



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008  
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A071

## Avaliação experimental da absorção sonora em painéis de madeira

Jorge Patricio <sup>(a)</sup>,  
Ricardo Patraquim <sup>(b)</sup>

(a) L.N.E.C. - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, Tel. +351 218 443 000. E-mail: jpatricio@lnec.pt

(b) Tecniwood-Madeiras Técnicas, Lda., Av. do Brasil, nº200ª, 1700-79 Lisboa, Portugal, Tel. +351 707 202 017. E-mail: ricardo.patraquim@tecniwood.pt

### Abstract

The sound absorption of the perforates is strongly dependent on the mounting conditions. This paper presents an experimental parametric study, in order to evaluate, using a reverberation room and according to the EN ISO 20354:1993 standards, the dependence of the sound absorption in wood panels with circular holes on the following parameters:

- Depth of the back layer of air;
- Use of rock wool on the back layer of air;
- Compartmentalization of the back layer of air;
- Usage of thin acoustic nonwoven as a resistive layer;
- Variation of the open area of the panels.

Finally, the relative performance for each band of frequency was compared in order to identify the most important factors for the acoustic performance of the actual use of acoustic panels. Being this work part of a further study in the field, the obtained results have led to important practical conclusions concerning the progress of the investigation.

### Resumo

A absorção sonora proporcionada pelos painéis perfurados depende fortemente das condições de montagem. Nesta comunicação apresenta-se um estudo paramétrico experimental, no qual é avaliada em câmara reverberante, de acordo com a norma EN ISO 20354:1993, a variação da absorção sonora de painéis com perfurações circulares face às seguintes alterações:

- Profundidade da caixa-de-ar;
- Utilização (e posição) de lã de rocha no interior da caixa-de-ar;
- Compartimentação da caixa-de-ar;
- Utilização de tela acústica como elemento resistivo;
- Variação da área aberta dos painéis.

Por fim, comparou-se o desempenho relativo para cada banda de frequência, de forma a identificar os factores mais importantes para o desempenho acústico da utilização real dos painéis acústicos. Sendo este trabalho parte de um estudo mais alargado, os resultados obtidos conduziram a conclusões importantes para o respectivo progresso.

## 1 Introdução

Os painéis de madeira perfurados são desde há muito tempo utilizados como sistemas para promover a absorção sonora em espaços fechados. Nestes sistemas, definidos pela montagem dos painéis perfurados afastados da parede de suporte de modo a criar uma caixa-de-ar no tardo, que pode ser, ou não, preenchida por um material poroso, o processo de absorção sonora consiste em provocar uma ressonância - a da massa de ar contida nos furos (gargalos) de uma cavidade ressoante -, tal como num ressoador de Helmholtz.

Historicamente Morse et al. [1] começaram a investigar a absorção sonora em 1940. Posteriormente, em 1947, Bolt estudou a absorção sonora em painéis perfurados [2], considerados como um sistema absorvedor ressonante. Nesse trabalho, Bolt identificou que o diâmetro dos furos, o seu número (densidade), bem como a espessura do painel têm um papel essencial no desempenho do sistema. Em 1951, Ingard e Bolt [3] postularam que a absorção sonora tem uma grande dependência das características do painel perfurado bem como da caixa-de-ar (sua dimensão e, existência, ou não, de material absorvedor sonoro no interior).

De acordo com o trabalho experimental desenvolvido por Callaway e Ramer [4], em 1952, demonstrou-se que a caixa-de-ar tem, sem dúvida, grande influência na absorção sonora do sistema ressonante criado.

Outro parâmetro importante no desempenho acústico destes sistemas é o formato do furo. Smits e Kosten apresentaram, em 1951 [5], um trabalho relativamente a placas ranhuradas que, posteriormente, Kristiansen e Vigran [6] utilizaram no seu estudo e desenvolvimento deste tipo de painéis.

Os painéis perfurados, com furos de diâmetro elevado ou ranhuras de grande largura (superiores à camada limite viscosa) têm, inerentemente, pouca resistência acústica, tendo de se recorrer à utilização de materiais porosos, imediatamente após as aberturas nos furos (ou no interior dos mesmos), de modo a incrementar a absorção sonora. Davern [7] investigou experimentalmente a utilização deste tipo de materiais e verificou que as suas porosidades, espessura e densidade são os parâmetros fundamentais na caracterização da capacidade de absorção sonora exibida por sistemas deste tipo.

Como a absorção sonora proporcionada pelos painéis perfurados depende fortemente das condições de utilização em obra (montagem), avaliou-se experimentalmente (de acordo com a norma EN ISO 20354:1993 [8]) a influência de diversos elementos que constituem o sistema ressoador, realizando um estudo paramétrico, tendo em atenção os seguintes parâmetros:

- Profundidade da caixa-de-ar;
- Utilização (e posição) de lã de rocha no interior da caixa-de-ar;
- Compartimentação da caixa-de-ar;
- Utilização de tela acústica como elemento resistivo;
- Área aberta dos painéis.

## 2 Estudo paramétrico e avaliação experimental

### 2.1 Set-up experimental

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaios de Acústica (LEA) do Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações, do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), de acordo com a norma EN ISO 20354:1993 [8], na câmara reverberante paralelepípedica com uma dimensão de 4,5m x 4,9 m x 5,5m, volume de 121,0m<sup>3</sup> e área total

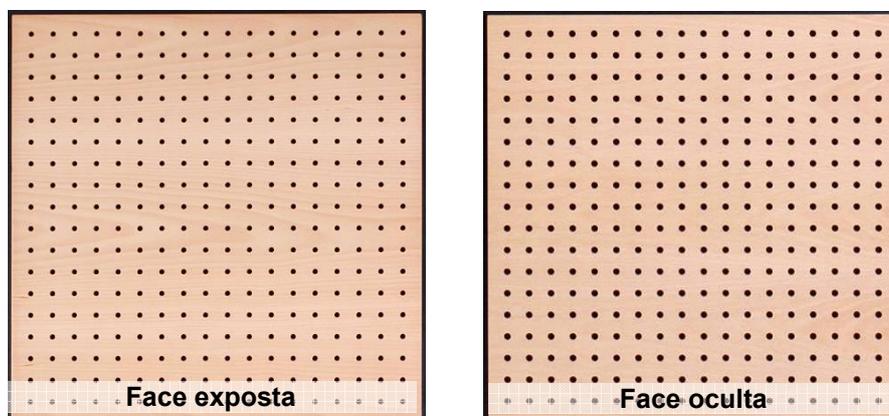
da envolvente exposta de  $147,5 \text{ m}^2$  (ver figura 1). A difusão na câmara foi assegurada pela existência de 16 difusores com  $1,9 \text{ m}^2$  cada, em forma de calote cilíndrica, suspensos aleatoriamente do tecto e das paredes da câmara.



**Figura 1.** Câmara reverberante do LEA do LNEC.

Os equipamentos utilizados nos ensaios foram os que o LNEC habitualmente utiliza nos ensaios normalizados, que efectua para a caracterização da absorção sonora de materiais e sistemas, respectivamente: sonómetro Bruel & Kjaer 2231; fonte sonora Bruel & Kjaer 4224 (foi utilizado ruído rosa); e microfone Bruel & Kjaer 4155.

Os painéis acústicos perfurados, utilizados, são constituídos por placas quadrangulares ( $600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$ ) de MDF, revestidas com papel melamínico com  $12 \text{ mm}$  de espessura, e com existência de dupla perfuração concêntrica:  $8 \text{ mm}$  de diâmetro na face exposta e  $10 \text{ mm}$  na face oculta (ver figura 2). Estes furos são espaçados regularmente de  $32 \text{ mm}$ , nas duas direcções XY, em arranjo quadrangular, com uma área aberta de  $4.5\%$ . De acordo com o requerido na citada norma, foram utilizados  $10,08 \text{ m}^2$  ( $28$  painéis) dispostos a formarem um rectângulo de  $2,4\text{m} \times 4,2\text{m}$ .



**Figura 2.** Painéis acústicos utilizados.

## 2.2 Ensaios realizados

Os painéis acústicos foram assentes sobre uma estrutura de madeira apoiada no pavimento da câmara reverberante, tendo as condições de montagem variado de acordo com os objectivos deste estudo.

### 2.2.1 Profundidade da caixa-de-ar

Foram utilizadas duas estruturas de madeira que proporcionam a montagem dos painéis a uma distância do pavimento de 40 mm e 200 mm, respectivamente.



Figura 3. Estruturas de suporte dos painéis.

### 2.2.2 Utilização (e posição) de lã de rocha no interior da caixa-de-ar

Para avaliar a influência da introdução de lã de rocha no interior da caixa-de-ar utilizaram-se montagens sem compartimentação. A lã de rocha utilizada nestes ensaios tinha uma espessura de 40 mm e uma massa volúmica de 40 e 70 kg/m<sup>3</sup>. No caso da caixa-de-ar de 200 mm, colocou-se lã de rocha em duas posições distintas, junto ao painel e junto ao pavimento (deixando uma camada de ar entre o painel e a superfície da lã de rocha), conforme ilustrado na figura 4.



Figura 4. Aplicação de lã de rocha no interior da caixa-de-ar.

### 2.2.3 Compartimentação da caixa-de-ar

Nos ensaios de avaliação da influência da compartimentação da caixa-de-ar foi-se colocando ripas divisórias de modo a dividir sucessivamente a caixa-de-ar em espaços mais pequenos, conforme ilustrado na figura 5. Para a compreensão da nomenclatura utilizada para identificar cada ensaio realizado, (1/2), (1/4), (1/8), (1/16), (1/32) e (1/64), o denominador da fracção indica o número de vezes que uma caixa-de-ar foi subdividida (considera-se uma caixa-de-ar a cavidade “estanque” de 600 mm x 2400 mm).

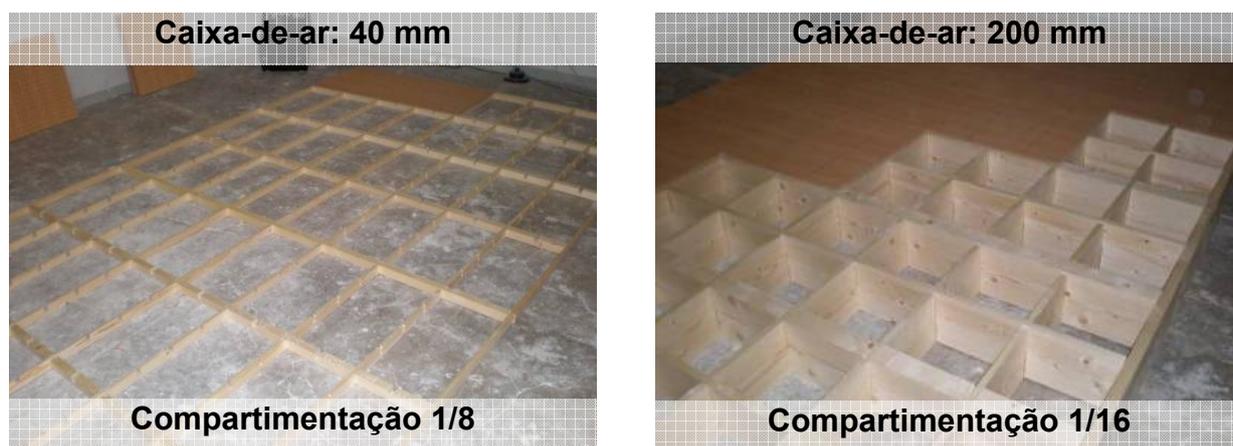


Figura 5. Exemplos da compartimentação do interior da caixa-de-ar.

### 2.2.4 Utilização de tela acústica como elemento resistivo

Foi utilizada uma tela de fibra de vidro semelhante à existente em alguns painéis de lã de rocha (que evitam a desagregação das fibras), colada na face oculta dos painéis perfurados. De acordo com o fabricante, este material tem uma resistência de fluxo de  $190 \text{ Nsm}^{-3}$ , uma espessura de 0,22 mm e uma massa superficial de  $62 \text{ g/m}^2$ .

Para avaliar a influência da aplicação da tela, realizaram-se ensaios com a utilização da tela com, e sem lã, de rocha no interior da caixa-de-ar.



Figura 6. Tela acústica colada no painel.

### 2.2.5 Área aberta dos painéis

Foi avaliada a influência da área aberta dos painéis, tendo sido ensaiados painéis com diferentes valores de densidade de furação. Para o ensaio comparativo utilizaram-se painéis perfurados com furos de 8 mm, espaçados de 16 mm, correspondendo a uma percentagem de área aberta de 18,1%.

Também se avaliou a influência da dupla perfuração - identificada nos gráficos de resultados como DP -, e a posição das faces dos painéis. Para tal ensaiaram-se os painéis DP nas duas posições possíveis: com o furo de menor dimensão (8 mm) virado para o campo sonoro incidente – DP 8+10/32, e com o furo de maiores dimensões, 10 mm, exposto ao campo sonoro incidente – DP 10+8/32.

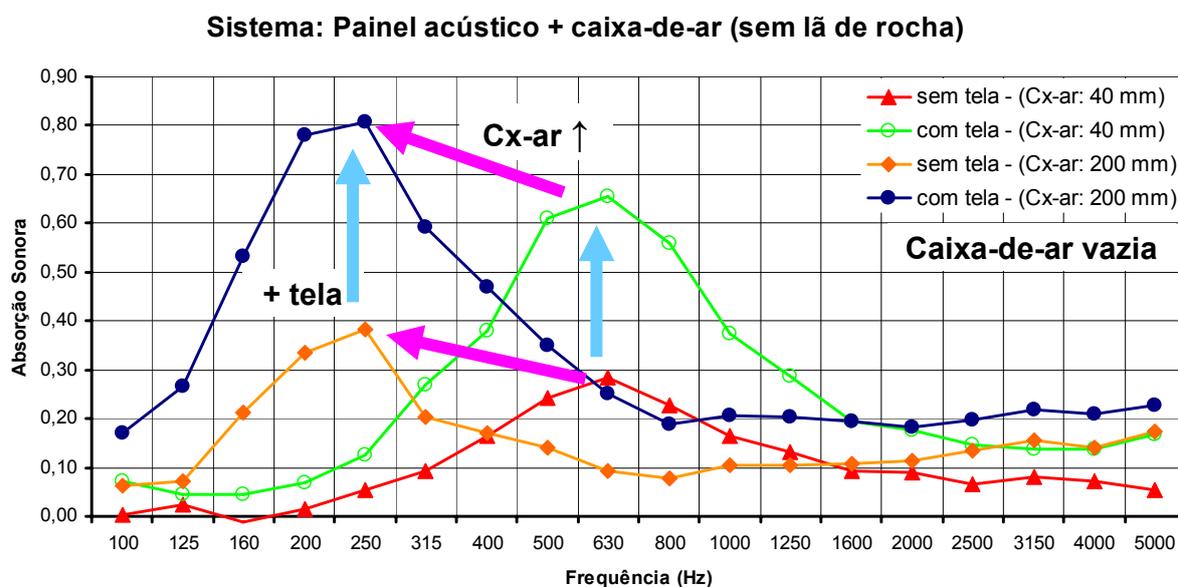
## 2.3 Análise de resultados

De seguida apresentam-se os resultados obtidos com os ensaios realizados no âmbito deste estudo, e a sua respectiva análise.

### 2.3.1 Influência da caixa-de-ar e da tela acústica

De acordo com a figura 7, o aumento da profundidade da caixa-de-ar traduz-se na redução da frequência de ressonância do sistema absorvedor e num aumento da absorção sonora máxima, quer utilizando tela acústica ou não.

Constata-se ainda que a utilização da tela acústica proporciona um incremento substancial da absorção sonora, generalizado a todas as bandas de frequências, mas com maior incidência na que contém a frequência de ressonância, independentemente da dimensão da caixa-de-ar. Pode-se também notar o carácter resistivo da tela, dado que aumenta a absorção sonora mas não altera a frequência (banda) de ressonância.



**Figura 7.** Variação de  $\alpha$  com a utilização da tela acústica e com a dimensão da caixa-de-ar.

### 2.3.2 Influência da posição da lã de rocha

Da observação da figura 8 verifica-se que a utilização da lã de rocha no interior da cavidade incrementa significativamente a absorção sonora dos painéis acústicos. Constatase ainda a importância do posicionamento da mesma junto à face oculta dos painéis perfurados. Aliás, se o aumento da dimensão da caixa-de-ar não for acompanhado pelo reposicionamento da lã de rocha junto ao painel há uma diminuição significativa absorção sonora máxima.

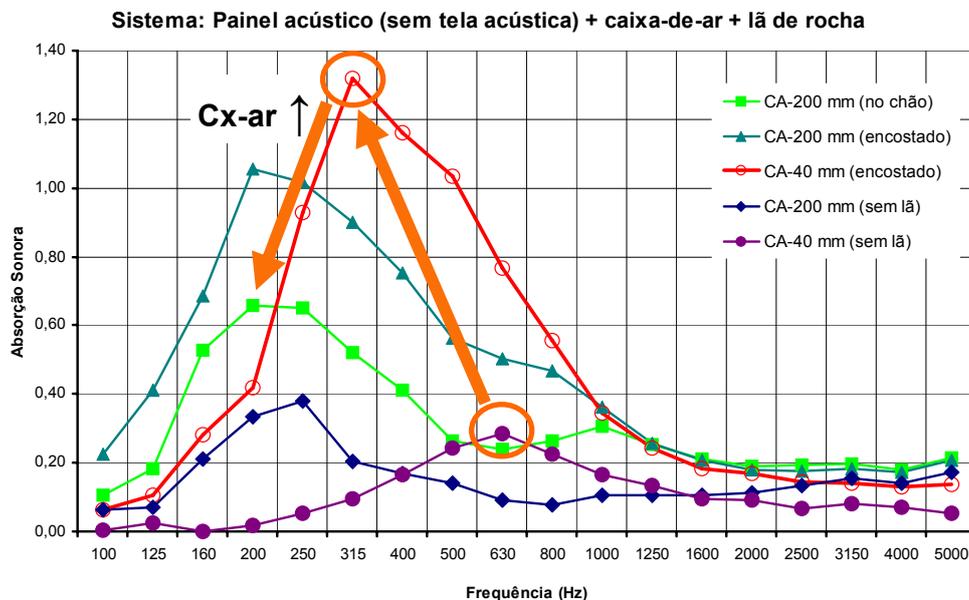


Figura 8. Variação de  $\alpha$  com a utilização e posicionamento da lã de rocha na caixa-de-ar.

### 2.3.3 Influência da densidade da lã de rocha

Pela observação da figura 9 verifica-se que a utilização de lã de rocha, preenchendo a caixa-de-ar, incrementa significativamente a absorção sonora e diminui a frequência de ressonância do sistema absorvor, tendo a respectiva massa volúmica pouca influência.

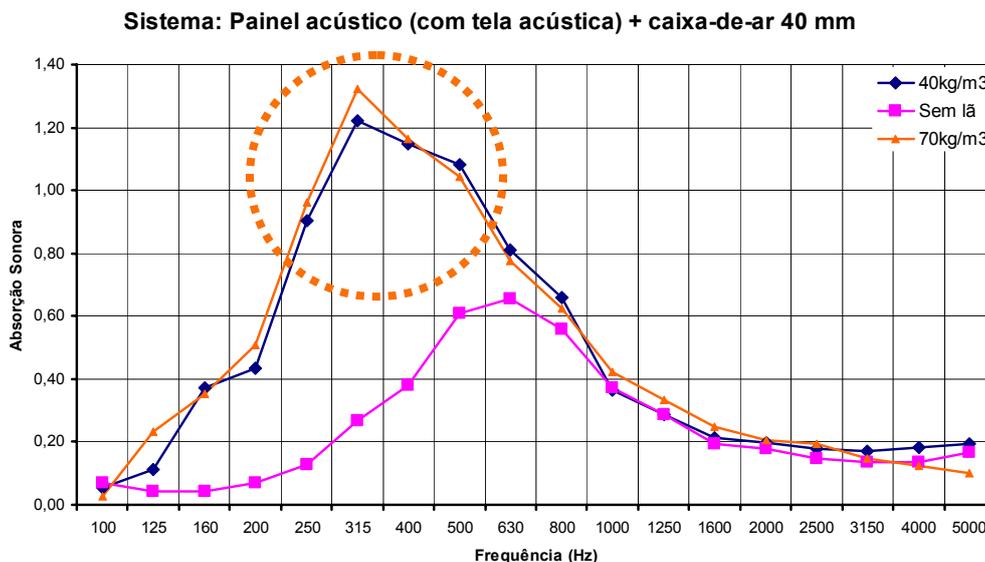


Figura 9. Influência da densidade da lã de rocha na absorção sonora.

### 2.3.4 Influência da utilização da tela acústica com a lã de rocha

Pela observação da figura 10 o efeito da tela acústica colada na face oculta dos painéis é significativo nas situações em que não existe lã de rocha no interior da caixa-de-ar, uma vez que é ela o principal elemento a introduzir resistência acústica no sistema ressonador.

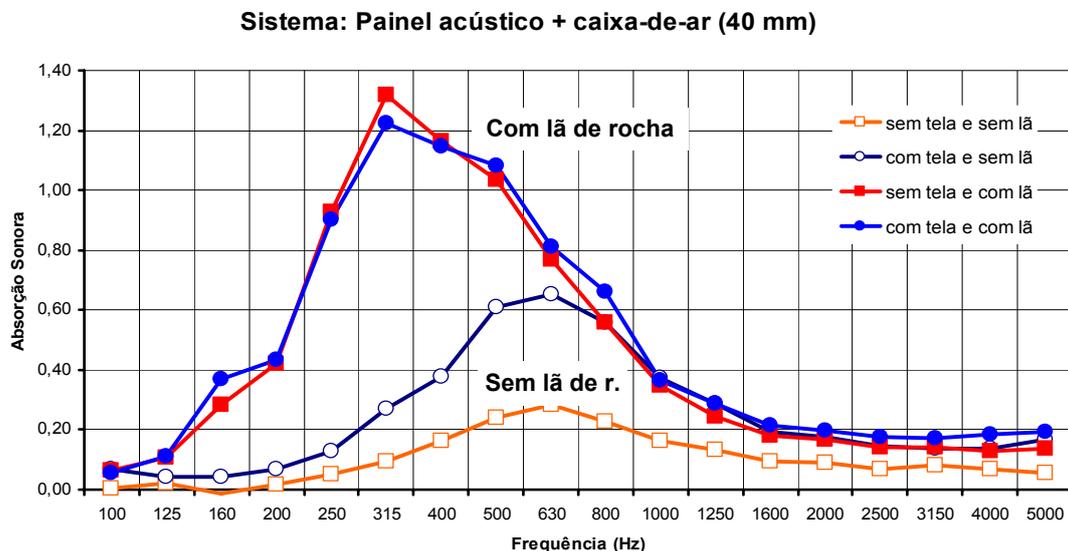


Figura 10. Influência na tela acústica com utilização de lã de rocha na caixa-de-ar.

### 2.3.5 Influência da compartimentação da caixa-de-ar

Pela observação das figuras 11 e 12 verifica-se que a compartimentação da caixa-de-ar faz diminuir ligeiramente a frequência (banda) de ressonância e aumentar o valor máximo da absorção. A sua influência só se faz sentir nas frequências próximas da ressonância. Verifica-se ainda que a compartimentação assume uma importância maior para a cavidade de 200 mm.

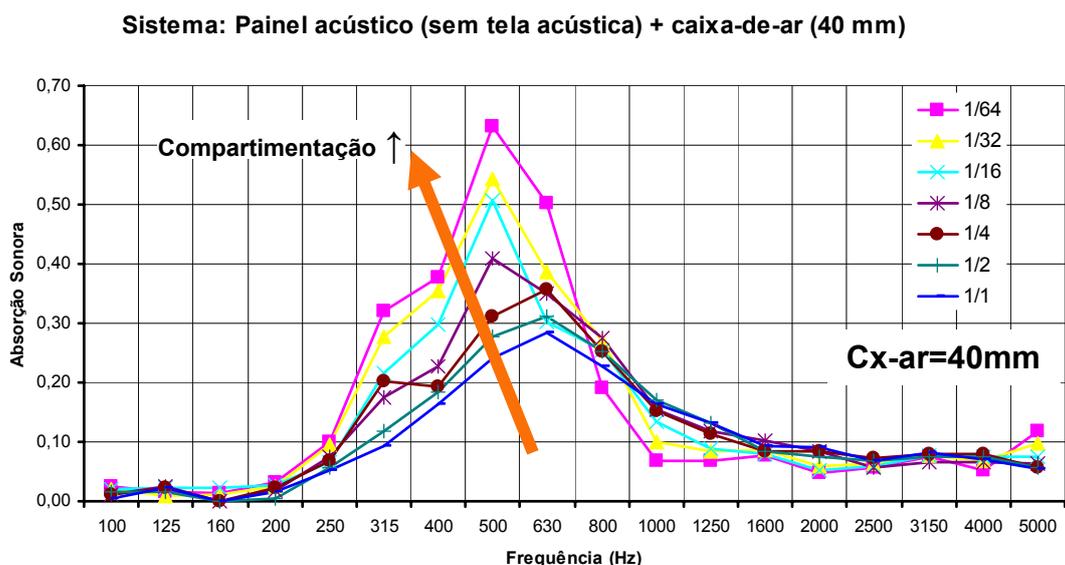
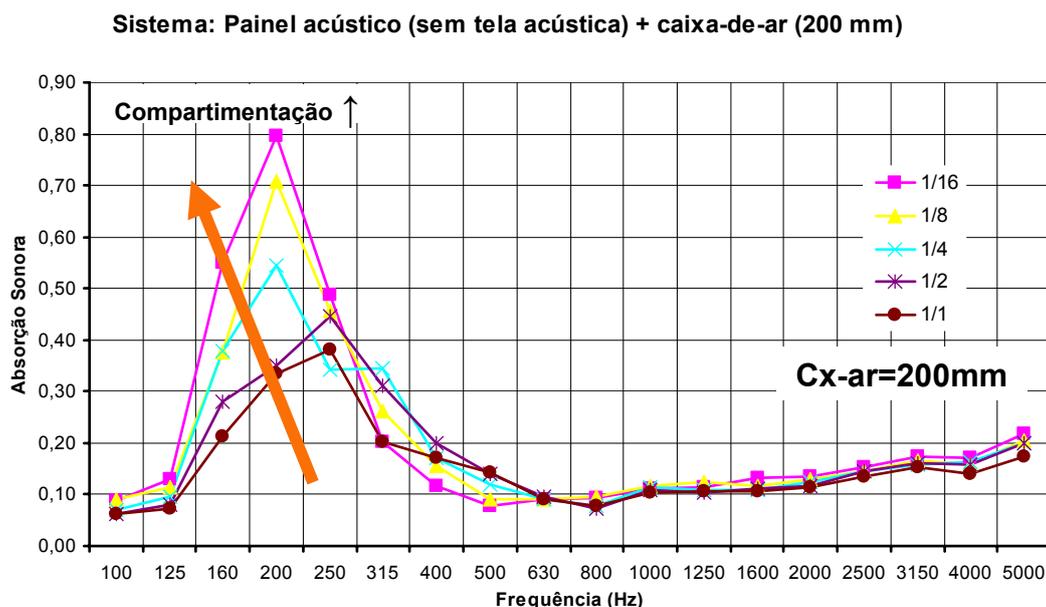
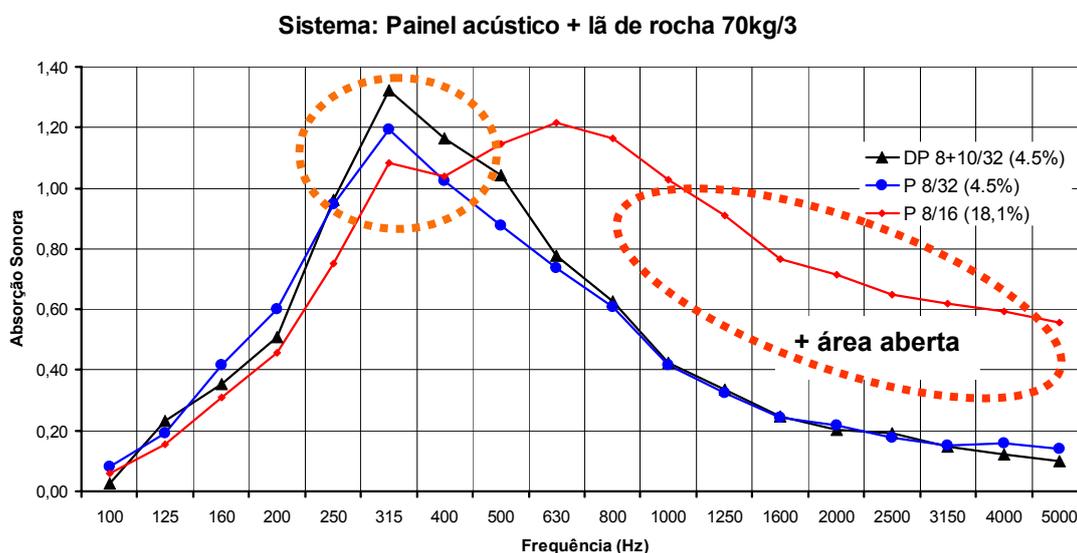


Figura 11. Variação de  $\alpha$  com a compartimentação da caixa-de-ar (40mm).

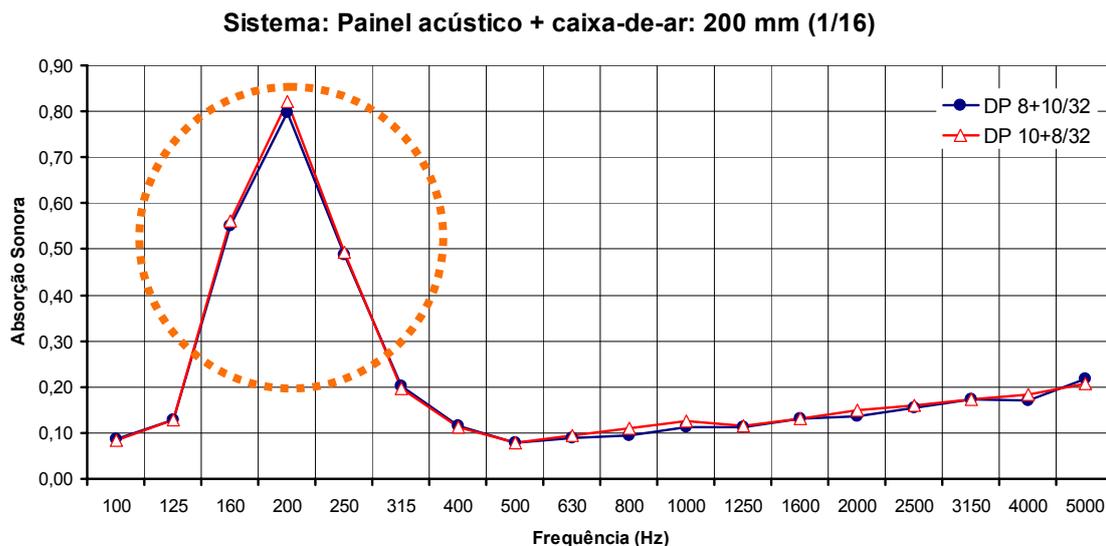


### 2.3.6 Área aberta dos painéis

Constata-se pela observação da figura 13 que não há alterações significativas na absorção sonora entre os painéis com dupla perfuração (DP) e os painéis com perfuração simples (P). Na mesma figura observa-se que o aumento da área aberta dos painéis acústicos (porosidade) se reflecte na frequência de ressonância (mais elevada) bem como num incremento significativo da absorção sonora na gama das altas frequências.



Da figura 14 conclui-se também que a face que é exposta ao som incidente (no caso DP) não introduz alterações na absorção sonora.



**Figura 14.** Variação de  $\alpha$  com a face exposta dos painéis com dupla perfuração.

### 3 Conclusões

Este estudo experimental permitiu identificar os factores mais importantes para o desempenho acústico da utilização real de painéis acústicos. Confirmou-se a importância da utilização de materiais absorvedores sonoros porosos, no interior da caixa-de-ar, encostados à face oculta dos painéis; a relevância das dimensões da caixa-de-ar para o posicionamento da frequência (banda) de ressonância; o efeito que a compartimentação da caixa-de-ar tem no desempenho do sistema, aumentando a absorção sonora e reduzindo a frequência de ressonância, e o aumento da absorção sonora na gama das altas-frequências em função da área aberta dos painéis acústicos. Verificou-se a irrelevância do efeito da tela acústica, na absorção sonora determinada, quando se utiliza lã de rocha no interior da caixa-de-ar. Contudo, se esta não existir na cavidade, a colagem da tela incrementa significativamente a absorção sonora devido à resistência acústica que introduz nos orifícios. Observou-se ainda a pouca influência na absorção sonora da densidade da lã de rocha, a dupla perfuração e a face exposta dos painéis que a utilizam.

### Referências

- [1] Morse, P.M., Bolt, R.H. e Brown, R.L., “Acoustic Impedance and sound absorption”, Journal of the Acoustical Society of America – J.A.S.A., 12-2 (1940), 217-227.
- [2] Bolt, R.H., “On the design of perforated facings for acoustic materials”, J.A.S.A., 19 (1947), 917-921.
- [3] Ingard, K.U. and Bolt, R.H., “Absorption characteristics of acoustic material with perforated facings”, J.A.S.A., 23 (1951), 533-540.
- [4] Callaway D.B. and Ramer, L.G., “The use of perforated facings in designing low frequency resonant absorbers”, J.A.S.A., 24-3 (1952), 309-312.
- [5] Smits, J. M. A. and Kosten, C. W., “Sound absorption by slit resonators”, Acustica, 1, 114–122, (1951).
- [6] Kristiansen, U. R. and Vigran, T. E., “On the design of resonant absorbers using a slotted plate”, Applied Acoustics, 43(1), 39–48, (1994).
- [7] Davern, W.A., “Perforated facings backed with porous materials as sound absorbers – an experimental study”, Applied Acoustics, 10 (1977), 85-112.
- [8] EN ISO 20354:1993 – “Acoustics. Measurement of sound absorption in a reverberation room”.