

CÂMARAS MÓVEIS *ITeCons* PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS ACÚSTICOS: PARTE II – PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS CÂMARAS HORIZONTAIS

Igor Castro¹, António Tadeu¹, Julieta António¹, Anabela Moreira², Paulo Amado Mendes¹, Luís Godinho¹

¹ CICC, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra
igorasc@itecons.uc.pt; {tadeu, julieta, pamendes, lgodinho}@dec.uc.pt

²DEC - Instituto Politécnico de Tomar
anamoreira@ipt.pt

Resumo

Neste artigo, descrevem-se os trabalhos de preparação e caracterização realizados nas câmaras horizontais do *ITeCons*, destinadas à realização de ensaios de isolamento sonoro a sons aéreos de elementos verticais e de ensaios de absorção sonora de materiais e elementos de construção.

Criaram-se condições de difusibilidade necessárias para a realização de ensaios de medição da absorção sonora de materiais e de elementos construtivos e de isolamento a sons aéreos de elementos de compartimentação verticais. Foram ainda definidos elementos que permitiram reduzir os tempos de reverberação para a realização destes ensaios de isolamento.

Construíram-se e ensaiaram-se soluções representativas de elementos verticais – parede leve, parede de alvenaria leve e pesada – de forma a determinar os valores máximos do índice de redução sonora a sons aéreos das câmaras deste laboratório. Determinou-se, também, o factor de perdas associado a um provete pesado.

Palavras-chave: câmaras horizontais *ITeCons*, controlo da difusibilidade, correcção dos tempos de reverberação, índice máximo de redução sonora e factor de perdas total,

Abstract

In the present work, the authors describe the preparation and characterization tasks carried out in the *ITeCons* horizontal acoustic chambers, where airborne sound insulation tests and sound absorption tests will be held.

Specific difusibility conditions were achieved, which are needed for sound absorption and airborne sound insulation tests in vertical building elements. Some elements were determined to reduce reverberation times in the acoustic chambers, in accordance to relevant standards for sound insulation tests.

Three different representative solutions of vertical building elements were built and tested, in order to assess the maximum values of the airborne sound insulation index characteristic of this test facility. The loss factor of a heavy weight wall was also evaluated.

Keywords: *ITeCons* horizontal acoustic chambers, sound field difusibility control, reverberation times correction, maximum airborne sound index, total loss factor.

1 Introdução

A existência de requisitos normativos relativos ao isolamento sonoro de elementos de compartimentação em edifícios e aos tempos de reverberação de determinados espaços, faz com que cada vez mais se recorra à caracterização prévia, em laboratório, de soluções construtivas em elementos de compartimentação e de materiais de revestimento. Aquelas instalações laboratoriais necessitam de apresentar características específicas.

No presente trabalho, caracterizam-se as duas câmaras reverberantes horizontais, recentemente construídas no Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção - *ITeCons*, preparadas para realizar ensaios de isolamento a sons aéreos de elementos verticais (paredes, envidraçados e janelas) e ensaios para a determinação do coeficiente de absorção de materiais absorventes e de elementos construtivos. Estas instalações laboratoriais integram um corte estrutural entre as câmaras emissora e receptora de forma a evitar transmissões marginais, sendo a primeira uma câmara móvel e a segunda uma câmara fixa (ver parte I deste artigo e Figura 1). A câmara horizontal fixa é aquela onde serão realizados ensaios de absorção sonora.

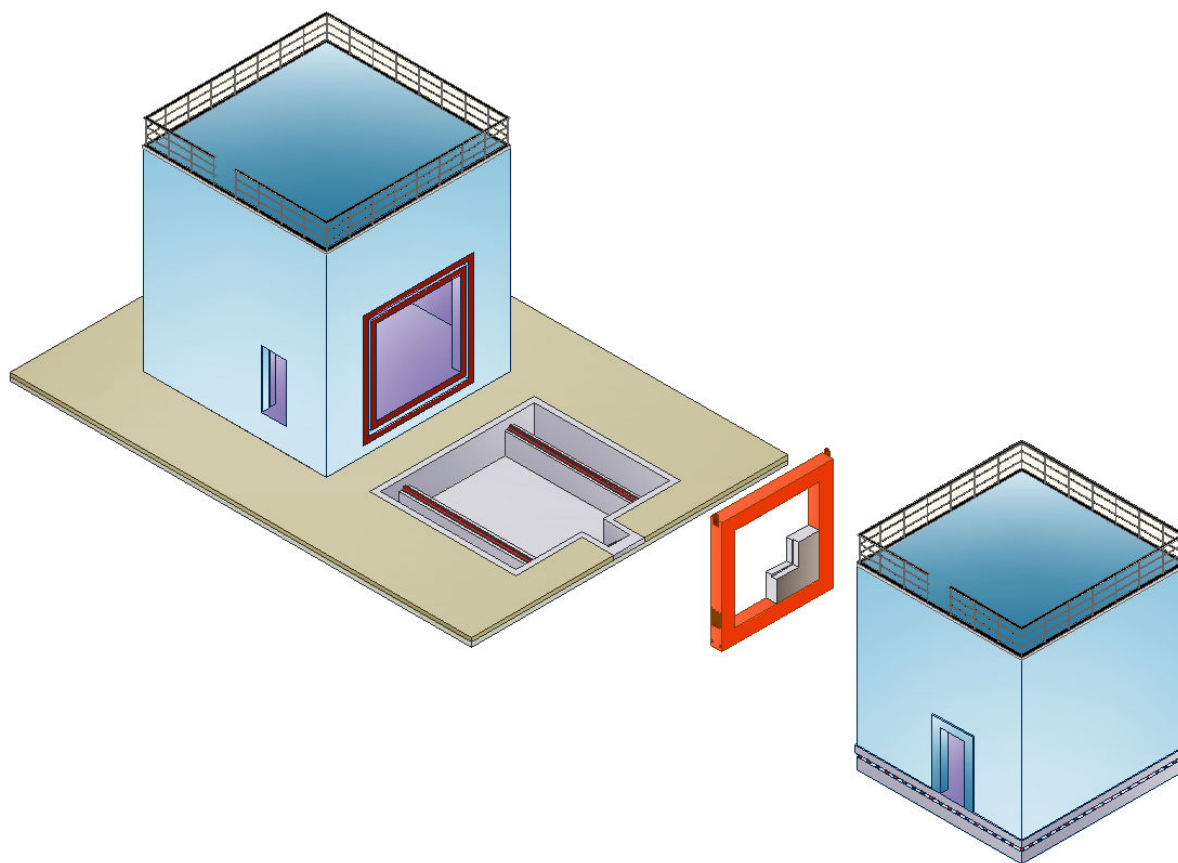


Figura 1 – Esquema geral do sistema de câmaras horizontais móveis.

A verificação dos requisitos necessários à realização de ensaios de isolamento sonoro a sons aéreos deve basear-se nas normas NP EN ISO 140-1 [1] e NP EN 20140-3 [2], enquanto que para a realização de ensaios de absorção sonora devem cumprir-se as exigências previstas na norma NP EN ISO 354 [3].

A norma NP EN ISO 140-1 [1] refere que o campo sonoro, nestas instalações laboratoriais, deve ser difuso, define os limites máximos e mínimos dos tempos de reverberação que se devem verificar nas baixas frequências e os valores mínimos do factor de perdas internas da estrutura envolvente do provete. Os níveis de ruído de fundo na câmara receptora devem ser suficientemente baixos, para permitir medir o som proveniente da câmara emissora sem influenciar os resultados do ensaio de isolamento. Para estimar o valor máximo do índice de redução sonora, construíram-se três provetes de referência, executados de acordo com a mesma norma.

Relativamente à preparação da câmara horizontal fixa, para a realização de ensaios de absorção sonora, a norma NP EN ISO 354 [3] define o volume e as dimensões máximas admissíveis da câmara de ensaio, exige a observação de um campo sonoro difuso e especifica a área máxima de absorção sonora equivalente, em função do volume da câmara acústica.

Neste artigo, apresentam-se os trabalhos de preparação e caracterização, realizados nas câmaras horizontais do *ITeCons*, necessários para as dotar de condições adequadas à realização de ensaios para a determinação da absorção sonora de materiais e elementos de construção e para a determinação do isolamento sonoro normalizado a sons aéreos de elementos de compartimentação verticais.

2 Preparação e caracterização das câmaras horizontais

As câmaras horizontais são adjacentes e comunicam entre si através de uma abertura de 10 m^2 , onde é inserido o provete de ensaio. A câmara fixa tem um volume de 203.98 m^3 , enquanto que a câmara móvel tem 181.54 m^3 .

A exigência de um campo sonoro difuso foi cumprida através da colocação de painéis difusores fixos, nos tectos de ambas as câmaras.

Para a realização de ensaios de isolamento a sons aéreos de elementos de compartimentação verticais, os tempos de reverberação, nas baixas frequências, não devem ser demasiado elevados nem demasiado baixos. Para dar cumprimento a esta exigência foi necessário dotar ambas as câmaras de painéis adicionais com alguma absorção. Estes painéis são amovíveis, no caso da câmara fixa, a receptora, para que possam ser retirados aquando da realização de ensaios para a determinação da absorção sonora.

2.1 Medição da absorção sonora

A avaliação do coeficiente de absorção sonora ou da área de absorção sonora equivalente de materiais, ou elementos de construção, requer a existência de um campo sonoro difuso na câmara reverberante e o controlo dos tempos de reverberação, para que não sejam demasiado baixos.

2.1.1 Controlo da difusibilidade na câmara reverberante horizontal fixa

Para se conseguir estabelecer um campo sonoro difuso satisfatório foram utilizados painéis em policarbonato transparente, com uma espessura de 5 mm (Figura 2) e dimensões variáveis, de $2.00 \times 1.50 \text{ m}^2$, $2.00 \times 1.00 \text{ m}^2$ e $1.50 \times 1.00 \text{ m}^2$. Estes elementos difusores fixos apresentam uma reduzida área de absorção sonora e uma massa superficial de cerca de 5.90 kg/m^2 . Na sua preparação, foram usados esticadores metálicos com diferentes comprimentos, de modo a conferir curvaturas côncavas e convexas ligeiras, com diferentes raios de curvatura. Posteriormente, foram fixados ao tecto através de esticadores, em posições aleatórias e com orientações igualmente variáveis.



Figura 2 – Difusores fixos, constituídos por painéis em polycarbonato, dispostos no tecto da câmara horizontal fixa.

Na verificação dos requisitos da difusibilidade do campo sonoro, adoptou-se, como provete de ensaio, um conjunto de painéis de lã de rocha com uma área total de cerca de 12 m² e 5 cm de espessura, com um coeficiente de absorção sonora superior a 0.90, na gama de frequências entre 500 Hz e 4000 Hz, conforme verificado. Este provete foi montado sobre o pavimento reverberante, segundo uma montagem do tipo "A", pela norma NP EN ISO 354 [3]. O procedimento para o controlo da difusibilidade do campo sonoro seguiu o método indicado no Anexo A desta norma. Assim, foram inicialmente efectuadas medições da absorção sonora (α_s) do provete de ensaio, sem difusores colocados na câmara de ensaio. Seguidamente, foram realizadas as mesmas medições, para um número crescente de difusores fixos, dispostos em incrementos de 5 em 5 m², tendo-se determinado o valor médio do coeficiente de absorção sonora, na gama de frequências de 500 Hz a 5000 Hz. Os resultados dos ensaios são apresentados, de forma sintética, no gráfico da Figura 3, sendo possível observar que o valor médio do coeficiente de absorção sonora atinge um valor máximo para um valor médio de α_s de 0.99, mantendo-se a partir daí constante.

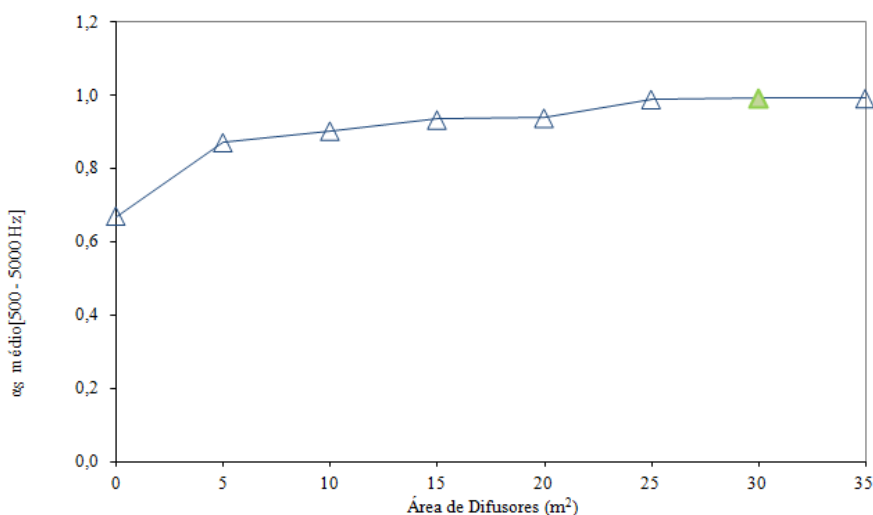


Figura 3 – Evolução do valor médio de α_s , para a gama de frequências entre 500 Hz e 5000 Hz, em função da área, numa face, dos painéis de polycarbonato utilizados para controlo da difusibilidade do campo sonoro.

Deste modo, conclui-se que, para a câmara reverberante analisada, o número óptimo de difusores fixos em policarbonato é de 15, correspondente a uma área de difusores de 30 m². Constata-se, assim, a necessidade de instalar uma área total (de ambas as faces) dos difusores, que totaliza cerca de 28 % da área total da superfície da câmara reverberante.

2.1.2 Área de absorção máxima

A área de absorção sonora equivalente, A_1 , da câmara emissora, sem provete de ensaio e com o número óptimo de difusores, foi também avaliada, verificando-se que não são ultrapassados os valores limite estipulados na norma NP EN ISO 354 [3] (Tabela 1). Pode observar-se que a área de absorção sonora equivalente, da câmara vazia, no domínio da frequência, apresenta alguma regularidade, sem picos nem depressões de amplitude superiores a 15% da média dos valores correspondentes às duas bandas de terços de oitava adjacentes.

Tabela 1 – Área de absorção sonora equivalente: valores limite, tempos médios de reverberação e área de absorção sonora obtidos na câmara vazia e após controlo da difusibilidade do campo sonoro, A_1 .

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
$A_{\text{máx absorção}}$	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59
T_{r1}	27.54	19.50	18.91	14.69	13.08	11.29	10.98	12.12	11.49
A_1	1.19	1.68	1.73	2.23	2.50	2.90	2.98	2.70	2.85
Freq. (Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
$A_{\text{máx absorção}}$	6.59	7.09	7.60	8.11	9.63	10.64	12.16	13.17	14.19
T_{r1}	10.52	9.82	8.90	7.86	6.77	5.35	4.30	3.45	2.86
A_1	3.11	3.33	3.68	4.17	4.83	6.12	7.61	9.48	11.43

2.2 Correção das câmaras para ensaios a sons aéreos

Para avaliar o isolamento sonoro a sons aéreos de elementos verticais é necessário avaliar se os tempos de reverberação, nas baixas frequências, em ambas as câmaras, não são demasiado elevados ou baixos. Quando se ensaiam provetes pesados é conveniente que se assegure que a dissipação de energia da estrutura envolvente resulta num factor de perdas maior ou igual a um valor mínimo. O índice de redução sonora máximo de elementos verticais que podem ser testados nas câmaras, sem serem afectados de forma significativa por transmissões marginais, depende do tipo de elemento a ser ensaiado. Deverá determinar-se o valor de R'_{max} de uma gama de soluções representativas que são normalmente ensaiadas.

2.2.1 Tempos de reverberação

No que se refere às exigências das câmaras horizontais destinadas a ensaios de isolamento a sons aéreos, a norma NP EN ISO 140-1 [1] exige que se estabeleça um campo sonoro difuso e que o tempo de reverberação nas câmaras, nas baixas frequências, se situe no intervalo de valores definido pela equação (1). Após a aplicação de difusores, no interior da câmara fixa, para a preparar para os ensaios de absorção sonora, e da câmara móvel para a preparar para os ensaios de isolamento a sons aéreos, verificou-se que os tempos de reverberação nas baixas frequências eram bastante elevados situando-se fora do intervalo definido pela equação (1) (ver Tabela 2).

$$1 \leq T_r \leq 2 \left(\frac{V}{50} \right)^{2/3} \quad (1)$$

sendo T_r o tempo de reverberação em s.

Para reduzir o tempo de reverberação nas baixas frequências foram instalados, nas duas câmaras, painéis com dimensões $1.50 \times 1.50 \text{ m}^2$, $1.25 \times 1.25 \text{ m}^2$, $1.00 \times 1.00 \text{ m}^2$ e $0.75 \times 0.75 \text{ m}^2$, com inclinações e posições variadas e caixas de ressonância forradas com telas, de dimensões $0.30 \times 0.40 \times 0.70 \text{ m}^3$, $0.30 \times 0.40 \times 0.60 \text{ m}^3$ e $0.30 \times 0.40 \times 0.50 \text{ m}^3$ (Figura 4). Em alguns dos painéis incorporou-se, no seu interior, painéis de lã de rocha, com 30 mm de espessura. Note-se que, para ensaios de absorção sonora, na câmara fixa, aqueles painéis e caixas são retirados para o exterior, permanecendo apenas os difusores de policarbonato dispostos no tecto, de forma a ter um espaço difuso e reverberante.



Figura 4 – Câmaras horizontais após a correcção dos tempos de reverberação: a) câmara emissora; b) câmara receptora.

Os tempos de reverberação foram medidos, em ambas as câmaras, após a colocação na abertura destas de um provete de betão armado com 0.30 m de espessura, em que a face orientada para a câmara reverberante apresenta acabamento vidrado, de modo a ter uma absorção sonora reduzida.

Tabela 2 - Tempos de reverberação nas câmaras fixa e móvel, antes e após correcção (com difusores e painéis), com a parede de betão 0.30 m de espessura.

Frequência (Hz)	T_r na câmara fixa receptora (s)		T_r na câmara móvel emissora (s)	
	Antes da correcção	Após a correcção	Antes da correcção	Após a correcção
100	21.44	4.98	16.83	4.17
125	21.76	4.17	14.39	4.12
160	19.48	2.93	14.09	3.19
200	14.98	2.23	11.35	2.58
250	13.48	2.02	8.91	1.99
315	11.58	1.91	8.58	1.85
400	11.68	1.67	8.77	2.01
500	12.76	1.53	8.39	1.92
630	12.04	1.45	8.07	1.72
800	10.84	1.48	7.70	1.77
1000	9.98	1.51	6.89	1.79
1250	9.05	1.62	6.14	1.68
1600	8.21	1.61	5.46	1.69
2000	7.13	1.62	4.73	1.65
2500	5.88	1.57	3.96	1.60
3150	4.90	1.54	3.34	1.51
4000	4.13	1.47	2.88	1.45
5000	3.46	1.35	2.38	1.38

Esta câmara, com um volume de 203.98 m³, deve exibir, nas baixas frequências, tempos de reverberação que se situem a gama 1.00 s ≤ T_r ≤ 5.11 s. Os tempos de reverberação, no interior da câmara móvel devem situar-se no intervalo 1.00 s ≤ T_r ≤ 4.72 s. Na Tabela 2, apresentam-se os tempos de reverberação medidos, nas câmaras fixa e móvel, antes e após a colocação dos painéis e caixas absorventes.

2.2.2 Medição do factor de perdas total

A razão entre a massa do provete e a massa da estrutura envolvente pode influenciar o índice de redução sonora de um provete. Este efeito é mais significativo no caso de provetes pesados em que o factor de perdas internas da estrutura envolvente afecta os resultados, por transmissões marginais.

A norma NP EN ISO 140-1 [1] exige que, para o ensaio de provetes pesados, se deve garantir que a dissipação de energia da estrutura envolvente resulte num factor de perdas maior ou igual ao valor determinado através da equação (2):

$$\eta_{\min} = 0,01 + 0,3\sqrt{f} \quad (2)$$

sendo f a frequência (Hz).

O factor de perdas total, η_{total} , inclui as fracções de energia dissipada devidas a perdas internas, perdas nas fronteiras e perdas por radiação. A norma NP EN 20140-3 [2] recomenda também que o factor de perdas seja avaliado, indicando, para o efeito, um procedimento descrito no Anexo E, onde o factor de perdas total, η_{total} , deve ser determinado a partir da seguinte expressão

$$\eta_{total} = \frac{2,2}{f \cdot T_r} \quad (3)$$

A verificação da exigência relativa a um factor de perdas mínimo (NP EN ISO 140-1 [1]) quando se ensaiam provetes mais pesados, foi efectuada numa parede de blocos de betão maciçados com cerca de 440 kg/m² (Figura 5), de acordo com os procedimentos indicados na mesma norma.

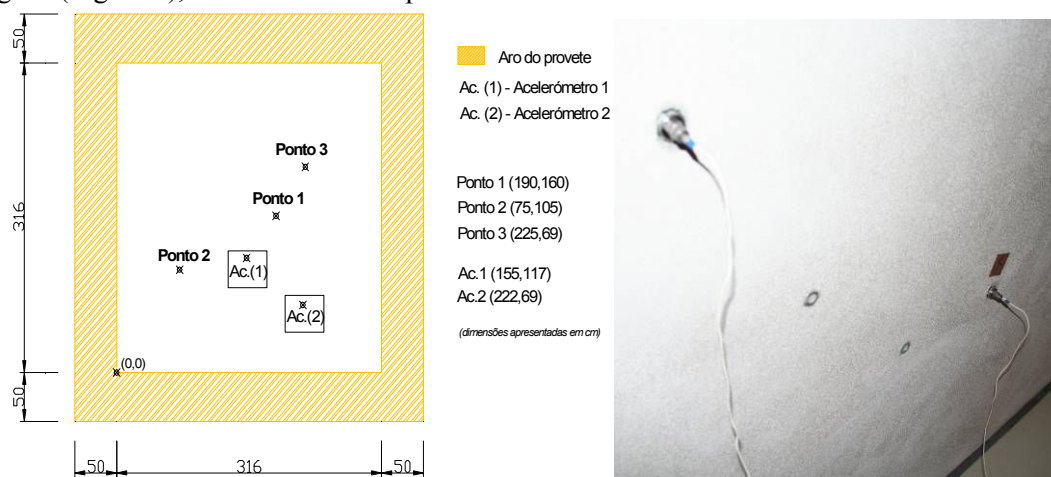


Figura 5 – Ensaio de medição do factor de perdas total: a) posições relativas, no aro do provete, dos acelerómetros e pontos de excitação de impacto; b) acelerómetros instalados na parede pesada.

No caso do cálculo do factor de perdas total, o tempo de reverberação é determinado medindo o decaimento da vibração da parede sujeita a uma excitação de impacto. A norma aconselha que sejam efectuadas medições com três pontos de excitação e dois pontos de medição, considerando dois decaimentos por ponto (num total de 12 decaimentos) e que a massa do martelo de excitação deve ser equivalente a cerca de 100 cm² do elemento a excitar. Para o provete em análise, a massa do martelo deverá ser cerca de 4.40 kg.

A referida norma não especifica as características dos acelerómetros, a intensidade da força, nem a distância às posições de impacto ou entre posições de medição. No entanto, como já foi constatado por outros autores, estes aspectos têm influência nos resultados obtidos [4, 5]. Neste trabalho adoptaram-se as distâncias indicadas no método Nordtest, para medições *in situ* da transmissão de vibrações em edifícios [6]. Apesar da norma NP EN ISO 140-1 [1] indicar qual deverá ser a massa aproximada para o martelo de impacto, optou-se por usar martelos com diferentes massas: um martelo A com massa de 0.48 kg, um martelo B com massa de 0.61 kg e um martelo C com massa de 4.40 kg.

No gráfico da Figura 6 apresenta-se o factor de perdas total, calculado pela expressão (3), obtido para cada um dos martelos e ainda o valor mínimo definido na norma NP EN ISO 140-1 [1].

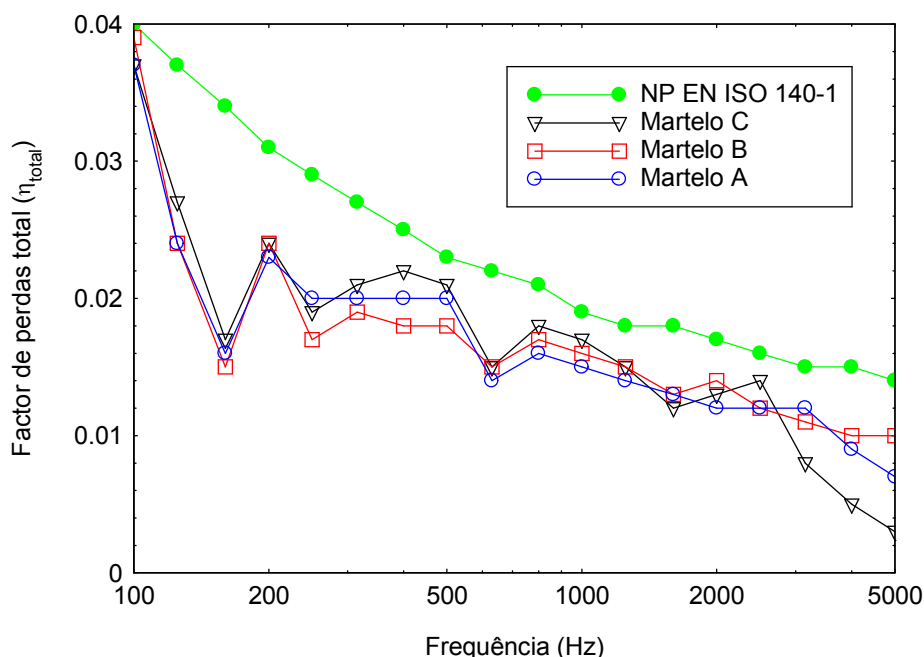


Figura 6 – Factor de perdas total medido na parede de alvenaria com 440 kg/m^2 e recomendado pela NP EN ISO 140-1 [1].

Como se pode observar na Figura 6, os valores obtidos não cumprem o mínimo exigido pela norma, a equação (2), proposta por Meier e Schmitz [7]. Craik [8] apresenta, ainda, uma expressão diferente $\eta = 1/\sqrt{f} + 0.015$ que conduz a valores mínimos, ainda mais elevados. Considera-se que os valores teóricos impostos pela norma talvez devessem ser revistos, uma vez que não se conseguem atingir na prática, conforme já foi constatado por outros autores [4, 9].

Os resultados obtidos experimentalmente, comprovam que para as diferentes massas dos martelos, o valor do factor de perdas total não se altera significativamente.

2.2.3 Valor máximo do índice de redução sonora das câmaras horizontais

O índice de redução sonora máximo obtido em laboratório, que não é influenciado significativamente pelas transmissões marginais, vai depender do tipo de provete a ser ensaiado. Para evitar que seja necessário avaliar a contribuição das transmissões marginais sempre que se obtém um bom desempenho acústico dos elementos, deve-se determinar o índice de redução sonora máximo (R'_{\max}) para um conjunto de soluções representativas do tipo de ensaios a efectuar. Apenas quando o valor de R' do provete ensaiado for superior a $R'_{\max} - 15\text{dB}$ será necessário investigar as transmissões marginais, sendo R' o valor avaliado no ensaio de isolamento a sons aéreos em cada banda de frequência.

O anexo A da norma NP EN ISO 140-1 [1] indica algumas construções representativas a serem ensaiadas em câmaras horizontais, parede do tipo A, parede do tipo B e parede do tipo C.

No laboratório do *ITeCons* foram construídos e ensaiados os três tipos de provetes com as características representadas nas Figuras 7 (parede tipo A - painéis aligeirados), 8 (parede tipo B - parede de alvenaria leve) e 9 (parede tipo C - parede de alvenaria pesada).

Parede do tipo A

A parede do tipo A, de acordo com a norma NP EN ISO 140-1 [1] deve ser uma parede dupla de painéis leves com várias camadas, com uma massa superficial de pelo menos 30 kg/m^2 . Deve existir, entre os dois panos, uma cavidade de pelo menos 200 mm de espessura (incluindo o isolamento), contendo lã mineral com 100 mm de espessura, no mínimo.

A parede do tipo A, executada no *ITeCons*, é constituída por 2 conjuntos de 4 placas de gesso cartonado com 12,5 mm de espessura (cada placa), com juntas desencontradas e convenientemente barradas (com bandas de papel e massa de acabamento) e calafetadas (com bandas acústicas no perímetro do aro) em ambas as camadas, separados por uma caixa-de-ar de 30 cm semi-preenchida com 12 cm de lã de rocha com massa volúmica de 70 kg/m^3 .

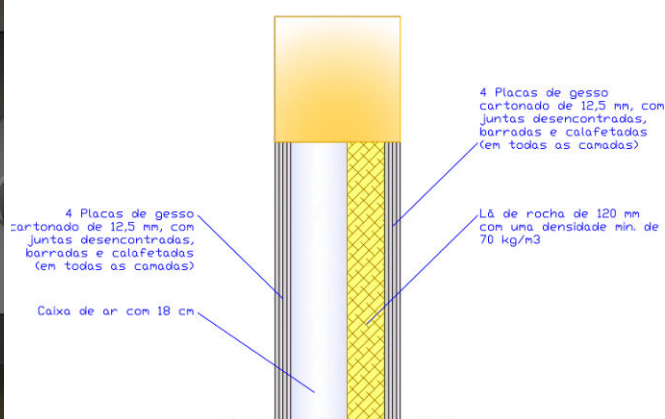


Figura 7 – Parede do tipo A: a) provete instalado entre as câmaras horizontais; b) composição do provete leve.

Parede do tipo B

A norma NP EN ISO 140-1 [1] refere que a parede do tipo B deve ser uma parede de alvenaria leve rebocada numa das faces, com uma massa superficial de $(100 \pm 10)\text{ kg/m}^2$, reforçada com uma estrutura independente constituída por duas placas de gesso cartonado assente sobre uma estrutura de madeira ou metal. A cavidade entre a parede e o revestimento deve ter no mínimo 50 mm e conter lã mineral no seu interior.

Construiu-se uma parede deste tipo para ser ensaiada nas câmaras do *ITeCons*. A parede é constituída por um pano de blocos de argila expandida com 15 cm de espessura da marca “Artebel” referência “BLE 15”, rebocado em uma das faces com uma espessura de reboco de cerca de 2 cm. Esta parede é revestida por uma estrutura independente constituída por perfis metálicos e duas placas de gesso cartonado com 12,5 mm cada, com juntas desencontradas e convenientemente barradas (com bandas de papel e massa de acabamento) e calafetadas (com bandas acústicas no perímetro do aro) em ambas as camadas. Entre a parede e o revestimento existe uma cavidade de 20 cm de espessura contendo lã de rocha com 30 mm de espessura e massa volúmica de 70 kg/m^3 .



Figura 8 – Parede do tipo B: a) provete instalado entre as câmaras horizontais; b) composição do provete de alvenaria leve.

Parede do tipo C

A parede do tipo C deverá ser, de acordo com a norma NP ENISO 140-1 [1], uma parede de alvenaria pesada, constituída por uma parede de tijolos ou blocos, com uma massa superficial de $(400 \pm 40) \text{kg/m}^2$ rebocada numa das faces. Essa parede deverá ser revestida por uma estrutura independente constituída por duas camadas de placas de gesso cartonado, com 12.5 mm de espessura cada, assentes sobre perfis de madeira ou metálicos. Entre a parede e o revestimento deve existir uma cavidade com pelo menos 50 mm de espessura contendo lã mineral.

A parede deste tipo, que foi construída para ser ensaiada nas câmaras horizontais do ITeCons, foi executada com blocos de betão de 20 cm de espessura da marca “Artebel” referência “BBE 20”, com a furacão totalmente preenchida por argamassa. As juntas de argamassa têm cerca de 1,25 cm e a parede foi rebocada numa das faces, apresentando uma massa superficial de cerca de 440kg/m^2 . A esta parede foi adicionado um pano constituído por duas placas de gesso cartonado com 12.5 mm de espessura, cada placa, com juntas desencontradas e convenientemente barradas (com bandas de papel e massa de acabamento) e calafetadas (com bandas acústicas no perímetro do aro) em ambas as camadas, assentes sobre uma estrutura independente de perfis metálicos. Esta parede tem uma caixa-de-ar de 14 cm onde se incluiu lã de rocha com 3 cm de espessura e massa volúmica de 70kg/m^3 .



Figura 9 – Parede do tipo C: a) provete instalado entre as câmaras horizontais; b) composição do provete de alvenaria pesada.

Resultados obtidos

Após a execução dos três tipos de provetes, procedeu-se ao ensaio de isolamento a sons aéreos, nas câmaras acústicas horizontais. Na Tabela 3 são apresentados os valores, em bandas de um terço de oitava, da redução sonora obtida com cada provete e os correspondentes índices de redução sonora, R_w .

Tabela 3 – Valores de $R'_{m\acute{a}x}$ (dB) para as paredes do tipo A, B e C.

Frequência (Hz)	Valores de $R'_{m\acute{a}x}$ (dB)		
	Parede tipo A	Parede tipo B	Parede tipo C
100	51.0	49.1	58.0
125	52.5	47.1	59.6
160	52.9	58.1	53.5
200	51.7	53.5	66.9
250	55.4	56.1	61.3
315	56.3	56.3	67.7
400	57.5	60.6	67.4
500	56.6	63.1	67.0
630	55.4	63.7	65.6
800	56.0	63.4	64.3
1000	55.1	63.5	64.2
1250	55.8	64.8	65.3
1600	56.0	66.1	66.3
2000	54.8	66.4	67.0
2500	52.1	67.2	67.6
3150	51.4	67.8	69.7
4000	52.7	68.7	71.1
5000	49.1	65.5	65.9
R_w	55	64	66

3 Conclusões

Apresentou-se resumidamente, no presente trabalho, a preparação e caracterização das câmaras acústicas horizontais do *ITeCons*, descritas com maior detalhe na parte I deste artigo. O controlo da difusibilidade do campo sonoro foi garantido através da colocação de difusores fixos, materializados por painéis de policarbonato com absorção sonora reduzida, com diferentes áreas e orientações, e suspensos no tecto câmara de ensaio. Comprovou-se, experimentalmente, que, no caso da câmara horizontal fixa, a área óptima de ambas as faces dos difusores, representa cerca de 28 % da área total da superfície da câmara reverberante.

A redução dos tempos de reverberação registados nas câmaras acústicas foi conseguida com auxílio da colocação de painéis absorventes nas paredes das câmaras, de dimensão, posicionamento e orientação variáveis.

Foram avaliados, experimentalmente, os valores do factor de perdas total, para um provete pesado.

Os ensaios de isolamento sonoro a sons aéreos, conduzidos em três provetes-tipo, especificados pela normalização, permitiram a determinação dos valores máximos do índice de isolamento sonoro a sons aéreos, para as instalações analisadas, correspondentes aos seguintes valores: para paredes do tipo A

(painéis aligeirado), 55 dB; para paredes do tipo B (paredes de alvenaria leve), 64 dB; e, para paredes do tipo C (paredes de alvenaria pesada), 66 dB.

Agradecimentos

Os trabalhos apresentados no presente artigo inserem-se no âmbito da colaboração dos investigadores do Centro de Investigação em Ciências da Construção CICC da FCTUC com o instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção ITeCons.

O projecto de criação do *ITeCons*, incluindo o desenvolvimento das suas instalações e aquisição de equipamentos, foi financiado ao abrigo da Medida III.11 - Economia, Linha de Acção "Criação de Novas Infra-Estruturas do Sistema Tecnológico", inserido no Programa Operacional da Região Centro (PO Centro), e promovido pelo Ministério da Economia e pela União Europeia.

Referências

- [1] NP EN ISO 140-1, 2001. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Especificações para laboratórios sem transmissão marginal (ISO 140-1:1997). IPQ, 2002.
- [2] NP EN 20140-3, 1998. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 3: Medição em laboratório do isolamento sonoro a sons aéreos de elementos de construção (ISO 140-3:1995). IPQ, 1998
- [3] NP EN ISO 354, 2007. Medição da absorção sonora em câmara reverberante (ISO 354:2003). IPQ, 2007.
- [4] Paixão, D. X. Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria utilizando análise estatística de energia, SEA; Tese de Doutoramento, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- [5] Paixão, D. X.; Gerges, S. N. Y. Perda de transmissão sonora em paredes de alvenaria de tijolo maciço. *Ambiente Construído*, volume 4, número 2, 2004, pp. 95 – 110.
- [6] NT ACOU 090 - Building Structures, junctions: Transmission of vibrations – field measurements. Nordtest, 1994.
- [7] Meier A.; Schmitz A. Application of Total Loss Factor Measurements for the Determination of Sound Insulation. *Building Acoustics*, Volume 6, Number 2, 1999 , pp. 71-84(14).
- [8] Craik, Robert J. M. *Sound Transmission through Building using Statistical Energy Analysis*. Gower Publishing Limited, England, 1996.
- [9] Delannoy, J.; Recuero, M. Loss factor measurements on plasterboard. 19th International Congress on Acoustics, Madrid, 2-7 September 2007