

# DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA ABSORÇÃO SONORA DE MATERIAIS UTILIZANDO AMOSTRAS DE DIMENSÕES REDUZIDAS

Joaquim Silva<sup>1</sup>, Luís Godinho<sup>1</sup>, Andreia Pereira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 3030-788 Coimbra  
joquiii@gmail.com, lgodinho@dec.uc.pt, apereira@dec.uc.pt.

## Resumo

Existem, actualmente, duas metodologias experimentais normalizadas que permitem determinar o coeficiente de absorção sonora de materiais/elementos de construção. Uma destas metodologias, definida na norma ISO 354, consiste na realização de ensaios sobre amostras do material/elemento a caracterizar com cerca de 10m<sup>2</sup>. Embora este método seja de aplicação geral, obriga à utilização de grandes quantidades de material, podendo tornar-se pouco prático. Como alternativa a este método, surge o procedimento indicado na norma ASTM E 1050, que permite estimar o valor do coeficiente de absorção sonora de um material a partir de medições realizadas num tubo de impedância. Se por um lado, este método requer o uso de amostras de reduzida dimensão, não permite ensaiar determinados sistemas devido às dimensões das amostras. Deste modo, pode recorrer-se à utilização de outros ensaios não normalizados, mas que permitem avaliar o coeficiente de absorção de amostras mais reduzidas, nomeadamente através da utilização de uma câmara reverberante de pequena dimensão. Neste trabalho avaliam-se os resultados fornecidos através do método da norma ASTM E 1050 e da utilização de uma câmara reverberante de pequena dimensão, de modo a verificar a aplicabilidade de cada um dos métodos na análise de materiais/sistemas construtivos, utilizando amostras de dimensões reduzidas. São testados diversos materiais, sendo os resultados obtidos através do método descrito na norma ISO 354 utilizados como referência.

**Palavras-chave:** Coeficiente de absorção sonora, Tubo de impedância, Câmara acústica reverberante de dimensões reduzidas.

## Abstract

There are, presently, two standard methodologies to obtain the sound absorption coefficient of materials/construction elements in laboratory. One of these methodologies, defined in ISO 354, requires samples with about 10m<sup>2</sup>. Although this method is commonly applied, it requires the use of large quantities of material which may become impractical. As an alternative to this method, the procedure described in the standard ASTM E 1050, makes it possible to estimate the value of the sound absorption coefficient of a material from measurements made with an impedance tube. If on one hand, this method requires the use of small size samples, it does not allow the test of certain systems since the size of the sample is too small. Thus, it may be interesting to use other non-standard tests such as that where a small reverberant acoustic chamber is used. This work aims to evaluate the results provided by the method described in ASTM E 1050 standard and by the small reverberant chamber method, in order to verify the applicability of each method in the analysis of absorbing materials, using small sample sizes. Various materials are tested and the results obtained using the ISO 354 are used as reference for the analysis.

**Keywords:** Acoustic absorption, Impedance tube, Small reverberant acoustic chamber.

## 1 Introdução

O tratamento acústico de espaços fechados debruça-se sobretudo na análise de um conjunto de variáveis, nomeadamente, a geometria do espaço e a capacidade de absorção sonora dos revestimentos. De entre estas, o conhecimento das características acústicas dos revestimentos revela-se essencial para proceder à sua escolha e definição da localização adequada, em função do uso de espaços fechados. A capacidade de absorção sonora de um material é caracterizada pelo seu coeficiente de absorção sonora, que exprime a razão entre a energia sonora absorvida e a energia incidente [1]. A determinação experimental deste parâmetro é geralmente efectuada recorrendo ao método normalizado descrito na norma ISO 354 [2], o qual requer o uso de grandes quantidades de material a ensaiar. Como alternativa, surge a metodologia descrita na norma ASTM E 1050 [3], onde se faz uso de um tubo de impedância de dois microfones, para ensaiar provetes de pequenas dimensões. Contudo, esta metodologia pode não ser aplicável a todos os materiais de construção devido às dimensões da amostra serem bastante reduzidas. Assim, pode recorrer-se a outras metodologias não normalizadas, nomeadamente o método da câmara acústica reverberante de dimensões reduzidas, que permite determinar este parâmetro utilizando provetes de materiais ou sistemas construtivos com dimensões intermédias. No presente trabalho implementam-se metodologias de ensaio experimentais que possibilitem testar amostras de dimensões reduzidas com o objectivo de determinar o coeficiente de absorção de materiais ou sistemas construtivos. Pretende-se verificar a eficiência dos métodos de ensaio, de modo a permitir a realização de análises preliminares de soluções em estudos de desenvolvimento de produtos.

Um dos métodos implementados, o tubo de impedância de dois microfones, foi já alvo de estudo por parte de diversos autores ([4], [5]). A montagem do procedimento experimental requer a utilização de vários equipamentos, nomeadamente, um tubo de impedância, dois microfones e um analisador de frequências digital (FFT). Deste modo foi necessário conceber o tubo de raiz, nomeadamente as suas características geométricas, materiais constituintes e intervalo de frequências de análise, tendo-se optado pela construção de dois equipamentos com geometrias distintas, um de dimensões inferiores para analisar as baixas e médias frequências e um de dimensões superiores para analisar as médias e altas frequências. O segundo método aqui investigado consistiu no estudo de uma câmara reverberante de dimensões reduzidas para avaliar o coeficiente de absorção de materiais de dimensões intermédias. Para ambos os métodos atrás mencionados, foram elaborados vários estudos de modo a verificar quais as melhores condições de ensaio e verificar as diferenças nos resultados.

Ao longo deste artigo apresentam-se as características e especificações relativas aos métodos implementados bem como a respectiva caracterização. São ainda apresentados diversos resultados obtidos utilizando os dois métodos propostos sendo as respostas obtidas utilizando o método normalizado da norma ISO 354 utilizadas como referência. Foram ensaiados diversos materiais de construção, tais como, a espuma de poliuretano, o aglomerado negro de cortiça, a fibra de coco em rolo e em placa.

## 2 Definição dos equipamentos de ensaio

### 2.1 Tubo de impedância

#### 2.1.1 Características e enquadramento com a norma ASTM E 1050

Nesta secção apresentam-se as características dos tubos de impedância construídos no que concerne aos materiais utilizados e à geometria, bem como as indicações definidas na norma de ensaio (ASTM

E1050) relativas às dimensões do tubo a adoptar. Na Figura 1 encontra-se um esquema referente ao modelo de tubo de impedância adoptado neste trabalho.

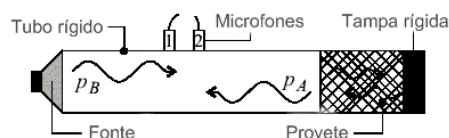


Figura 1: Esquema de um tubo de impedância adoptado[6].

Tendo por base o disposto na norma ASTM E 1050, foram construídos dois tubos de impedância, utilizando os materiais definidos no Quadro 1.

Quadro 1: Materiais utilizados na construção dos tubos.

	Tubo de dimensões inferiores	Tubo de dimensões superiores
Tubo interior	PVC	Acrílico
Isolamento exterior	Betão	Betão
Tampa do tubo	Vidiwall com 20mm de espessura	Vidiwall com 20mm de espessura

No Quadro 2 apresentam-se as características geométricas dos equipamentos construídos. As designações utilizadas neste quadro seguem o esquema apresentado na Figura 1.

Quadro 2: Características geométricas dos tubos de impedância.

	Tubo de dimensões inferiores	Tubo de dimensões superiores
Diâmetro interno (mm)	50	152
Distância entre a fonte e o microfone 1 (m)	0,716	1,170
Espaçamento entre microfones (m)	0.034	0.100
Distância entre o microfone 2 e o provete (m)	0.250	0,430
Comprimento (m)	1,000	1,700
Secção externa do tubo (m)	150x150	220x220

Com as geometrias adoptadas na construção dos tubos, é possível realizar, de acordo com a norma ASTM E 1050, uma análise na gama de frequências descritas no Quadro 3.

Quadro 3: Limites de análise de acordo com a norma ASTM E 1050.

	Limite inferior (Hz)	Limite superior (Hz)
Tubo de dimensões inferiores:	100 Hz	4000 Hz
Tubo de dimensões superiores	34 Hz	1311 Hz

Cada um dos tubos de impedância construídos permite obter os coeficientes de absorção em bandas de terços de oitava, dentro dos intervalos definidos no Quadro 4.

Quadro 4: Intervalo de frequências em análise dos tubos de impedância.

	Intervalo de análise
Tubo de impedância de dimensões inferiores	125 Hz – 4000 Hz
Tubo de impedância de dimensões superiores	100 Hz – 1250 Hz

Na Figura 2, apresenta-se o resultado final do processo de construção dos dois tubos de impedância.



Figura 2: Fotografia dos tubos de impedância, após construção e montagem.

### 2.1.2 Caracterização do tubo de impedância

Na preparação dos equipamentos poderão existir pequenas diferenças nas condições de ensaio, podendo dar origem a diferenças nos resultados. Deste modo após a construção do tubo foi efectuada a sua caracterização, no sentido de definir um procedimento de ensaio adequado a adoptar. As diferentes condições de ensaio analisadas descrevem-se seguidamente, sendo os resultados apresentados na Figura 3. Foi analisada a influência da vedação do tubo, devido à existência de um orifício para alívio da pressão temporária existente, tendo sido realizados ensaios com o orifício fechado e aberto. Avaliou-se ainda a influencia da profundidade dos microfones no interior dos tubos de impedância, tendo sido realizados ensaios para uma posição de referência (posição correspondente à grelha de protecção alinhada na face interior do tubo), e a dois milímetros acima e abaixo desta posição. Esta análise é importante, pois como os microfones não possuem nenhum dispositivo de fixação graduado é difícil para cada ensaio coloca-los na mesma posição. Por último procedeu-se ao estudo do isolamento da fonte sonora, para averiguar a sua possível influência nos resultados. Para tal, foram realizados ensaios com e sem isolamento. Na situação com isolamento recorreu-se à lã de rocha com material isolante.

Para a realização dos ensaios, na caracterização dos tubos de impedância, utilizou-se uma amostra de lã de rocha com 30 mm de espessura ( $\rho=40 \text{ kg/m}^3$ ). Os equipamentos utilizados foram os seguintes: gerador de ruído RG10; dois microfones GRAS Sound & Vibration com pré amplificador; calibrador B&K 4230; amplificador B&K 2716; fonte sonora Pioneer TS-G1010; analisador de sinal de dois canais Symphonie – 01dB e um PC com software dBBATI32 e com programa em Matlab, para tratamento dos resultados.

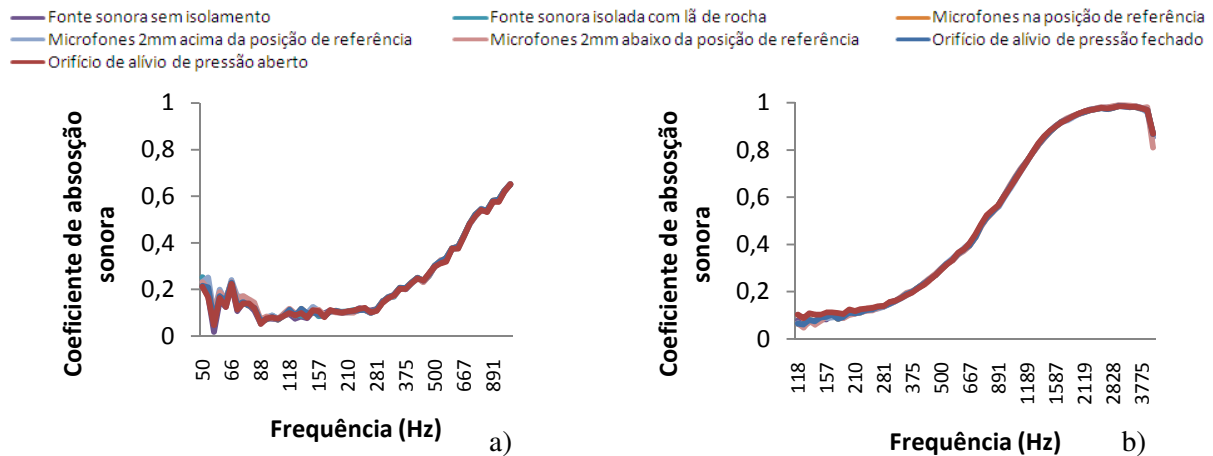


Figura 3: Comparação dos coeficientes de absorção sonora para as diferentes condições de ensaio: a) no tubo de impedância de dimensões superiores; b) no tubo de dimensões inferiores.

Como se pode concluir da análise da Figura 3 os resultados não são influenciados pelas diferentes condições de ensaio consideradas. Logo, não existe necessidade de adoptar cuidados especiais na realização dos mesmos. É de salientar apenas o facto, de que os ensaios realizados com a fonte sonora isolada conferem um maior conforto ao utilizador.

## 2.2 Câmara acústica reverberante de dimensões reduzidas

### 2.2.1 Descrição da câmara

A câmara de dimensões reduzidas existente no Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra (ver Figura 4) apresenta uma forma paralelepípedica com um volume interior de  $2,73 \text{ m}^3$ , com dimensões  $1,4\text{m} \times 1,3\text{m} \times 1,5\text{m}$ . Possui uma porta lateral com dimensões de  $0,5\text{m} \times 0,5\text{m}$  de acesso ao seu interior. O material usado na sua construção foi o betão armado. As paredes laterais e a laje inferior têm uma espessura de  $0,1\text{m}$  e a laje superior possui uma espessura de  $0,06\text{m}$ . A câmara encontra-se assente sobre uma tela de aglomerado de borracha para conferir um isolamento adequado do ambiente exterior. Também a laje superior se encontra isolada da câmara através de aglomerado de cortiça natural com  $5 \text{ mm}$  de espessura. O isolamento dos elementos referidos previne a interferência de ruídos exteriores, melhorando assim o comportamento do método.



Figura 4: Câmara acústica reverberante de dimensões reduzidas.

A existência de campos estacionários associados aos modos próprios de vibração, são responsáveis por uma distribuição não uniforme da energia no interior de um espaço fechado. Desta forma, torna-se necessário determinar quais as frequências onde estes fenómenos ocorrem. Estas frequências encontram-se definidas no Quadro 5.

Quadro 5: Primeiros modos próprios de vibração da câmara acústica reverberante de dimensões reduzidas (Hz) [7].

1º Modo próprio de vibração			2º Modo próprio de vibração			3º Modo próprio de vibração		
$f_{1,0,0}$	$f_{0,0,1}$	$f_{0,0,1}$	$f_{2,0,0}$	$f_{0,2,0}$	$f_{0,0,2}$	$f_{3,0,0}$	$f_{0,3,0}$	$f_{0,0,3}$
122.5	131.9	114.3	245	263.8	228.7	367.5	395.8	343

## 2.2.2 Caracterização da câmara

De modo a definir um procedimento de ensaio, foi necessário compreender o funcionamento da câmara mediante diferentes condições de ensaio. Para tal foram realizados ensaios com diferentes posições de fonte e microfone, diferentes dimensões de amostra bem como diferentes localizações desta, no interior da câmara. Na realização dos ensaios registaram-se dezoito curvas de decaimento recorrendo ao método do ruído interrompido. O equipamento utilizado na determinação do coeficiente de absorção sonora foi: gerador de ruído RG10; um microfone GRAS Sound & Vibration com pré amplificador; calibrador B&K 4230; amplificador B&K 2716; fonte omnidireccional B&K Omni Power 4292; analisador de sinal de dois canais Symphonie – 01dB e um PC com software dBBATI32.

### 2.2.2.1 Influência da posição da fonte e microfone

Esta análise vai permitir determinar as localizações da fonte e do receptor adequados para a realização dos ensaios nesta câmara. Refira-se que devido às dimensões reduzidas da câmara, torna-se conveniente definir um procedimento de ensaio onde se defina uma posição de fonte e de uma posição de microfone.

Para analisar a posição de fonte e receptor determinaram-se os tempos de reverberação da câmara vazia para duas posições de fonte e duas posições de microfone, com as seguintes configurações:

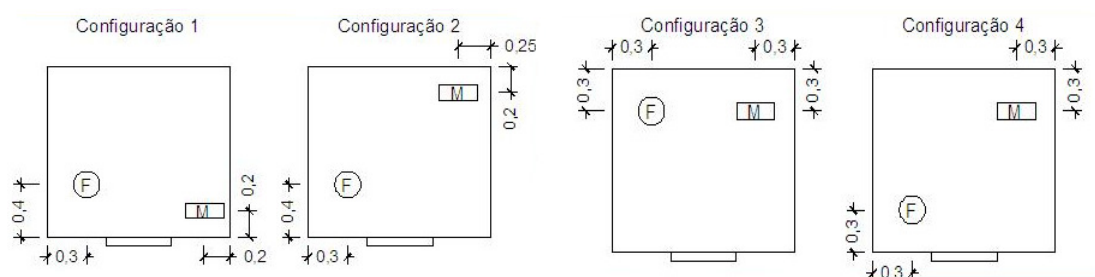


Figura 5: Posições de fonte e microfone consideradas (dimensões em metros).

Os resultados dos tempos de reverberação para cada configuração e respectivos desvios padrão encontram-se na Figura 6.

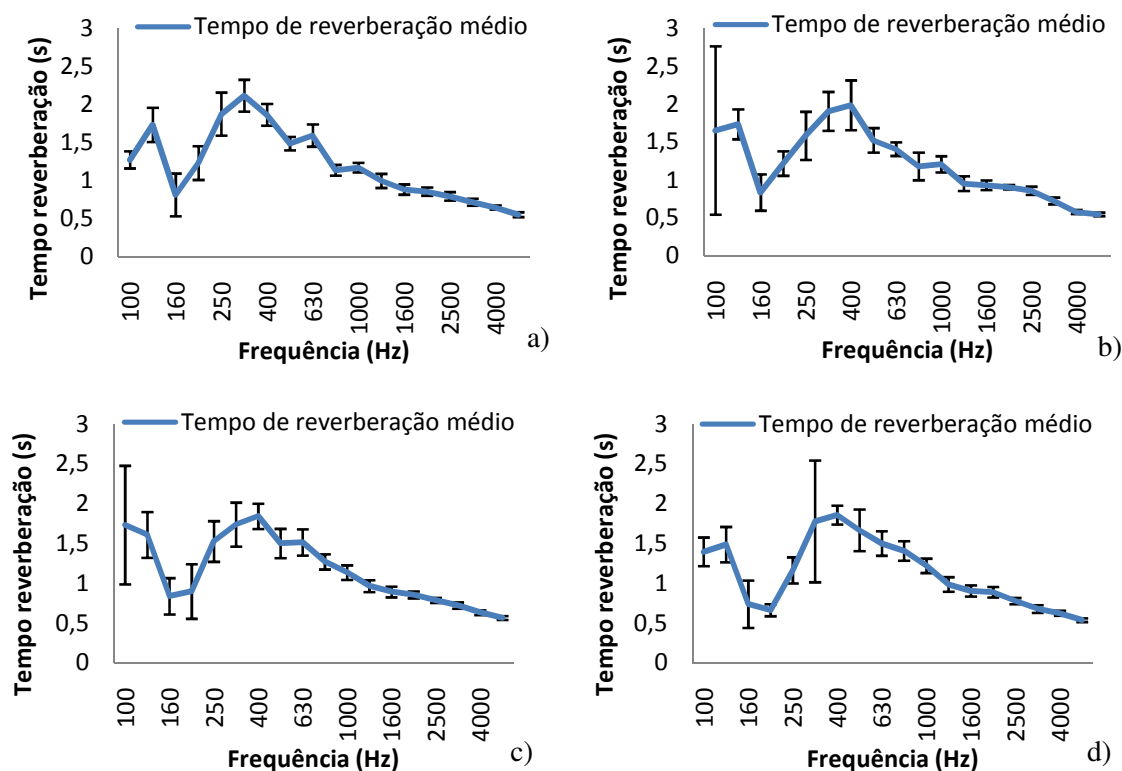


Figura 6: Tempos de reverberação da câmara vazia: a) configuração 1; b) configuração 2; c) configuração 3; d) configuração 4.

Como se pode constatar os desvios padrão nas médias e altas frequências são muito reduzidos, no entanto, nas baixas frequências são muito elevados. Estes resultados justificam-se pelo facto de ocorrerem ressonâncias nas frequências apresentadas no Quadro 5 relativas aos modos próprios de vibração. Tendo em atenção os resultados apresentados, adoptou-se como configuração de ensaio a configuração 1, pois comparativamente a todas as outras configurações, é a que apresenta uma curva com desvios padrão mais reduzidos e uniformes.

### 2.2.2.2 Influência das dimensões da amostra e localização da mesma

Para esta análise determinou-se o coeficiente de absorção sonora recorrendo à fórmula de Sabine. Utilizou-se uma amostra de aglomerado negro de cortiça com dimensões de  $1 \times 0,5 \text{ m}^2$  e  $1 \times 1 \text{ m}^2$  e os ensaios foram realizados com amostras colocadas no pavimento, na parede lateral direita e na parede de fundo da câmara. Na figura seguinte apresenta-se os resultados dos ensaios das diferentes localizações e dimensões da amostra:

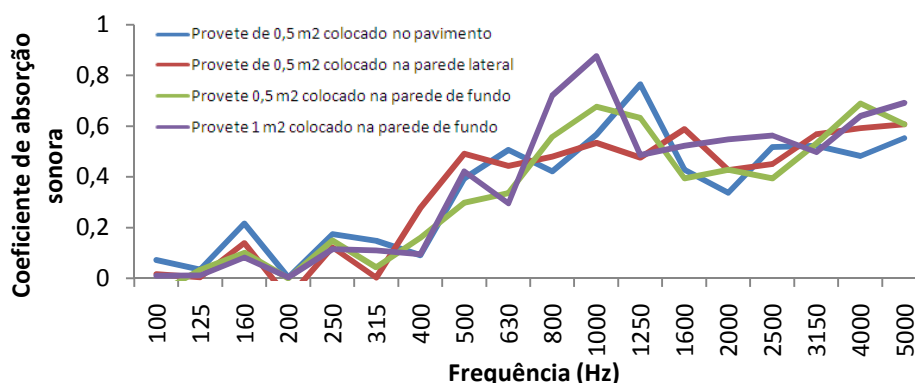


Figura 7: Coeficientes de absorção sonora para as diferentes localizações e dimensões da amostra.

Analisando atentamente a Figura 7, podemos verificar que as curvas relativas às diferentes geometrias dos provetes apresentam resultados aproximados, pelo que distintas dimensões do provete provocam apenas pequenas alterações das curvas de absorção sonora. Relativamente às curvas das várias localizações dos provetes, podemos verificar, que a curva relativa ao provete colocado na parede lateral é a que mais se afasta das restantes, sendo que a colocação de provetes nesta parede, para estas condições não é aconselhada. Os provetes colocados nas paredes de fundo e no pavimento da câmara apresentam resultados aproximados, pelo que a realização dos ensaios poderá ser executada numa qualquer destas posições. Para os ensaios de obtenção do coeficiente de absorção sonora, o provete será colocado no pavimento da câmara, pois nesta solução a fixação é obtida por gravidade, não sendo necessário recorrer a métodos de fixação auxiliares.

### 3 Comparação dos resultados

Nesta secção os resultados obtidos utilizando o tubo de impedância e a câmara acústica reverberante de dimensões reduzidas são comparados. As respostas obtidas utilizando o método normalizado definido na norma ISO 354 são utilizadas como referência.

#### 3.1 Condições de ensaio

Com o objectivo de comparar os métodos, foram realizados ensaios utilizando as amostras definidas no Quadro 6.

Quadro 6: Elementos de materiais de ensaio.

Elemento	Espessura (mm)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
Aglomerado negro de cortiça	30	120
Espuma de poliuretano	5	23
Fibra de coco em placa	25	110/115
Fibra de coco em rolo	20	80/88

A obtenção das curvas de decaimento, para determinar os tempos de reverberação, na câmara reverberante normalizadas, foi realizada recorrendo ao método do ruído interrompido, com um total de dezoito leituras para cada provete de ensaio. Esta premissa segue a indicação da norma ISO 354. As geometrias dos provetes, utilizados na realização de ensaios na câmara acústica reverberante de dimensões reduzidas e na câmara acústica reverberante, encontram-se no Quadro 7 e Quadro 8, respectivamente.



Quadro 7: Características geométricas dos provetes da câmara acústica reverberante de dimensões reduzidas.

Material	Largura (m)	Comprimento (m)	Área (m <sup>2</sup> )
Aglomerado negro de cortiça	0,50	1,00	0,50
Espuma de poliuretano	0,85	1,20	1,20
Fibra de coco em placa	0,63	1,24	0,78
Fibra de coco em rolo	0,70	1,00	0,70

Quadro 8: Características geométricas dos provetes da câmara acústica reverberante.

Material	Largura (m)	Comprimento (m)	Área (m <sup>2</sup> )
Aglomerado negro de cortiça	3,00	3,50	10,50
Espuma de poliuretano	3,15	3,60	11,30
Fibra de coco em placa	3,20	4,80	11,52
Fibra de coco em rolo	3,06	3,28	10,02

### 3.2 Comparação dos diferentes métodos de ensaio

Nesta secção são comparados os coeficientes de absorção sonora dos materiais obtidos mediante as diferentes metodologias de ensaio. Esta comparação tem como objectivo aferir sobre as possíveis diferenças entre os resultados dos diferentes métodos.

Refira-se que a utilização dos dois tubos poderá conduzir, em alguns casos a resultados ligeiramente diferentes na gama de frequências comum. Nestes casos a curva utilizada na comparação com os restantes métodos é uma média dos valores obtidos no intervalo de frequências coincidente. Os resultados encontram-se na Figura 8.

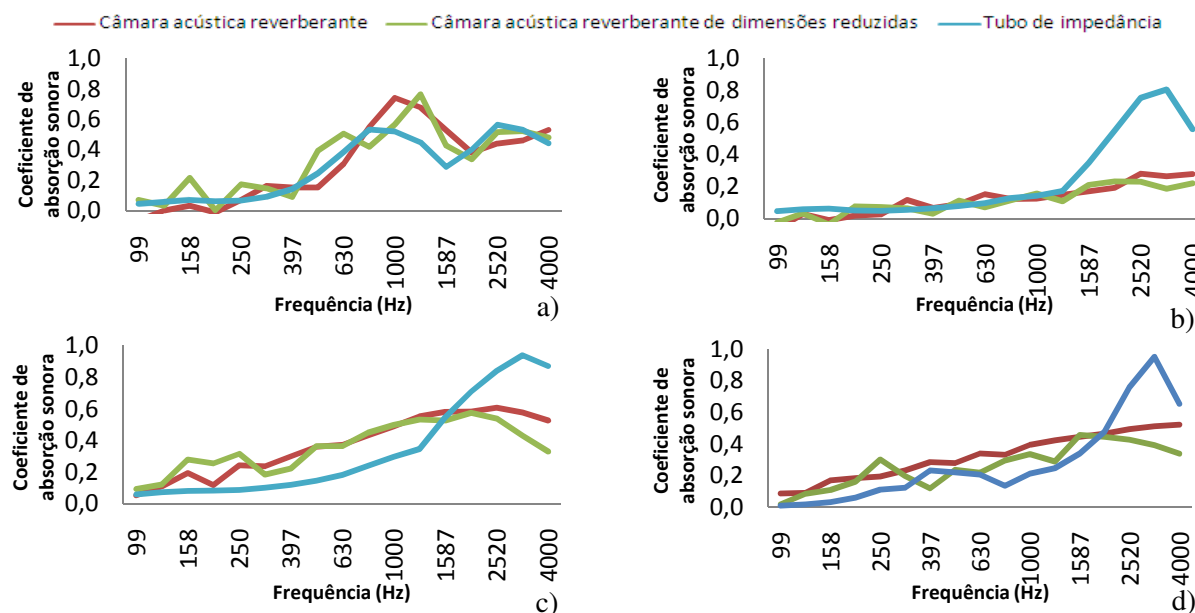


Figura 8: Coeficientes de absorção sonora obtidos pelos diferentes métodos para amostras de: a) aglomerado negro de cortiça; b) espuma de poliuretano; c) fibra de coco em placa; d) fibra de coco em rolo.

Os resultados utilizando os diferentes métodos de ensaio, referentes ao aglomerado negro de cortiça, estão representados na Figura 8a). Nesta figura podemos observar que este material apresenta comportamento aproximado para todos os métodos. Nas baixas frequências, o método da câmara reverberante de dimensões reduzidas apresenta um maior desfasamento nos valores. Esta situação é justificada pelo facto de existirem frequências próprias de vibração para essas frequências. Nas altas frequências, o método do tubo de impedância e o método da câmara acústica reverberante de dimensões reduzidas, produzem resultados muito próximos, apresentando máximos relativos para a mesma frequência.

Na Figura 8b) estão representados os resultados para a espuma de poliuretano. Através da análise destas figuras concluímos que este material possui um comportamento muito semelhante para a gama de frequências 50Hz – 1000Hz em todos os métodos de ensaio. Nas frequências mais elevadas o tubo de impedância destaca-se, fornecendo valores mais elevados do que os restantes métodos de ensaio. Esta situação está relacionada com o facto de o material apresentar melhor comportamento sobre influência de ondas com incidência na direcção normal ao provete. É de referir que as curvas relativas às câmaras acústicas apresentam valores próximos em toda a gama de frequências.

Os resultados relativos à fibra de coco em placa encontram-se na Figura 8 c). Como se pode verificar da observação desta figura, os métodos da câmara reverberante e da câmara reverberante de dimensões reduzidas apresentam resultados bastante próximos. O tubo de impedância traduz resultados elevados para as frequências altas, evidenciando que o material possui maior capacidade de absorção para incidência de ondas com a direcção normal. Observa-se novamente que a câmara reverberante de dimensões reduzidas produz resultados muito próximos da câmara reverberante.

Na Figura 8 d) apresentam-se os resultados da fibra de coco em rolo e revelam mais uma vez que o tubo de impedância fornece valores superiores aos dos restantes métodos para as altas frequências. Nas restantes frequências os resultados, apesar de serem bem visíveis diferenças nos coeficientes de absorção sonora, têm um comportamento aproximado. Uma vez mais, a câmara reverberante de dimensões reduzidas produz resultados muito próximos da câmara reverberante, para toda a gama de frequências.

Conclui-se assim que a utilização quer do método da câmara acústica reverberante de dimensões reduzidas, quer do tubo de impedância permitem verificar que os materiais analisados possuem boa capacidade de absorção nas altas frequências. Verifica-se ainda que o comportamento dos mesmos, em condições de campo difuso e em condições de incidência normal de ondas sonoras, para a gama de frequências 100 Hz – 1250 Hz é idêntico. Para as frequências mais elevadas, a espuma de poliuretano e a fibra de coco, quando submetidos à incidência normal de ondas sonoras conduzem a coeficientes de absorção sonora superiores.

### **3.3 Comparação dos materiais de ensaio para cada método**

Nesta secção procede-se à comparação dos materiais para cada método de ensaio. O objectivo desta comparação é identificar quais os materiais que apresentam melhor absorção sonora, para as várias gamas de frequência e verificar se esse comportamento se manifesta para todas as metodologias de ensaio. Os resultados desta comparação encontram-se na Figura 9.

Na Figura 9 a), estão representados os resultados relativos aos ensaios na câmara acústica reverberante. Para toda a gama de frequências podemos verificar que a espuma de poliuretano se destaca dos restantes materiais, fornecendo os resultados mais baixos para a absorção sonora. Nas gamas de frequências 100Hz – 500Hz e 1600Hz – 4000Hz, o material que possui maior absorção sonora é a fibra de coco em placa, seguido da fibra de coco em rolo e do aglomerado negro de cortiça. Nas frequências situadas no intervalo 500Hz – 1600Hz, o aglomerado negro de cortiça destaca-se como sendo o material mais absorvente.

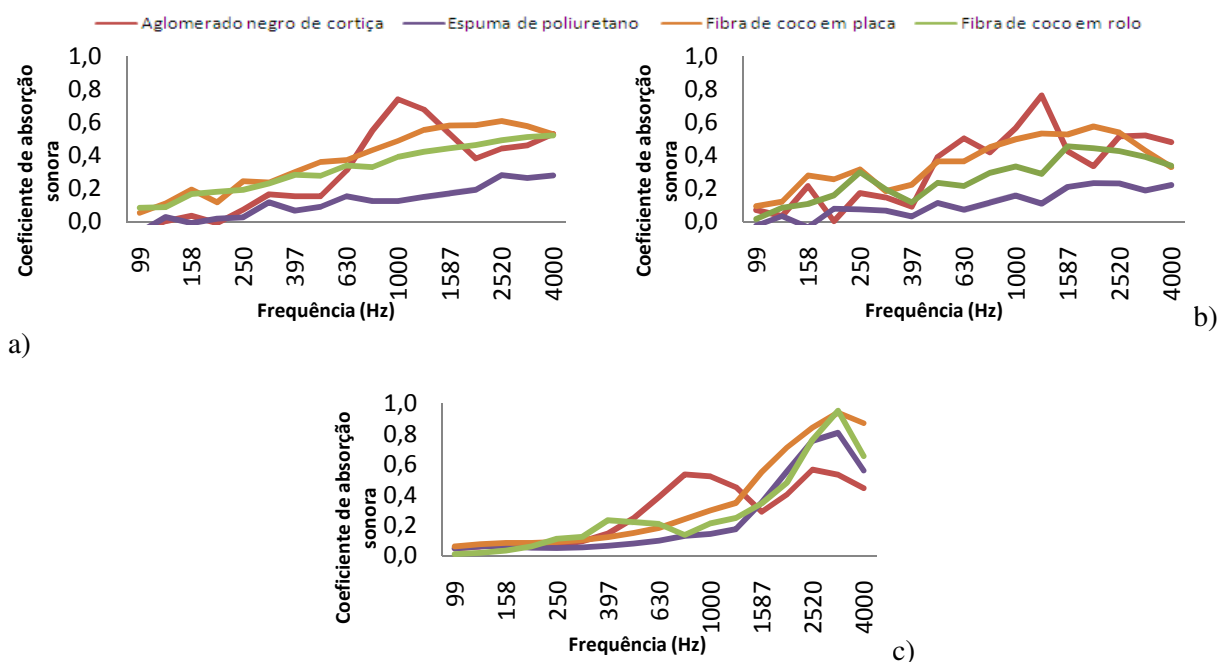


Figura 9: Coeficientes de absorção sonora para os diferentes materiais utilizando: a) câmara acústica reverberante; b) câmara acústica reverberante de formato reduzido; c) tubo de impedância.

A câmara acústica reverberante de dimensões reduzidas, como se pode verificar na Figura 9 b), traduz conclusões próximas às obtidas na câmara acústica reverberante. Mais uma vez, pode-se visualizar, que para toda a gama de frequências, o material com absorção sonora mais baixa é a espuma de poliuretano. Para esta metodologia de ensaio, no intervalo de frequências 100Hz – 400Hz, a fibra de coco em placa apresenta melhores resultados, seguido da fibra de coco em rolo e do aglomerado negro de cortiça. Nas frequências 500Hz – 1300Hz e 3150Hz – 4000Hz, o aglomerado negro de cortiça revela melhor capacidade absorvente seguido da fibra de coco em placa e da fibra de coco em rolo.

Os resultados conferidos pelo método do tubo de impedância, representados na Figura 9 c), mostram, que, para as baixas frequências, os resultados são idênticos. Nas médias frequências temos que o material mais absorvente é o aglomerado negro de cortiça, seguido da fibra de coco em placa, da fibra de coco em rolo e da espuma de poliuretano. Para as altas frequências a espuma de poliuretano destaca-se, revelando uma absorção superior ao aglomerado negro de cortiça e apresentando uma absorção muito próxima da fibra de coco em rolo. O material que possui melhor absorção para estas frequências é a fibra de coco em placa.

Podemos concluir, que todas as metodologias de ensaio, permitem chegar a conclusões aproximadas relativamente à eficácia dos materiais. Salientam-se, no entanto, duas situações: a espuma de poliuretano, que no tubo de impedância para as altas frequências se comporta, como não sendo o material com absorção mais baixa; o aglomerado negro de cortiça, que na câmara acústica reverberante de dimensões reduzidas, para as altas frequências, se apresenta como o melhor material em termos de absorção sonora.

## 4 Conclusão

Neste trabalho foram analisadas duas metodologias para a determinação do coeficiente de absorção sonora. A aplicabilidade destes métodos foi verificada, recorrendo ao método da câmara reverberante definido na norma ISO 354.

Um dos métodos usados foi o do tubo de impedância, descrito na norma ASTM E 1050. Para a sua implementação, foi necessário construir todo o dispositivo de ensaio e proceder à sua caracterização. Relativamente ao procedimento de ensaio, verificou-se que para várias condições de ensaio, nomeadamente a profundidade dos microfones e o isolamento da fonte sonora, produzem variações muito reduzidas nos resultados. Relativamente à caracterização dos materiais, verificou-se que os materiais fibrosos e a espuma de poliuretano, apresentam uma capacidade absorvente elevada nas altas frequências, comparativamente com a utilização dos outros dois métodos de ensaio. Desta forma verifica-se, que o tipo de campo sonoro estabelecido influencia o comportamento dos materiais.

O recurso ao método do tubo de impedância, nas baixas frequências revelou que os materiais ensaiados, produzem resultados idênticos e com valores muito baixos, podendo a sua caracterização nesta gama de frequências, ser desprezada. Apesar destes aspectos, este método possibilita de uma forma rápida, simples e económica, obter resultados que permitem a caracterização dos materiais de uma forma aproximada.

O método da câmara reverberante de dimensões reduzidas, revelou-se um método bastante atractivo, pois permitiu obter coeficientes de absorção sonora bastante próximos, dos do método definido na norma ISO 354, no entanto, esta metodologia revelou algumas limitações, nomeadamente, a dificuldade em estabelecer um campo difuso no interior da câmara.

Conclui-se portanto, que com a utilização dos dois métodos analisados é possível a caracterização preliminar de materiais e soluções construtivas, podendo tornar o seu desenvolvimento um processo mais eficiente. Registe-se também que estes métodos de ensaio requerem uma menor utilização de recursos, tornando-os economicamente interessantes.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Amorim Isolamentos, S.A. pela cedência dos materiais ensaiados.

## 5 Bibliografia

- [1] Tadeu, A., Mateus, D., António, J., Godinho, L., Mendes, P. (2007). “Acústica Aplicada”. Laboratório de Construções, DEC-FCTUC, Coimbra.
- [2] NP EN ISO 354 (2007). “Acústica – Medição da Absorção Sonora em Câmara Reverberante”.
- [3] ASTM E 1050 (1998). “Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using A Tube, Two Microphones and A Digital Frequency Analysis System”.
- [4] Seybert, A, Ross, D. (1977). “Experimental determination of acoustic properties using a two-microphone random-excitation technique”. The Journal of the Acoustical Society of America Vol. 61, Issue 5, pp. 1362-1370.
- [5] Chung, J., Blaster D. (1980). “Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. II. Experiment”. Journal of the Acoustical Society of America Vol. 68, Issue 3, pp. 914-921.
- [6] de Bree, H-E., van der Eerden, F., van Honschoten, J. (2000). “A novel technique for measuring the reflection coefficient of sound absorbing materials”, ISMA25, International Conference on Noise and Vibration, Leuven, Belgium.
- [7] Masgalos, R. (2008). “Análise de um Sistema de Dimensões Reduzidas para Ensaio de Isolamento a Sons de Percussão”, dissertação de Mestrado Integrado, FCTUC.