

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO DE PAINÉIS RESSONANTES INCORPORANDO TELAS ACÚSTICAS

PACS: 43.55.Ev

Luís Godinho¹; Paulo Amado-Mendes¹; Ricardo Patraquim²; Ana Catarina Jordão³

¹ CICC, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra

Rua Luís Reis Santos - Pólo II da Universidade, 3030-788 Coimbra, Portugal

Tel. +351-239797198

E-mail: lgodinho@dec.uc.pt; pamendes@dec.uc.pt

² Castelhana & Ferreira, S.A.

S.A., Av. Colégio Militar, nº 24A – Benfica, Lisboa, Portugal

E-mail: patraquim@castelhana-ferreira.pt

³ Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra

Rua Luís Reis Santos - Pólo II da Universidade, 3030-788 Coimbra, Portugal

E-mail: catarinajordao@hotmail.com

ABSTRACT

In this work, the authors analyze the behavior of perforated panels, usually applied in the acoustic treatment of enclosures, using an experimental approach and making use of small samples tested in an impedance tube. This method has obvious advantages from the economic point of view and can be of great interest in the development phase of construction products. Different solutions are tested, with different perforated areas and different characteristics of the air-gap, and analyzed in the frequency range between 100 Hz and 1600 Hz. Special emphasis is given to the assessment of the possible effect of an acoustic nonwoven mat applied on the back surface of the perforated panels, trying to verify, with different mats, the real influence that they may have on the overall behavior of the constructive solution.

RESUMO

No presente trabalho é realizada uma análise de soluções de painéis perfurados (usuais no tratamento acústico de espaços fechados) recorrendo a amostras de pequena dimensão, usando para o efeito o método da determinação da absorção sonora em tubo de impedância. Este método apresenta evidentes vantagens do ponto de vista económico e pode ser de grande interesse na fase de desenvolvimento de produtos. São testadas diferentes soluções construtivas, com diferentes áreas de perfuração e dimensões de caixa-de-ar, na gama de frequências entre os 100 Hz e os 1600 Hz. É dada especial ênfase à avaliação do efeito de uma eventual tela acústica colada no tardo dos painéis, procurando verificar, com diferentes telas, qual a real influência que esta pode ter no comportamento global da solução construtiva.

1. INTRODUÇÃO

A absorção sonora assume um papel importante no condicionamento acústico de espaços fechados, sendo frequente o recurso a diferentes tipos de soluções e materiais para controlar aquele parâmetro. Uma solução técnica comum para este tipo de aplicação é o uso de painéis perfurados, realizados em madeira ou em gesso cartonado, apresentando estes sistemas um processo de absorção do som complexo, com um comportamento que combina o de materiais porosos e o de ressoadores acústicos. A perfuração do painel em conjunto com a caixa-de-ar usualmente existente por trás do revestimento fazem, de facto, com que o comportamento

dominante deste sistema se assemelhe ao de uma grelha de ressoadores de Helmholtz. Uma descrição detalhada do comportamento destes sistemas pode ser encontrada em trabalhos de diferentes investigadores, como Ingard e Bolt [1], Morse et al [2], Bolt [3], Ingard [4] ou Crandall [5]. Num trabalho mais recente, de Patraquim [6], estudou-se experimentalmente a influência de diversos parâmetros no comportamento destes painéis, nomeadamente no que respeita à espessura, percentagem de furação ou utilização de materiais absorventes na caixa-de-ar. Nesse trabalho, a caracterização dos painéis foi efectuada recorrendo ao método descrito na norma ISO 354, determinando a sua absorção sonora em câmara reverberante.

Importa, agora, referir que em grande parte das aplicações deste tipo de sistemas se faz uso, no tardo do painel, de uma tela acústica em material tecido não tecido, cujas características podem influenciar significativamente o desempenho do painel. Existem, contudo, muito poucos estudos na literatura que abordem esta influência em painéis correntes, com espessura significativa e uma percentagem reduzida de área aberta (tipicamente abaixo dos 15%). Destaca-se, a este respeito, o trabalho muito recente de Patraquim et al [7], onde os autores analisam experimentalmente (em câmara reverberante) esta influência, comparando ainda os resultados com modelações teóricas. Nesse trabalho, os autores concluíram que existe, de facto, uma influência muito forte da tela no comportamento do sistema, podendo alterar de forma muito significativa as suas características de absorção sonora.

Apesar de eficaz e fiável, o método de ensaio em câmara reverberante torna-se dispendioso, requerendo instalações laboratoriais de grande dimensão e amostras com mais de 10m^2 de área. É neste contexto que surge o presente trabalho, no qual se procura perceber a viabilidade de utilizar o método do tubo de impedância (descrito nas normas ISO 10534-2 e ASTM E 1050) para realizar o estudo de painéis perfurados, recorrendo a amostras de pequena dimensão. Procura-se, aqui, aplicar esse método para identificar o comportamento típico destes painéis, assim como as variações introduzidas pela alteração de parâmetros como a espessura do painel, as características da caixa-de-ar ou as propriedades da tela colada no tardo do painel. Destaca-se e dá-se especial relevância a este último parâmetro, uma vez que, do conhecimento dos autores, não existem estudos detalhados publicados na literatura a este respeito.

O presente artigo encontra-se estruturado da seguinte forma: em primeiro lugar é apresentado o método de ensaio, descrevendo-se o equipamento usado e verificando os resultados que aí se obtêm; segue-se uma descrição dos vários materiais usados nos ensaios laboratoriais; apresentam-se e discutem-se, depois, os resultados obtidos, procurando compreender a influência dos vários parâmetros analisados.

2. METODOLOGIA DE ENSAIO

A determinação experimental do coeficiente de absorção sonora em amostras de dimensão reduzida foi efectuada recorrendo ao método do tubo de impedância, de acordo com a norma ISO 10534-2, e com a norma americana ASTM E 1050.

Este método consiste na emissão de um ruído de intensidade média constante ao longo do espectro de frequências, designado por ruído branco, em ondas planas, com o auxílio de um amplificador. Quando as ondas sonoras incidem na amostra dão-se variações de pressão provocadas pela transformação de alguma da energia sonora incidente em energia mecânica, o que diminui a pressão sonora reflectida. Estas variações de pressão são determinadas por dois microfones que se encontram em posições prédefinidas. Os sinais dos microfones são processados por um analisador digital e, depois de tratados, obtêm-se os valores da absorção sonora em função da frequência do som.

O tubo de impedância usado foi do tipo 4206 (Figura 1), da marca Brüel & Kjaer, complementado por um amplificador do tipo 2716C (Brüel & Kjaer), tendo-se recorrido ao método dos dois microfones para a avaliação da absorção sonora das amostras. Para a aquisição de sinal, foi utilizado um sistema de aquisição multianalisador Pulse, modelo 3560-C (Brüel & Kjaer).

Tendo-se recorrido ao método dos dois microfones, proposto na norma internacional ISO 10534-2, torna-se necessário proceder à definição da posição dos microfones durante o ensaio, uma vez que o espaçamento entre estes influencia a gama de frequências que pode ser avaliada com rigor. Neste caso, tendo em conta que tipicamente os painéis perfurados apresentam frequências de ressonância abaixo dos 2000 Hz, e que a frequência mínima de interesse se situa nos 63 Hz, tomou-se a opção de seleccionar um espaçamento de 50 mm. Tendo em consideração o diâmetro do tubo e este espaçamento, a gama de frequências passível de ser analisada por este equipamento compreende-se entre os 68 Hz e os 2744 Hz.

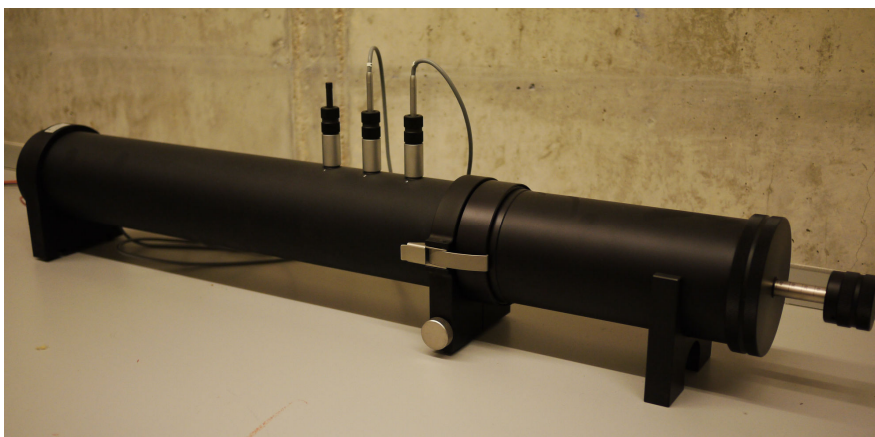


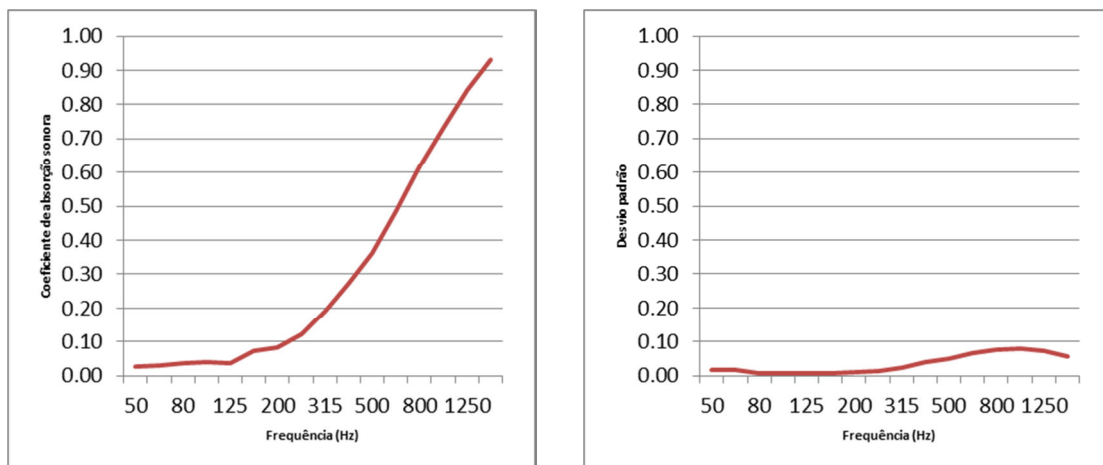
Figura 1 – Fotografia do equipamento de ensaio (tubo de impedância).

No início de cada série de ensaios foi realizada uma verificação preliminar do sistema, avaliando o ruído no interior do tubo de impedância com a fonte em funcionamento e desligada. A diferença entre os níveis sonoros terá que ser igual ou superior a 10dB, para todas as frequências. Complementarmente, foi realizada a correcção prevista na norma ISO 10534-2, de forma a anular os erros de fase dos dois microfones, recorrendo a amostras de referência fornecidas pela Brüel & Kjaer (espumas sintéticas de célula aberta). Para esse efeito, foi registado o sinal com os microfones numa posição inicial, e invertendo depois o seu posicionamento relativo.

De forma a garantir uma boa estabilidade dos resultados obtidos, foram efectuados testes preliminares no tubo de impedância recorrendo a amostras circulares de lâ-de-rocha, com uma densidade de aproximadamente 20 kg/m^3 e uma espessura de 40 mm. Nestes testes, foram usadas 6 amostras do mesmo material, sendo cada uma delas ensaiada 3 vezes. Entre cada ensaio, a amostra foi retirada e recolocada no tubo de impedância, representando, por isso, condições de reprodutibilidade. Na Figura 2 apresentam-se os resultados obtidos em termos de média e desvio padrão do coeficiente de absorção. Observando os resultados apresentados nesta figura, torna-se evidente que a dispersão entre resultados é bastante reduzida, registando-se desvios padrão inferiores a 0.1 em todas as bandas de frequência apresentadas. Note-se, ainda, que o valor máximo deste desvio (cerca de 0.08) se regista em frequências mais elevadas, nas quais os coeficientes de absorção médios são já elevados.

3. DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS ENSAIADAS

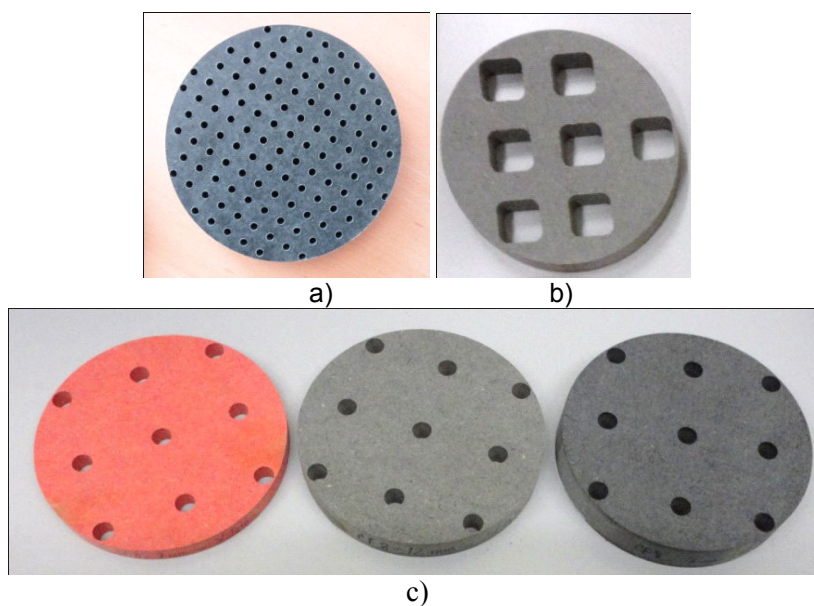
Foi ensaiado, neste trabalho, um grande número de painéis perfurados com configurações distintas. Ilustram-se, no presente artigo, os resultados obtidos para alguns deles, correspondentes a amostras circulares perfuradas em “MDF (*Medium Density Fiberboard*)”, com um diâmetro de 10 cm, espessuras entre 8 e 16 mm, e taxas de perfuração distintas, conforme indicado no Quadro 1, e ilustrado na Figura 3.



a)

b)

Figura 2 – Resultados dos 18 ensaios com amostras de lã de rocha, em condições de reprodutibilidade: a) Valores médios; b) Desvio padrão.



a)

b)

c)

Figura 3 – Amostras dos painéis CF3/8 (a), CF-Q (b) e CF8 (c). No último caso, apresentam-se imagens das amostras com as três espessuras testadas.

Quadro 1 – Descrição das amostras de painéis perfurados.

Designação	Espessuras (mm)	Taxa de perfuração (%)
CF3/8	12	10.44
CF8	8; 12; 16	4.72
CF Q	12	40.00

Uma vez que os sistemas absorventes com painéis perfurados incorporam, usualmente, telas acústicas no seu tardo, e tendo em conta os objectivos deste trabalho, estas telas foram também ensaiadas em associação com os painéis perfurados atrás descritos. Foram ensaiadas 4 telas distintas, apresentando-se, no Quadro 2, as suas características.

Quadro 2 – Características das telas acústicas.

	Peso superficial (g/ m ²)	Espessura (mm)	Tipo de fibra	Estrutura do não-tecido	Resistência ao fluxo de ar (kPa.s/ m ³)
A	63.7	0.52	Fibra de Vidro	Aleatória	3.20
B	65.0	0.26	Viscose/Poliéster + Resina Sintética	Aleatória	14.73
C	47.1	0.37	Revestimento de adesivo reactivo ao calor	Aleatória	33.17
D	48.0	0.23	Celulose+Vidro	Aleatória	30.22

Nos ensaios realizados sobre as amostras de painéis perfurados com as diferentes telas foram ainda consideradas 4 hipóteses de caixas-de-ar, de acordo com o ilustrado na Figura 4. Nos casos em que a caixa-de-ar se encontra total ou parcialmente preenchida com lã de rocha, esta apresenta uma densidade de 40 kg/m³.

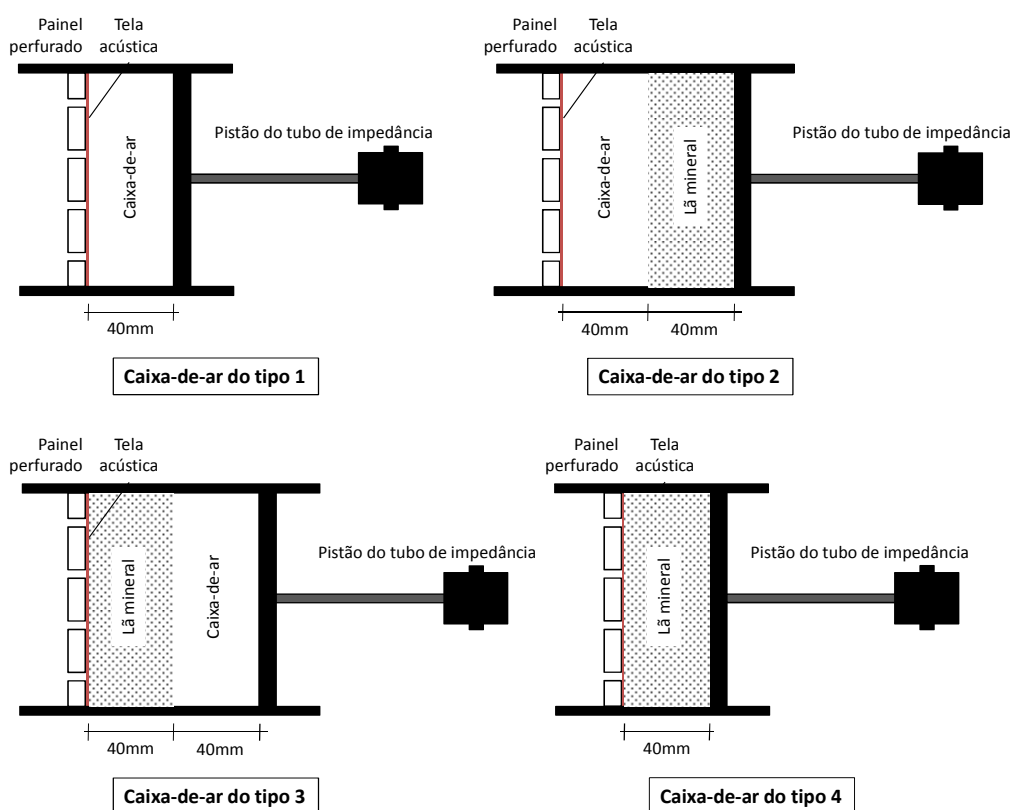


Figura 4 – Configurações da caixa-de-ar testadas.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Analise-se, em primeiro lugar, a variação do coeficiente de absorção do sistema quando se considera um determinado tipo de painel, mas com diferentes configurações de caixa-de-ar. Na Figura 5a apresentam-se os resultados obtidos em painéis do tipo CF3/8 (sem qualquer tela) com 12mm de espessura para as 4 caixas-de-ar consideradas. A observação do gráfico apresentado permite concluir que quer a dimensão da caixa-de-ar quer a presença de material absorvente se apresentam como variáveis condicionantes do desempenho do sistema absorvente. Assim, para este caso, torna-se evidente que o sistema com caixa-de-ar de 40 mm não preenchida (tipo 1) apresenta menores valores de absorção em toda a gama de frequências, evidenciando, ainda assim, um pico bem pronunciado correspondente à ressonância do sistema. A inclusão de lâ-de-rocha na caixa-de-ar (tipo 4) faz subir a absorção sonora de forma muito significativa, sofrendo a posição do pico correspondente à ressonância do sistema apenas um ligeiro desvio. Aumentando a caixa-de-ar para 80 mm, e considerando a lâ-de-rocha afastada do tardo do painel (tipo 2), este pico desloca-se para frequências mais baixas, observando-se, no entanto, uma menor absorção sonora na frequência ressonância. Por último, para a configuração tipo 3, com a lâ-de-rocha encostada ao painel, observa-se que a frequência de ressonância se mantém em frequências mais baixas, registando-se, contudo, um coeficiente de absorção bastante mais elevado do que para o sistema do tipo 2. Este conjunto de resultados evidencia bem a influência da configuração da caixa-de-ar no desempenho destes sistemas, sendo coerente com os resultados descritos em Patraquim [6].

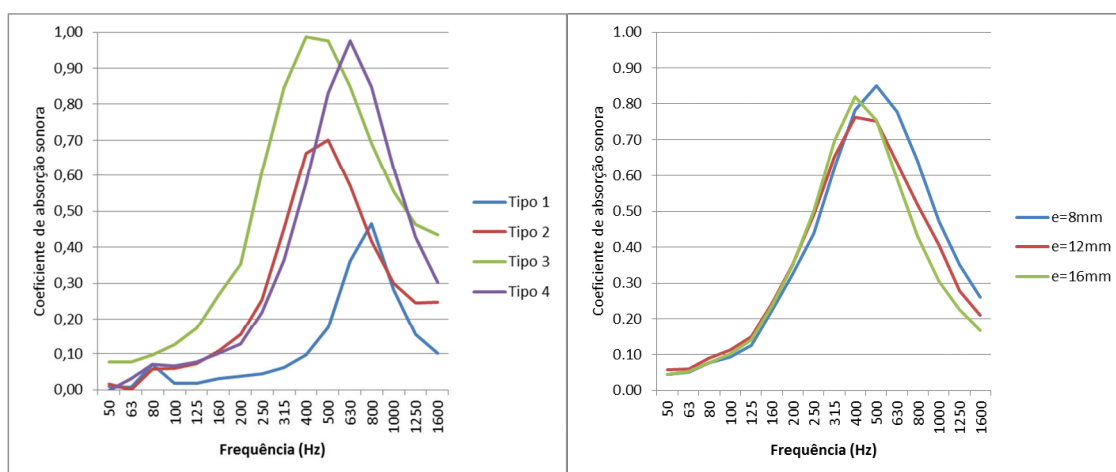


Figura 5 – a) Resultados para painéis do tipo CF3/8 com diferentes configurações de caixa-de-ar; b) Coeficiente de absorção sonora para painéis CF8 com diferentes espessuras.

Para além das características da caixa-de-ar, um outro factor que influencia o comportamento das soluções de painel perfurado é a espessura do próprio painel. Observando o gráfico apresentado na Figura 5b, representando o coeficiente de absorção sonora obtido para painéis do tipo CF8, usados em conjunto com a tela A, com uma caixa-de-ar do tipo 4, e com espessuras de 8, 12 e 16 mm, confirma-se, na realidade, esta influência, embora não dando origem a alterações muito significativas nas curvas de absorção apresentadas. No entanto, observando a frequência para a qual ocorre o pico de absorção (frequência de ressonância), verifica-se que à medida que se aumenta a espessura esta tende a deslocar-se ligeiramente para a esquerda. De facto, de acordo com a teoria dos ressoadores de Helmholtz, pode considerar-se que, quando sujeitos a incidência normal de ondas sonora, a sua frequência de ressonância pode ser calculada como

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{V_0 L}} \quad (1)$$

onde c é a velocidade do som, A é a área do orifício de entrada, L o comprimento efectivo do gargalo e V_0 o volume interno do ressoador. O comportamento observado na Figura é, por isso, coerente com o esperado, com a frequência de ressonância a variar com uma relação inversa com a espessura do painel.

Por último, na Figura 6 ilustram-se os resultados obtidos com painéis do tipo CF8 e CFQ com 12 mm de espessura, para diferentes tipos de telas coladas no seu tardo. Em todos os casos foi considerada a caixa-de-ar do tipo 4. Os resultados obtidos para estes dois painéis mostram

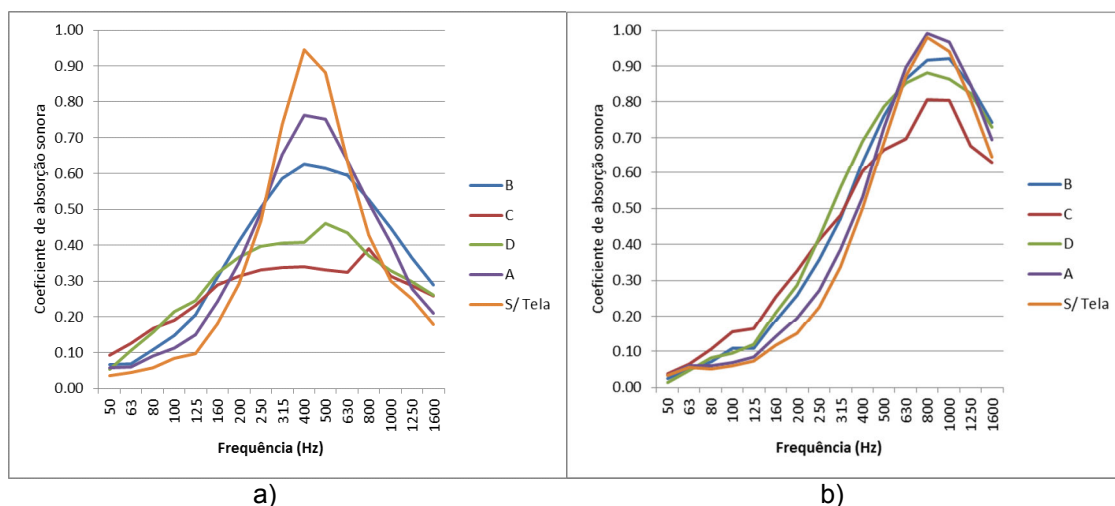


Figura 6 – Resultados para diferentes painéis com espessura de 12mm e com caixa-de-ar do tipo 4: a) CF8; b) CFQ.

alterações drásticas da absorção sonora em função do tipo de tela, com variações da absorção máxima observada que chegam a 0.6. Na realidade, dependendo do material tecido não-tecido colado no tardo, este pode oferecer uma maior ou menor resistência ao fluxo de ar e energia sonora, podendo, em alguns casos, funcionar mesmo como uma barreira. Observando o Quadro 2, apresentado anteriormente, é possível correlacionar a absorção sonora máxima com a resistência ao fluxo de ar da tela, existindo claramente uma relação inversa entre estas duas grandezas. É ainda interessante observar que o comportamento nas baixas frequências sofre também alterações. Nesta gama de frequências, as telas com maior resistência ao fluxo permitem obter melhor desempenho, podendo funcionar como membranas acústicas que absorvem a energia sonora por vibração. Das telas ensaiadas, a tela C é a que apresenta uma maior resistência ao fluxo, sendo por isso a que exibe um menor coeficiente de absorção máximo, mas sendo também a que apresenta maior absorção nas baixas frequências. Pelo contrário, é para a situação sem qualquer tela ou com uma tela com muito baixa resistência ao fluxo que ocorre um pico mais pronunciado na curva de absorção sonora.

5. CONCLUSÕES

No presente trabalho foi realizada uma análise de soluções de painéis perfurados correntemente utilizados no tratamento acústico de espaços fechados. Pretendeu-se aqui abordar a possibilidade de estudar o seu comportamento recorrendo apenas a amostras de pequena dimensão, e usando para avaliar o seu coeficiente de absorção o método do tubo de impedância com dois microfones. A utilização deste método simplifica o processo de ensaio, evitando o recurso à utilização de amostras com 10m^2 que são exigidas para ensaio em câmara reverberante. Apesar de se considerar que este estudo revelou um elevado potencial deste método para aplicação prática, considera-se também que só uma comparação directa com os resultados obtidos em câmara reverberante podem permitir perceber quais as limitações que são introduzidas. Apesar de se esperar a ocorrência de algumas diferenças, em consequência, por exemplo, da incidência de ondas planas do método aqui usado dar lugar a

um campo difuso no caso da câmara reverberante, julga-se que os principais aspectos do comportamento dos sistemas testados podem ser avaliados usando este procedimento.

No que respeita aos resultados aqui apresentados, estes permitem retirar três conclusões que se julga importantes. Em primeiro lugar, foi observado que a configuração da caixa-de-ar existente atrás do painel perfurado apresenta uma forte influência no desempenho do sistema. A título de exemplo, para a mesma dimensão de caixa-de-ar parcialmente preenchida foram aqui identificados comportamentos muito distintos consoante o material absorvente se encontre encostado ou afastado do tardo do painel perfurado. Verificou-se, em segundo lugar, que, para o tipo de painel analisado, a sua espessura apenas influencia de forma ligeira o comportamento global do sistema. Em terceiro lugar, observou-se que as características da tela colada no tardo do painel exercem uma grande influência no comportamento global do sistema, sendo que telas com maior resistência ao fluxo originam picos de ressonância menos evidentes, enquanto estes picos são muito pronunciados quando se usam telas com baixa resistência ao fluxo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa “Castelhano & Ferreira, S.A.” e ao “ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção” o apoio disponibilizado para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] K.U. Ingard, R.H. Bolt - *Absorption characteristics of acoustic material with perforated facings*, Journal of the Acoustical Society of America 23, 533-540, 1951.
- [2] P.M. Morse, R.H. Bolt, R.L. Brown - *Acoustic Impedance and sound absorption*, Journal of the Acoustical Society of America 12-2, 217-227, 1940.
- [3] R.H. Bolt - *On the design of perforated facings for acoustic materials*, Journal of the Acoustical Society of America 19, 917-921, 1947.
- [4] K.U. Ingard - *On the theory and design of acoustic resonators*, Journal of the Acoustical Society of America 25, 1037-1062, 1953.
- [5] I.B. Crandall - *Theory of vibrating systems and sound*, Van Nostrand, New York, 1926.
- [6] R. Patraquim - *Perforated wooden panels: design and experimental evaluation of solutions*, Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Portugal, 2008.
- [7] R. Patraquim, L. Godinho, A. Tadeu, P. Amado-Mendes - *Influence of the presence of lining materials in the acoustic behaviour of perforated panel systems*, 18th International Congress on Sound and Vibration, Rio de Janeiro, Brasil, 2011.