocada em ambas as faces com 15mm de argamassa tradicional; isolamento térmico constituído por painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB) Ref.^a **“Lambourdé” 60mm** da Amorim Isolamentos, fixos à parede através de aparafusamento; placas de gesso cartonado Gyptec ou placa de MDF ou placa de aglomerado de partículas de madeira, fixas às régua de madeira, através de aparafusamento.

Solução 5 - parede de alvenaria em tijolo térmico **Preceram 30×19×24** rebocada em ambas as faces com 15mm de argamassa tradicional; isolamento térmico constituído por painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB) Ref.^a **“Lambourdé” 40mm** da Amorim Isolamentos, fixos à parede através de aparafusamento; placas de gesso cartonado Gyptec ou placa de MDF ou placa de aglomerado de partículas de madeira, fixas às régua de madeira, através de aparafusamento.

Solução 6 - parede de alvenaria em tijolo térmico **Preceram 30×19×24** rebocada em ambas as faces com 15mm de argamassa tradicional; isolamento térmico constituído por painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB) Ref.^a **“Lambourdé” 60mm** da Amorim Isolamentos, fixos à parede através de aparafusamento; placas de gesso cartonado Gyptec ou placa de MDF ou placa de aglomerado de partículas de madeira, fixas às régua de madeira, através de aparafusamento.

Solução 7 – parede dupla de alvenaria com tijolo **Preceram 30×20×15 + 30×20×11** rebocada em ambas as faces com 15mm de argamassa tradicional; caixa-de-ar de 40mm; isolamento térmico constituído por painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB) Ref.^a **“Lambourdé” 40mm** da Amorim





h

Isolamentos, fixos à parede através de aparafusamento; placas de gesso cartonado Gyptec ou placa de MDF ou placa de aglomerado de partículas de madeira, fixas às régua de madeira, através de aparafusamento.

Solução 8 – parede dupla de alvenaria com tijolo Preceram 30×20×15 + 30x20x11 rebocada em ambas as faces com 15mm de argamassa tradicional; caixa-de-ar de 40mm; isolamento térmico constituído por painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB) Ref.ª “Lambourdé” 60mm da Amorim Isolamentos, fixos à parede através de aparafusamento; placas de gesso cartonado Gyptec ou placa de MDF ou placa de aglomerado de partículas de madeira, fixas às régua de madeira, através de aparafusamento.

Apresenta-se, na Figura 15, um pormenor de parede com aplicação de painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB), em “Lambourdé”.



Figura 15. Pormenor de parede com aplicação de ICB em “Lambourdé”

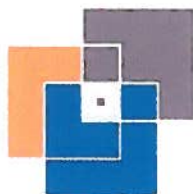
4.2 - Propriedades térmicas dos elementos constituintes das paredes de alvenaria

Apresentam-se, nas subsecções seguintes, os coeficientes de condutibilidade térmica dos materiais considerados na construção das paredes e as resistências térmicas superficiais e dos espaços de ar não ventilados.

4.2.1 Coeficientes de condutibilidade térmica dos materiais

Os valores de cálculo do coeficiente de condutibilidade térmica dos materiais considerados foram obtidos por ensaios realizados pelo método do Guarded Hot Plate (ISO 8302 [13]) de acordo com a norma EN 12664:2001 [14], ou por consulta da Informação Técnica de Edifícios n.º 50 (ITE50 [15]) publicada pelo Laboratório nacional de Engenharia Civil. O valor da condutibilidade térmica do material cerâmico utilizado nos tijolos foi fornecido pela Preceram. Apresentam-se, na Tabela 3, as condutibilidades





térmicas do ICB, gesso cartonado e placa de aglomerado de madeira, obtidas por ensaio no ITeCons. Na Tabela 4 apresentam-se as propriedades dos restantes materiais: argamassa, material cerâmico e MDF.

Tabela 3. Valores de condutibilidade térmica de materiais ensaiados no ITeCons

	λ W/(m.°C)
ICB (91,2Kg/m ³) (ITeCons – HIG193/11)	0.038
Gesso Cartonado (ITeCons – HIG196/11)	0.235
Placa de aglomerado de madeira (ITeCons – HIG191/11)	0.110

Tabela 4. Valores de condutibilidade térmica de materiais

	λ W/(m.°C)
Argamassa tradicional (1800 < ρ < 2000Kg/m ³) (ITE50)	1.30
Material cerâmico dos tijolos tradicionais de 11, 15 e 22 (Preceram)	0.550
Material cerâmico tijolo térmico 24 (Preceram)	0.454
MDF 800Kg/m ³ (ITE50)	0.180

4.2.2 Resistências térmicas superficiais e dos espaços de ar não ventilados

Utilizaram-se os valores de cálculo das resistências térmicas superficiais indicados na secção 5.2 da norma ISO 6946:2007 [11]. As resistências térmicas superficiais interior (R_{si}) e exterior (R_{se}) para um fluxo horizontal são respectivamente 0.13 m².°C/W e 0.04 m².°C/W.

O cálculo da resistência térmica das caixas-de-ar dos tijolos foi realizado de acordo com o Anexo B da norma ISO 6946:2007 [11], variando este valor entre 0.215 e 0.253 m².°C/W.

A resistência térmica da caixa-de-ar da parede dupla foi obtida por consulta do Quadro VII.2 do RCCTE [16], considerando-se o valor de 0.18 m².°C/W.

4.3 - Valores de cálculo das resistências térmicas e dos coeficientes de transmissão térmica entre ambientes

Os valores de cálculo das resistências térmicas e coeficientes de transmissão térmica globais (entre os ambientes interior e exterior), indicados nas Tabelas 5 a 12, foram determinados de acordo com a norma ISO 6946:2007 [11] e ISO 10211:2007 [12], realizando o cálculo com recurso a um software baseado no Método de Elementos Finitos.



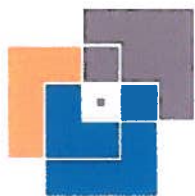


Tabela 5. Valores de cálculo da resistência e do coeficiente de transmissão térmica da Solução 1

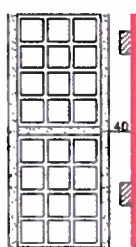
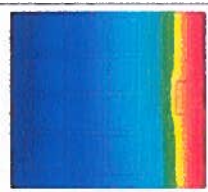
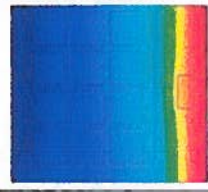
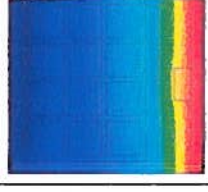
Solução (revestimento)	R_T ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	U ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)	Simulação (vista em perfil)	
	Gesso	1.49	0.67	
	MDF	1.62	0.66	
	Madeira	1.66	0.64	

Tabela 6. Valores de cálculo da resistência e do coeficiente de transmissão térmica da Solução 2

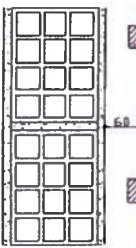
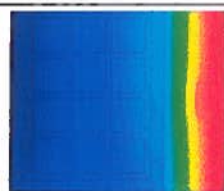


Solução (revestimento)	R_T ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	U ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)	Simulação (vista em perfil)	
	Gesso	1.96	0.51	
	MDF	1.96	0.51	
	Madeira	2.00	0.50	





Tabela 7. Valores de cálculo da resistência e do coeficiente de transmissão térmica da Solução 3

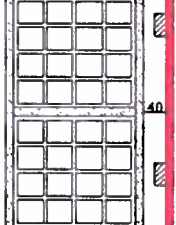
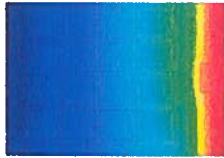


Solução (revestimento)	R_t ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	U ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)	Simulação (vista em perfil)	
	Gesso	1.67	0.60	
	MDF	1.67	0.60	
	Madeira	1.72	0.58	

Tabela 8. Valores de cálculo da resistência e do coeficiente de transmissão térmica da Solução 4

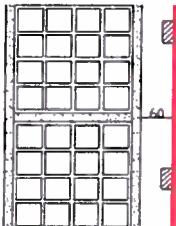


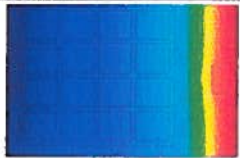
Solução (revestimento)	R_t ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	U ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)	Simulação (vista em perfil)	
	Gesso	2.13	0.47	
	MDF	2.13	0.47	
	Madeira	2.17	0.46	





Tabela 9. Valores de cálculo da resistência e do coeficiente de transmissão térmica da Solução 5


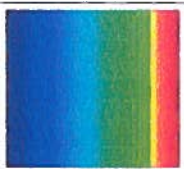
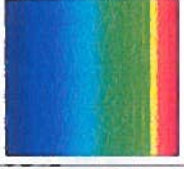

Solução (revestimento)	R_T ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	U ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)	Simulação (vista em planta)	
	Gesso	1.85	0.54	
	MDF	1.85	0.54	
	Madeira	1.89	0.53	

Tabela 10. Valores de cálculo da resistência e do coeficiente de transmissão térmica da Solução 6


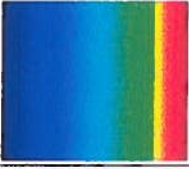


Solução (revestimento)	R_T ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	U ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)	Simulação (vista em planta)	
	Gesso	2.22	0.45	
	MDF	2.27	0.44	
	Madeira	2.27	0.44	



Tabela 11. Valores de cálculo da resistência e do coeficiente de transmissão térmica da Solução 7

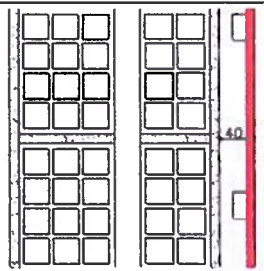
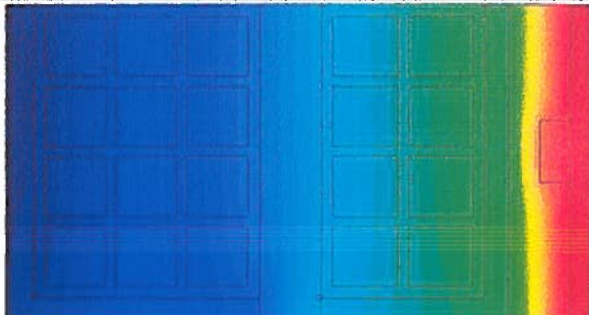
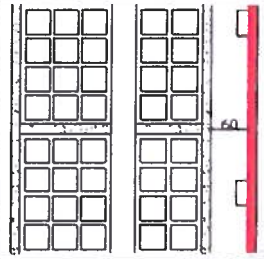
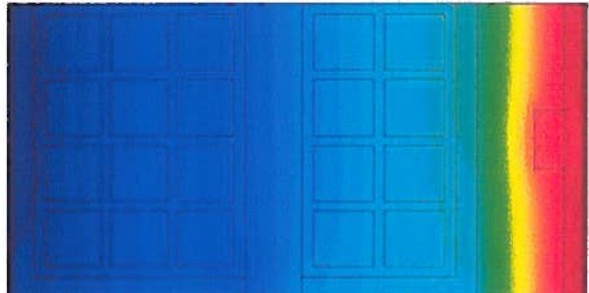
Solução (revestimento)	R_T ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	U ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)	
	Gesso	2.13	0.47
	MDF	2.13	0.47
	Madeira	2.17	0.46
Simulação (vista em perfil)			
			

Tabela 12. Valores de cálculo da resistência e do coeficiente de transmissão térmica da Solução 8

Solução (revestimento)	R_T ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	U ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)	
	Gesso	2.70	0.37
	MDF	2.78	0.36
	Madeira	2.78	0.36
Simulação (vista em perfil)			
			



0

4.4 - Considerações relativas aos valores de cálculo da resistência térmica e coeficientes de transmissão térmica de paredes de alvenaria com soluções de reforço

O presente capítulo apresenta os valores de cálculo da resistência térmica e do coeficiente de transmissão térmica de paredes de alvenaria simples, com três tipos de unidades de alvenaria diferentes, rebocadas nas duas faces, com revestimento de "Lambourdé" (ICB com travessas de aglomerado de madeira) e placas de gesso cartonado, MDF ou de aglomerado de madeira a revestir; e de paredes de alvenaria dupla (caixa-de-ar de 40mm) rebocadas nas duas faces, com revestimento de "Lambourdé" (ICB com régua de aglomerado de madeira) e placas de gesso cartonado, MDF ou de aglomerado de madeira a revestir. Para cada uma das soluções admitiu-se que o isolamento térmico (ICB) pudesse ter 40mm ou 60mm de espessura.





5 - Avaliação da resistência ao arrancamento da solução construtiva constituída por painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB), Ref.^a "Lambourdé" 60mm, fixos a paredes de alvenaria de tijolo da Preceram

O presente capítulo tem como objectivo a quantificação da resistência ao arrancamento de soluções construtivas constituídas por painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB), Ref.^a "Lambourdé" 60mm, fixos a paredes de alvenaria de tijolo da Preceram, com e sem revestimento em gesso laminado, recorrendo a ensaios de *pull-off*.

5.1 - Descrição do ensaio de *pull-off*

O objectivo destes ensaios passou pela determinação da resistência ao arrancamento do isolamento térmico (ICB) das seguintes duas soluções:

- Solução composta por parede de alvenaria de tijolo Preceram rebocada em ambas as faces; isolamento térmico constituído por painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB) 95kg/m³, Ref.^a "Lambourdé" 60mm da Amorim Isolamentos, fixos à parede através de aparafusamento;
- Solução composta por parede de alvenaria de tijolo Preceram rebocada em ambas as faces; isolamento térmico constituído por painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB) 95kg/m³, Ref.^a "Lambourdé" 60mm da Amorim Isolamentos, fixos à parede através de aparafusamento; placas de gesso laminado Gyptec, fixas às régulas de madeira do "Lambourdé" 60mm, por aparafusamento.

Realizaram-se seis ensaios, repartidos igualmente por duas áreas distintas, sendo a Área 1 relativa à primeira solução construtiva e a Área 2 relativa à segunda solução construtiva, tal como se pode observar na Figura 16.

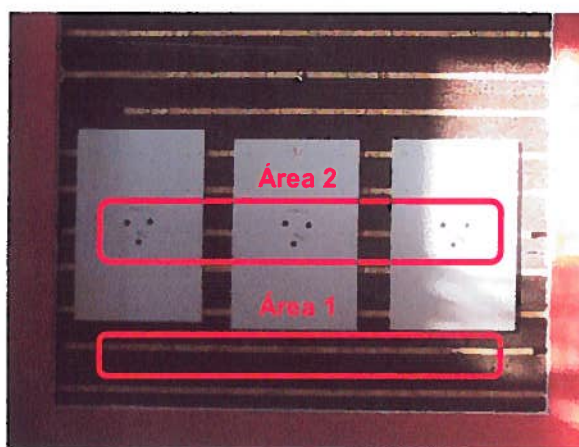


Figura 16. Identificação das áreas de ensaio



4

Para garantir que a força de arrancamento era aplicada sob as régua de madeiras (aglomerado de madeira) do “Lambourde”, foram colocadas chapas metálicas entre as régua de madeira e o isolamento térmico, sendo a tracção aplicada directamente nas régua de madeira através de um parafuso (Figura 17), utilizando um equipamento de ensaio Controls 58-C0215/T, com uma capacidade de 16kN, uma resolução de leitura de 0.001kN e uma exactidão de $\pm 1\%$ a partir de 0.25kN (Figura 18), o qual permitiu medir a força aplicada em cada instante e registar a força máxima aplicada, correspondente à rotura. O esquema de fixação do isolamento à parede e das zonas de ensaio encontra-se ilustrado na Figura 19.



Figura 17. Acessório para a aplicação da força de arrancamento



Figura 18. Equipamento de ensaio de *pull-off* montado na área 1 do provete



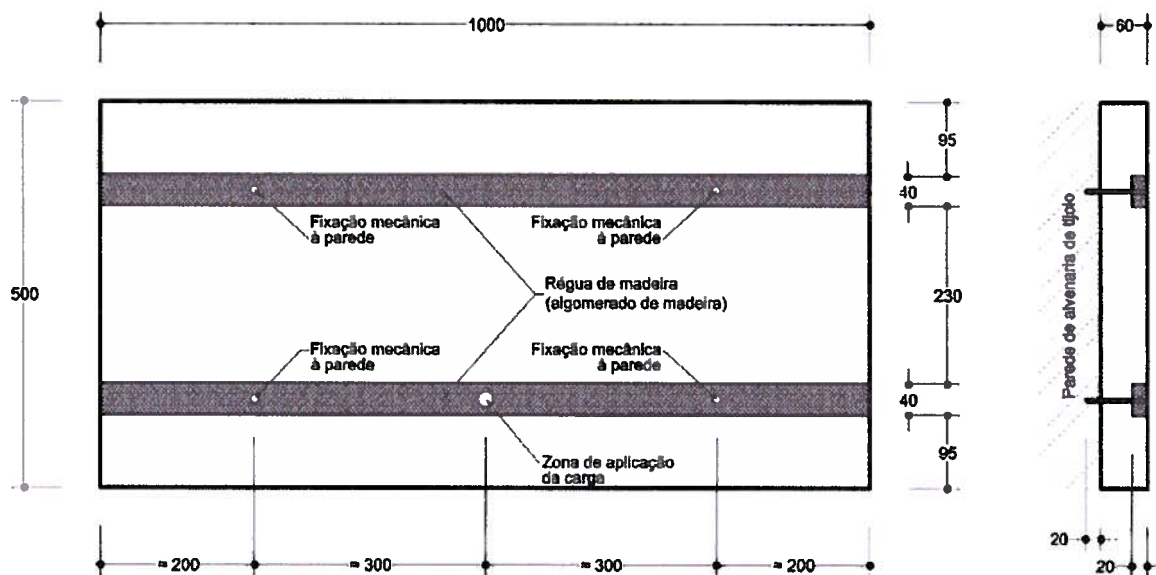


Figura 19. Esquema de fixação do isolamento à parede e das zonas de ensaio (dimensões em mm)

5.2 - Resultados do ensaio de *pull-off*

Os resultados obtidos nos seis ensaios de *pull-off* encontram-se expressos na Tabela 13:

Tabela 13: Resultados dos ensaios de *pull-off*

Área	Zona	Força máxima aplicada (N)	Média (N)
1	1	633	430
	2	348	
	3	308	
2	1	911	830
	2	837	
	3	741	



A partir da observação dos resultados, verifica-se que a aplicação do revestimento em gesso cartonado permite que o sistema garanta uma maior resistência ao arrancamento, o que nos permite concluir que ocorre uma distribuição de esforços em mais de que uma régua de madeira.

Após a realização dos ensaios, analisaram-se as zonas de ensaio, para verificar o modo de rotura em cada ensaio, tendo-se verificado a rotura das régua de madeira na zona de aplicação da carga, sem que tivesse ocorrido o arrancamento da régua na sua totalidade, garantindo-se o não destacamento das placas de isolamento em relação ao suporte, tal como se pode verificar na Figura 20.



Figura 20. Rotura pelas régua de madeira

5.3 - Considerações relativas à resistência ao arrancamento de soluções de reforço de isolamento em paredes de alvenaria de tijolo

Este capítulo teve como objectivo a quantificação da resistência ao arrancamento do isolamento térmico fixo em paredes de alvenaria de tijolo cerâmico rebocadas, procedendo-se à descrição dos ensaios efectuados e à apresentação dos resultados obtidos.

O conjunto de ensaios desenvolvido permitiu verificar que a Área 1 apresentava uma resistência ao arrancamento média de 430N e a Área 2 apresentava uma resistência ao arrancamento média de 830N, sendo que as roturas ocorreram pelas régua de madeira.



6 - Considerações finais


No âmbito do projecto Vale I&DT, com a ref.^a 18802, referente ao “Desenvolvimento de soluções construtivas de compartimentação em tijolo incorporando materiais de isolamento sustentáveis”, procedeu-se à caracterização laboratorial de um vasto conjunto de sistemas.

A análise efectuada incidu sobre a caracterização de soluções construtivas do ponto de vista acústico, através da realização de ensaios de determinação do isolamento sonoro para sons de condução aérea de soluções verticais do tipo paredes; térmico, mediante a determinação do valor de cálculo da resistência térmica e coeficiente de transmissão térmica de soluções constituídas por painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB), Ref.^a “Lambourdé”, fixos a paredes de alvenaria de tijolo da Preceram; e mecânico, com a avaliação da resistência ao arrancamento da solução construtiva constituída por painéis de aglomerado expandido de cortiça (ICB), Ref.^a “Lambourdé” 60mm, fixos a paredes de alvenaria de tijolo da Preceram.


O estudo realizado permite apoiar a introdução de aglomerado expandido de cortiça (ICB) em soluções de reforço / reabilitação acústica e térmica, com base em suportes em alvenaria de tijolo cerâmico, bem como otimizar a sua selecção face a requisitos de desempenho caracterizados.

Coimbra, 15 de Novembro de 2012

Autoria técnica do relatório:


Paulo Amado Mendes
Supervisor Técnico-Científico


Nuno Simões
Supervisor Técnico-Científico


José Nascimento
Técnico Superior


António Tadeu
Presidente da Direcção do ITECons
Tecnológico em Ciências da Construção



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EN ISO 10140-5:2010. *Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 5: Requirements for test facilities and equipment.*
- [2] 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).
- [3] 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).
- [4] EN ISO 10140-1:2010. *Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 1: Application rules for specific products.*
- [5] EN ISO 10140-2:2010. *Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 2: Measurement of airborne sound insulation.*
- [6] EN ISO 10140-4:2010. *Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 4: Measurement procedures and requirements.*
- [7] 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.*
- [8] *Documento Básico HR. Protección frente al ruido - Código Técnico de la Edificación (CTE)*, 2009.
- [9] Directiva 89/106/CEE do Conselho, de 21 de Dezembro de 1988, relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas dos Estados-Membros no que respeita aos produtos de construção, in *Jornal Oficial* nº L 040 de 11/02/1989 p. 0012 – 0026
- [10] EN 1745:2002. *Masonry and masonry products. Methods for determining thermal properties.*
- [11] ISO 6946:2007. *Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation method.*
- [12] ISO 10211:2007. *Thermal bridges in building construction. Heat flows and surface temperatures. Detailed calculations.*
- [13] ISO 8302:1991. *Determination of steady-state thermal resistance and related properties. Guarded hot plate apparatus.*
- [14] EN 12664:2001. *Thermal performance of building materials and products. Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Dry and moist products of medium and low thermal resistance.*
- [15] Informação Técnica de Edifícios n.º 50 (ITE 50). “*Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*”, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- [16] Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Decreto-Lei nº80/2006, in *Diário da República*, Série I Parte A, nº67, 4 de Abril de 2006.





ITeCons

Instituto de Investigação e Desenvolvimento
Tecnológico em Ciências da Construção



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

5

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/ctuc/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: {anaissab, 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.

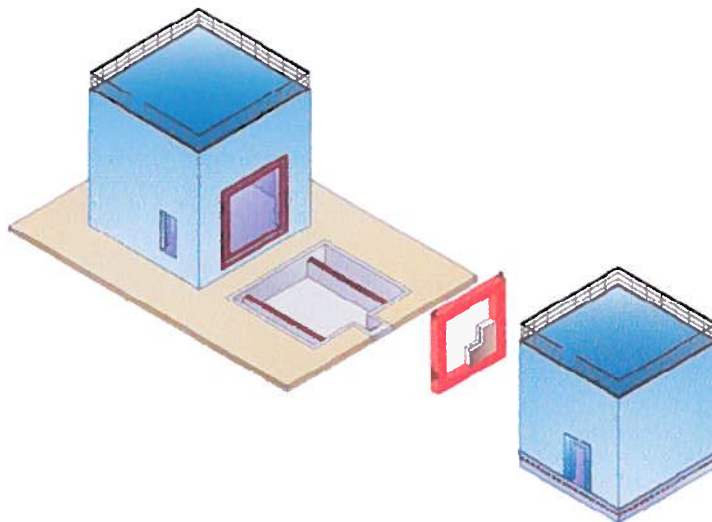


Figura 1. Representação esquemática das câmaras acústicas horizontais do ITeCons.

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.

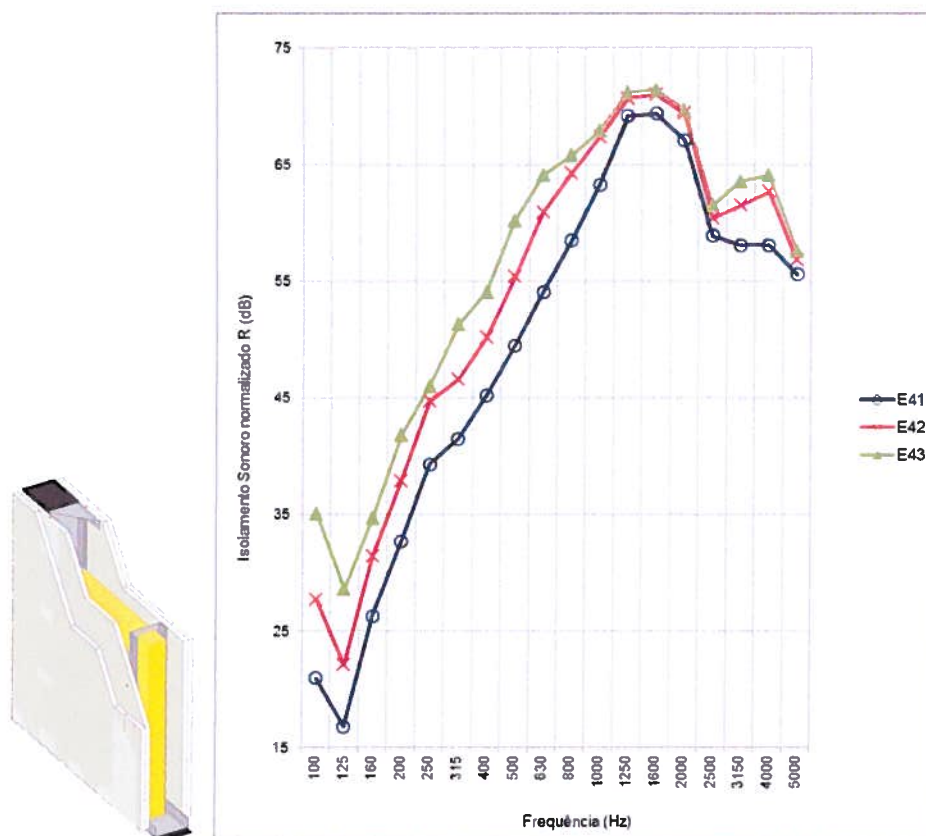


Figura 2. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Placa A simples vs Placa A dupla vs Placa A tripla (E41: Placa A simples: $R_w = 46\text{dB}$, $R_A = 41.8\text{dBA}$; E42: Placa A dupla: $R_w = 51\text{dB}$, $R_A = 47.2\text{dBA}$; E43: Placa A tripla: $R_w = 56\text{dB}$, $R_A = 52.5\text{dBA}$).

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.

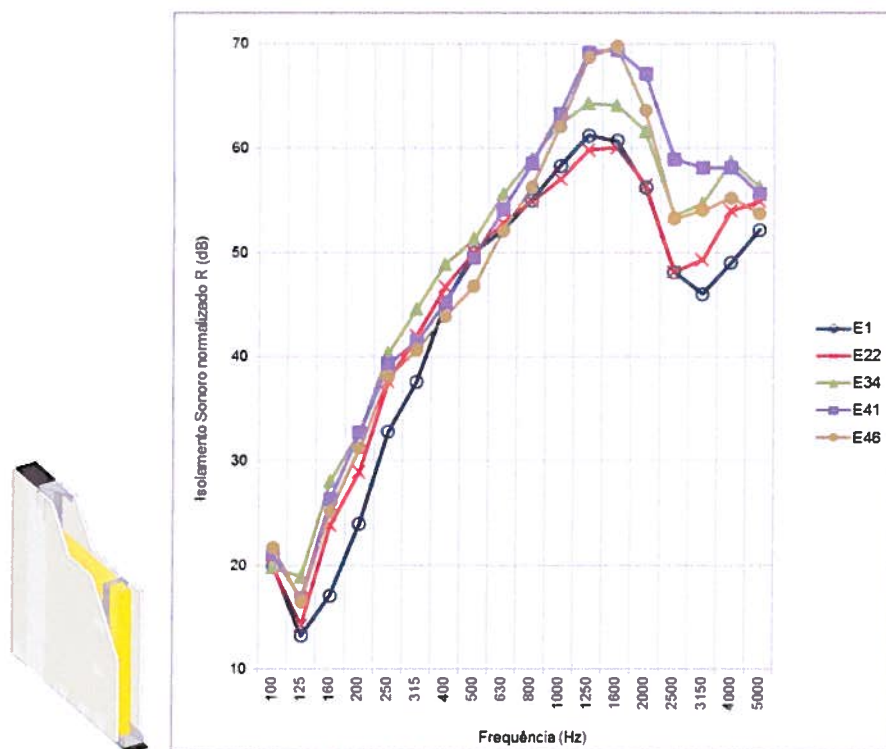


Figura 3. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Perfil 48mm vs 70mm vs 90mm vs 100mm vs 125mm (E1: Prf 48mm: $R_w = 40$ dB, $R_A = 36.7$ dBA; E22: Prf 70mm: $R_w = 44$ dB, $R_A = 39.4$ dBA; E34: Prf 125mm: $R_w = 47$ dB, $R_A = 43.2$ dBA; E41: Prf 100mm: $R_w = 46$ dB, $R_A = 41.8$ dBA; E46: Prf 90mm: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

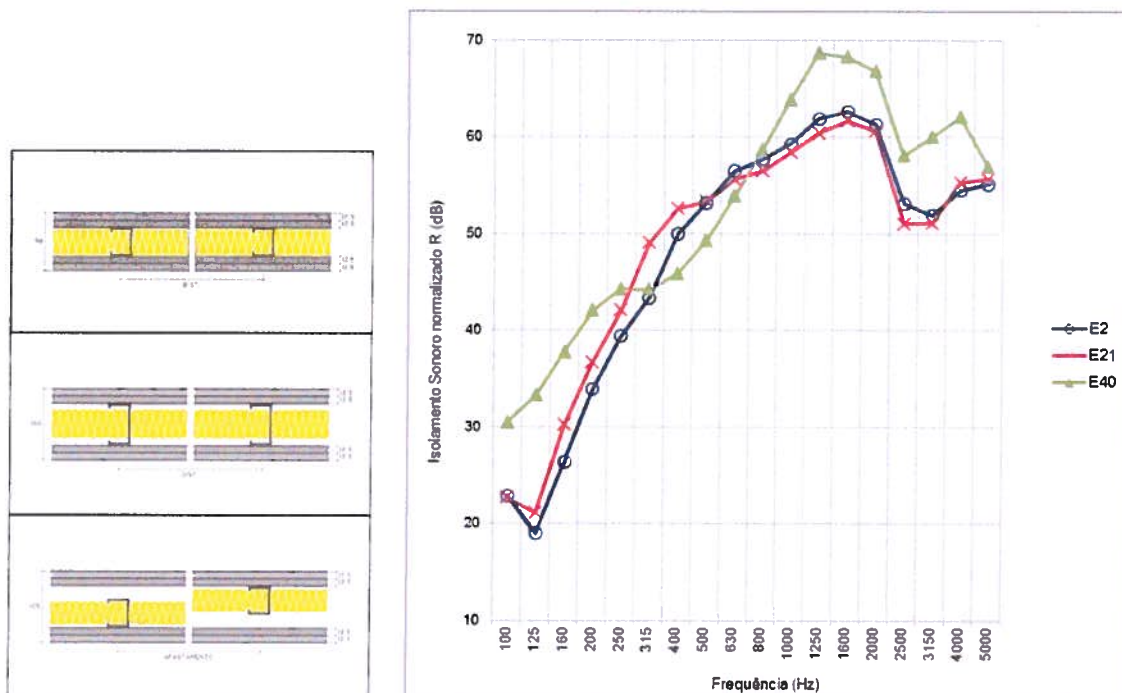


Figura 4. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Perfil 48mm vs Perfil 70mm vs Perfil 48mm desfasado em canal 70mm (E2: perfil 48mm: $R_w = 47$ dB, $R_A = 43.4$ dBA; E21: perfil 70mm: $R_w = 49$ dB, $R_A = 45.3$ dBA; E40: perfil 48mm desfasado: $R_w = 53$ dB, $R_A = 52.3$ dBA).

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.

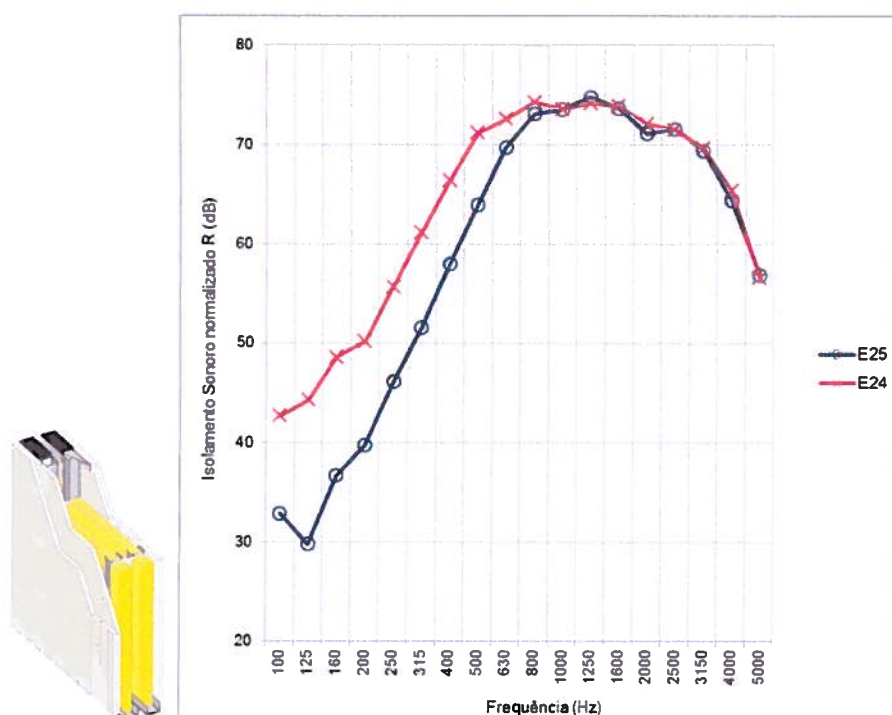


Figura 5. Curvas de isolamento sonoro normalizado: Duplo perfil 70mm com placa simples vs Duplo perfil 70mm com placa dupla (E25: 2x prf 70mm 1x13A: $R_w = 56\text{dB}$, $R_A = 53.3\text{dBA}$; E24: 2x prf 70mm 2x13A: $R_w = 67\text{dB}$, $R_A = 62.6\text{dBA}$).

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.

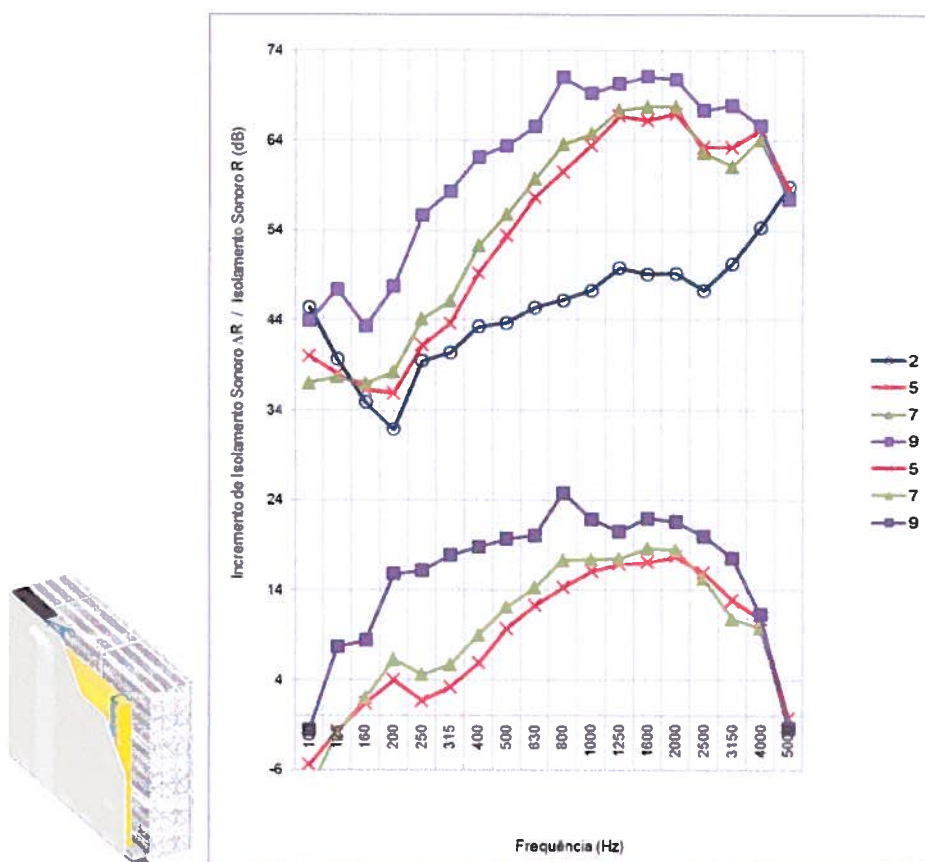


Figura 6. Curvas de isolamento sonoro normalizado: “Lambourdé” 60mm vs ICB 40mm vs LM 40mm (2: parede tijolo 22cm rebocada, base: $R_w = 47\text{dB}$; 5: “Lambourdé” 60mm: $R_w = 54\text{dB}$ [$\Delta R_{w \text{ direct}} = 7\text{dB}$]; 7: ICB 40mm omega: $R_w = 56\text{dB}$ [$\Delta R_{w \text{ direct}}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