

Isolamento acústico conferido por divisórias leves em gesso cartonado. Resultados experimentais versus teóricos.

Diogo Mateus, Julieta António, António Tadeu

Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Pólo II - 3030-290 Coimbra, Portugal

RESUMO: O presente trabalho centra-se fundamentalmente no estudo do isolamento acústico conferido por divisórias leves em gesso cartonado, quer através da análise experimental efectuada em laboratório quer por via teórica, através de métodos simplificados e de modelos analíticos. São estudadas divisórias simples, com um único painel de gesso (BA13) e com dois painéis sobrepostos (2BA13), e divisórias duplas, constituídas por dois painéis (BA13+BA13), três painéis (2BA13+BA13 e BA13+2BA13) e quatro painéis (2BA13+2BA13). Nas divisórias duplas são ainda consideradas variáveis a espessura da caixa de ar e a presença de material absorvente na caixa de ar. Os resultados da análise experimental são apresentados em bandas de 1/10 de oitava. Adicionalmente, são analisados os índices globais de isolamento correspondentes a cada solução.

ABSTRACT: This work studies the acoustic insulation provided by lightweight gypsum panels. Results provided by laboratory measurements, simplified expressions and also by analytical models are discussed. The analysis is performed for single partitions, built with single panels (BA13), two adjacent panels (2BA13), and double partitions, made with two panels (BA13+BA13), three panels (2BA13+BA13 and BA13+2BA13) and four panels (2BA13+2BA13). In the case of double partitions, variables such as the thickness of the air gap and the presence of porous material are analysed. The experimental results regarding sound insulation are given for 1/10 octave bands. In addition, single number quantities corresponding to each solution are presented.

1. INTRODUÇÃO

O isolamento sonoro entre dois compartimentos depende de um conjunto alargado de variáveis, que abrangem não só o elemento de separação directo, se os compartimentos forem contíguos, como também os restantes elementos envolventes de cada um dos compartimentos [1]. Mesmo na situação mais simples, em que as transmissões ocorrem essencialmente através do elemento de separação, o isolamento depende ainda de um número elevado de variáveis, nomeadamente a massa, a rigidez, o amortecimento, a frequência do som e a localização e natureza da fonte. No caso de elementos de separação múltiplos, o isolamento depende ainda do número de camadas, das suas propriedades individuais e da forma de ligação entre si.

Com a aplicação cada vez mais generalizada de elementos de construção aligeirados em edifícios, nomeadamente como elementos de compartimentação interiores, torna-se cada vez mais relevante aprofundar o estudo da sua capacidade de isolamento sonoro. Muitas vezes, devido ao modo como estes elementos aparecem aplicados em obra, o isolamento sonoro por eles conferido é relativamente baixo. Contudo, para separações entre compartimentos compostas por elementos constituídos por duas ou mais camadas, através de condições específicas de apoio e de montagem, é possível melhorar significativamente o isolamento

sonoro, mesmo quando a massa dos elementos de separação é reduzida. Para estes casos, os modelos simplificados de previsão de isolamento, nomeadamente os que consideram apenas como variáveis a massa e a frequência do som, podem conduzir a resultados de isolamento substancialmente inferiores aos valores reais, em especial para condições de apoio e de montagem melhoradas.

Deste modo, considerou-se oportuno o desenvolvimento do presente trabalho, que tem como objectivo principal o estudo experimental do isolamento acústico conferido por divisórias leves em gesso cartonado. Como complemento a este estudo experimental serão ainda apresentados resultados teóricos, obtidos através de um modelo analítico, proposto recentemente por uma equipa de investigadores do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Universidade de Coimbra [2], e através do modelo proposto por Sharp [3]. Os resultados apresentados neste trabalho fazem parte de um estudo mais alargado que deu corpo a uma tese de doutoramento desenvolvida recentemente no DEC [4].

2. CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Os resultados experimentais apresentados neste trabalho foram obtidos em duas câmara acústicas existentes no DEC (ver Figura 1). Dado o elevado número de ensaios efectuados no âmbito da tese de doutoramento anteriormente referida, aliada à necessidade de avaliação da influência da área do provete de ensaio no isolamento sonoro, optou-se por fechar parcialmente a área disponível para ensaios entre câmaras ($3.65 \times 2.70 \text{ m}^2$) com uma parede dupla de massa muito elevada e com isolamento acústico previsivelmente muito superior ao dos provetes a ensaiar (parede dupla de blocos de betão maciços, com cerca de 1000 kg/m^2), e por ensaiar provetes com áreas substancialmente inferiores à área “normalizada” de 10 m^2 . Para o total dos ensaios efectuados no âmbito da tese de doutoramento, anteriormente referida, foram consideradas dimensões de ensaio de $0.60 \times 0.60 \text{ m}^2$, $1.20 \times 0.60 \text{ m}^2$, $1.20 \times 1.20 \text{ m}^2$, $1.80 \times 1.80 \text{ m}^2$ e, para um número reduzido de ensaios, $3.65 \times 2.70 \text{ m}^2$. Para este trabalho são apresentados apenas resultados para a área de ensaio de $1.20 \times 1.20 \text{ m}^2$, que correspondeu à área de ensaio com resultados mais relevantes para o caso dos provetes em gesso cartonado.

A cadeia de medida utilizada era constituída por três partes essenciais: transdutores, amplificadores de sinal e sistema de aquisição e tratamento de dados. Os transdutores utilizados corresponderam a microfones de modelos e marcas diferentes: um do tipo 4155, com pré-amplificador do tipo 2671, da marca "Brüel & Kjaer" e outro do tipo 40AF, com pré-amplificador do tipo 26AK, da marca "GRAS – Sound & Vibration". O condicionamento do sinal registado foi efectuado por dois equipamentos diferentes: o condicionador do tipo 2525, da marca "Brüel & Kjaer", para o caso do microfone do tipo 4155, e o próprio analisador que permitiu a aquisição e tratamento de dados, no caso do microfone do tipo 2671. O analisador de aquisição e tratamento de dados utilizado era constituído por dois canais, modelo SYMPHONIE, da marca "01dB – MVI technologies group". Para produção do ruído de “teste” foi utilizada uma fonte sonora omni-direccional dodecaédrica, modelo DO12, da marca "01dB – MVI technologies group", ligada a um amplificador do tipo M700 com 600W de potência e um gerador de Ruído Branco do tipo RG-10.

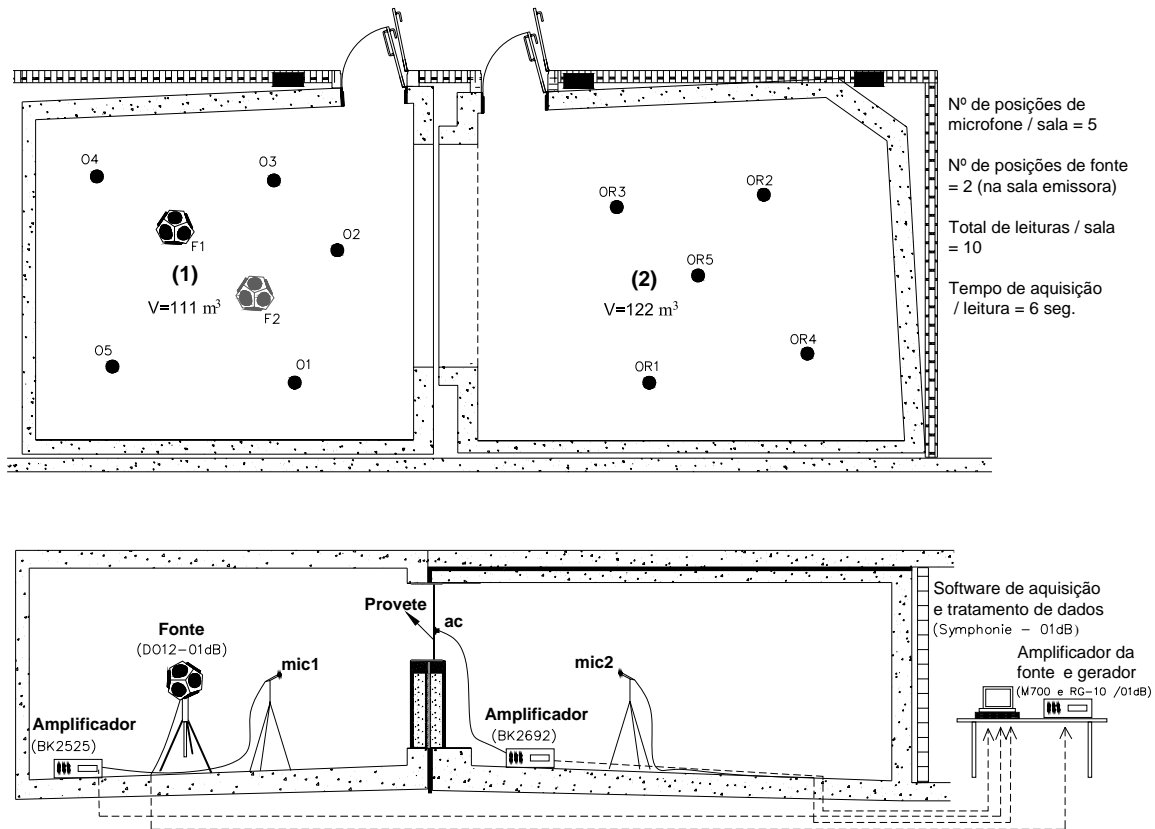


Figura 1 – Esquema em corte e em planta das câmaras de ensaio com o equipamento de medição utilizado

3. TIPO DE SOLUÇÕES TESTADAS E PARÂMETROS CONSIDERADOS NA MODELAÇÃO TEÓRICA

Nos ensaios referenciados neste trabalho foram utilizados elementos com panos simples e duplos, constituídos por painéis de gesso cartonado com 13mm de espessura, ensaiados com área de 1.20x1.20 m². Dentro dos panos simples foram consideradas duas soluções: uma placa simples de gesso cartonado (BA13) e duas placas sobrepostas de gesso cartonado (2BA13). Nos elementos duplos foram utilizadas duas placas (BA13+BA13), três placas (2BA13+BA13 e BA13+2BA13) e quatro placas (2BA13+2BA13). As caixas de ar consideradas foram de 48 e 110mm de espessura, com e sem material absorvente no seu interior, sem ligação entre panos. Na prática, em divisórias gesso cartonado, a caixa de ar de 48mm é frequentemente utilizada, mas normalmente com ligação rígida entre panos de gesso, através de montante metálico (habitualmente com largura de 46 ou 48mm). A aplicação em obra de panos independentes, sem ligação acaba por ser geralmente viável com caixas de ar



de maior espessura, por exemplo com caixa de ar de 110mm, que permite a aplicação de duas estruturas independentes separadas cerca de 15mm.

Na modelação teórica, foi considerado como meio fluido, a envolver o provete e no interior da(s) caixa(s) de ar dos elementos múltiplos, o ar, com massa volúmica $\rho = 1.22 \text{ kgm}^{-3}$ e uma constante de Lamé $\lambda_f = 141.032 \text{ kgs}^{-2}\text{m}^{-1}$, ao qual corresponde uma velocidade de propagação de ondas acústicas $c = 340 \text{ ms}^{-1}$. No caso dos provetes com material absorvente sonoro na caixa de ar, foram considerados valores de resistividade do fluxo de $k_R = 1000 \text{ kgm}^{-3}\text{s}^{-1}$ e $k_R = 370 \text{ kgm}^{-3}\text{s}^{-1}$ respectivamente para caixas de ar com 48 mm e com 110 mm, com uma placa de lã de rocha de 3cm de espessura com massa volúmica de 70 kg/m^3 . Para as propriedades do gesso cartonado foram considerados os seguintes valores: módulo de elasticidade $E = 2.5 \text{ GPa}$; coeficiente de Poisson $\nu = 0.27$; massa volúmica $\rho = 780 \text{ kg/m}^3$ e factor de perdas $\eta = 0.02$, com excepção dos elementos duplos no modelo de Sharp onde foi considerado $\eta = 0.1$.

4. SISTEMA DE AQUISIÇÃO E DE TRATAMENTO DE DADOS

Conforme já referido, para aquisição e tratamento de dados foi utilizado um analisador de dois canais, modelo SYMPHONIE, com aquisição simultânea nas câmaras emissora e receptora. De uma forma geral, este sistema, ligado aos microfones e respectivos pré-amplificadores e/ou amplificadores, permite a obtenção de níveis de pressão sonora e dos tempos de reverberação, permitindo mesmo a obtenção do índice de redução sonora, através do software “dBBATI32”. Contudo, dada a necessidade de avaliação em bandas de frequência muito estreitas, foi utilizado este sistema apenas para gravação áudio, tendo sido posteriormente utilizado software específico, desenvolvido no DEC, que permitiu a determinação dos níveis de pressão sonora e os tempos de reverberação em bandas de frequência de 1/n de oitava. Para o efeito, foi efectuada a aquisição do sinal com uma frequência de 51.2 kHz por canal (durante seis segundos por leitura), e foi guardado no disco do computador através de software específico deste analisador (dBBATI32). Dado terem sido consideradas no sistema as características de sensibilidade dos transdutores e de amplificação nos condicionadores de sinal, ajustados após calibração da cadeia de medida, o sinal gravado (recebido em Volts) encontra-se já convertido em Pa, no caso dos microfones, e em m/s², no caso dos acelerómetros.

A partir do conteúdo do sinal registado no tempo, com uma aquisição de 51.2 kHz por canal, durante seis segundos por leitura por ponto, foi obtido o correspondente sinal em frequência através da transformada rápida de Fourier (FFT) e posteriormente convertido em bandas de frequência de 1/10 e 1/3 de oitava.

A determinação dos tempos de reverberação foi efectuada através de dois processos: um processo directo através do analisador Symphonie e do próprio programa de cálculo automático (dBBATI32) onde foram obtidos os tempos de reverberação em bandas de 1/3 de oitava; e um “processo indirecto” que recorre à gravação áudio, onde para cada medição,

após a interrupção da fonte sonora, foram registadas 307200 leituras durante 6 segundos, o que permitiu obter os tempos de reverberação em bandas de frequência de 1/10 de oitava.

Neste “processo indirecto”, ao sinal adquirido pelo sistema (sinal no tempo) foi aplicada a transformada rápida de Fourier e obtido o sinal correspondente no domínio da frequência. A este sinal foram aplicados filtros do tipo Band-pass.

Após a aplicação dos filtros ao sinal adquirido (no domínio da frequência), foi aplicada a transformada inversa de Fourier e obtido o sinal filtrado no tempo, que permitiu posteriormente a obtenção do tempo de reverberação na banda de frequências correspondente ao filtro utilizado. O tempo de reverberação, obtido em relação a cada resposta de sinal no tempo filtrada, foi calculado através da integração da energia sonora, usando a aproximação de Schroeder [5], depois de aplicada a escala logarítmica e normalizados os resultados em relação à pressão de referência (2E-5Pa).

A determinação do índice de redução sonora R (em bandas de 1/10 e 1/3 de oitava) bem como o correspondente índice global de isolamento R_w (e respectivos termos de adaptação C , C_{tr} , calculados apenas a partir da curva R em bandas de 1/3 de oitava) foi efectuada através do método ISO/CEN, de acordo com as normas EN ISO 140-3 e ISO 717-1 [6, 7].

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS VERSUS TEÓRICOS

Na Figura 2 são apresentadas três curvas de isolamento sonoro obtidas para um painel de gesso cartonado simples, com 13 mm espessura: uma curva correspondente ao índice de redução sonora, obtido experimentalmente; e duas curvas teóricas previstas através do modelo de Sharp e do modelo analítico. A Figura 3 apresenta o mesmo tipo de curvas, mas para um elemento duplo com dois painéis de gesso cartonado separados com caixa de ar de 48mm, com e sem absorção sonora no interior da caixa de ar.

Na Figura 4 são comparadas as curvas do índice de redução sonora obtidas para as diferentes soluções de elementos duplos com dois, três e quatro painéis de gesso cartonado e com lã de rocha de 70 kg/m^3 de massa volúmica no interior da caixa de ar.

Nas Figuras 5 e 6 são apresentados os índices globais de isolamento (R_w , R_w+C e R_w+C_{tr}), obtidos a partir das curvas de isolamento teóricas (previstas pelo modelo analítico), para caixas de ar a variar entre 40 e 300 mm. Todas as soluções consideradas são constituídas por dois painéis de gesso sobrepostos, uma caixa de ar com absorção sonora, sem ligação rígida entre panos, e outros dois painéis de gesso sobrepostos. Para o efeito foi admitido que no primeiro caso (Figura 5a) a caixa de ar estava totalmente preenchida com um material absorvente de $k_R=1000 \text{ kgm}^{-3}\text{s}^{-1}$ (que corresponde aproximadamente a uma lã de rocha de 50 kg/m^3), enquanto que no segundo caso (Figura 5b), foi considerada uma resistividade variável, determinada com base nas fórmulas propostas por Beranek [1], equivalente a uma única camada de lã de rocha de 70 kg/m^3 de massa volúmica com 40 mm de espessura.

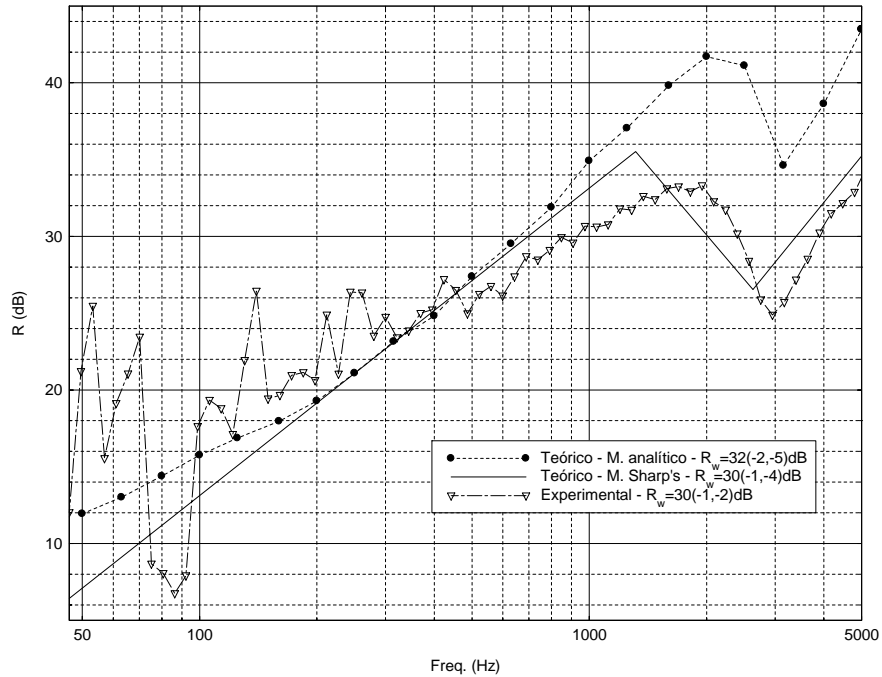


Figura 2 – Índice de redução sonora e isolamento teórico, considerando um painel em gesso cartonado com 13 mm de espessura

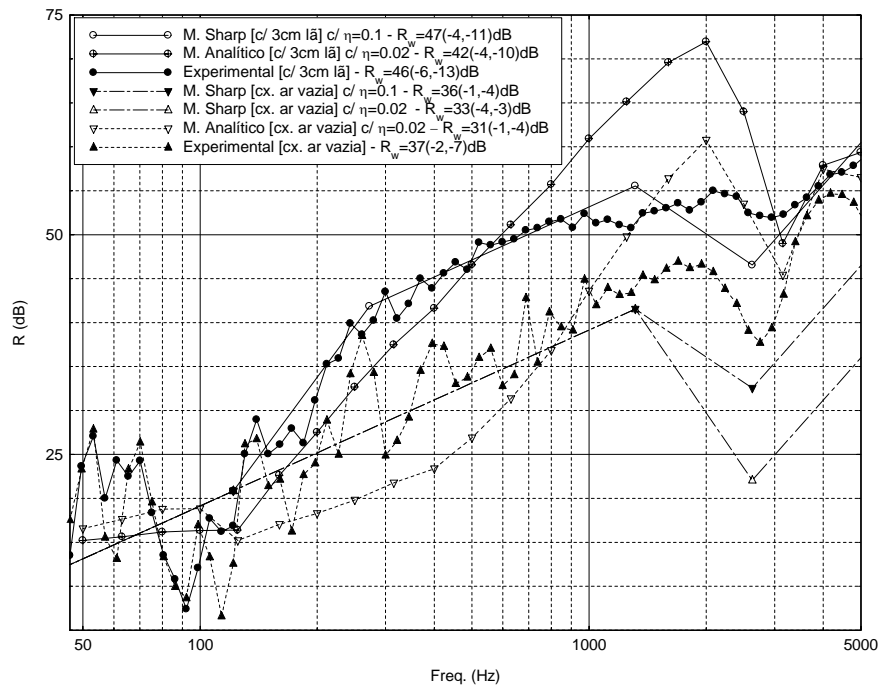


Figura 3 – Índices de redução sonora e curvas de isolamento teórico, para um elemento duplo com BA13+BA13 separados com caixa de ar de 48mm, com e sem absorção sonora

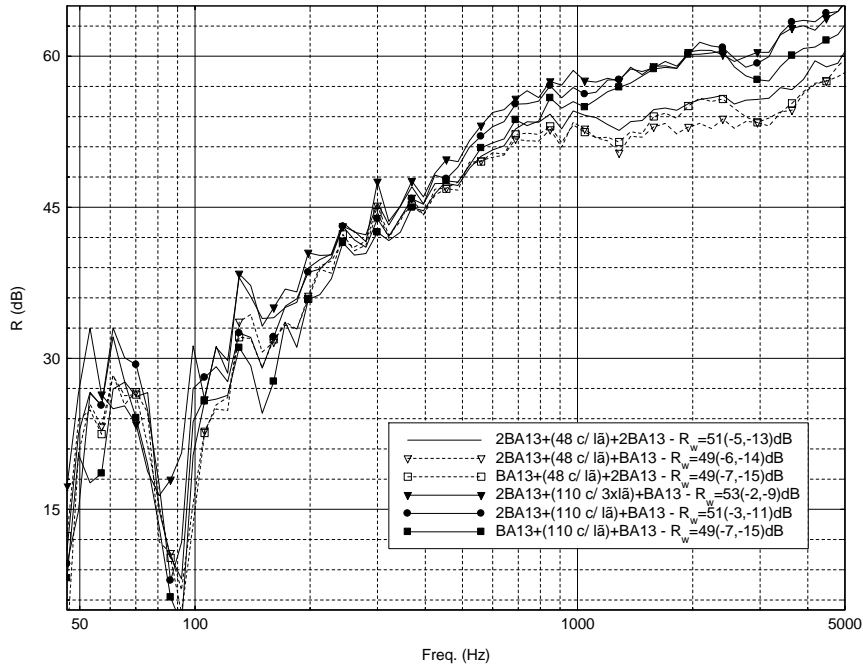


Figura 4 – Índices de redução sonora obtidos para seis tipos de elementos duplos: BA13+(48 c/lã)+2BA13; 2BA13+(48 c/lã)+BA13; 2BA13+(48 c/lã)+2BA1; BA13+(110 c/lã)+BA13; 2BA13+(110 c/lã)+BA13 e 2BA13+(110 c/3xlã)+BA13.

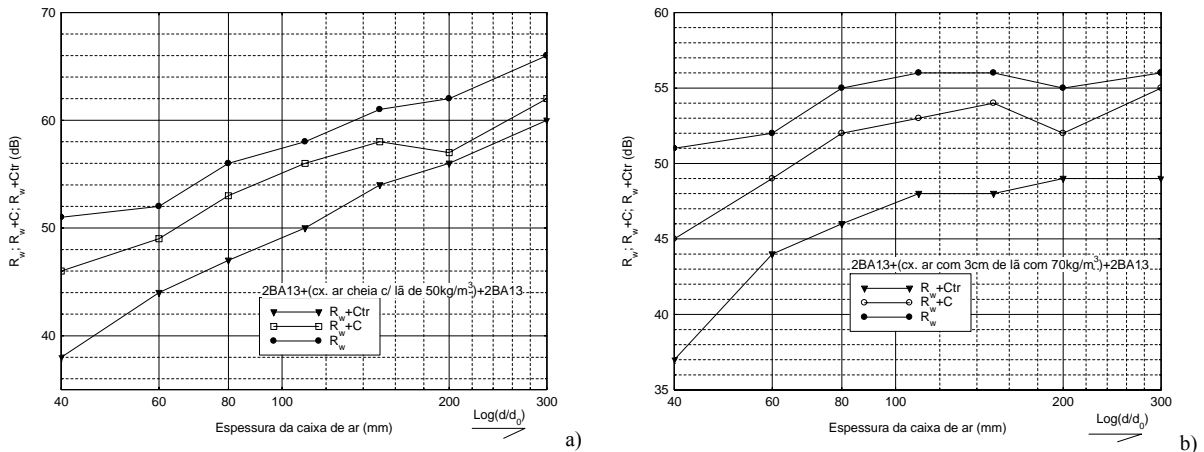


Figura 5 – Índices globais de isolamento, obtidos através do modelo analítico, para a solução de 2BA13+(cx. Ar)+2BA13, variando a espessura da caixa de ar: a) considerando k_R constante; b) considerando uma redução de k_R com o aumento de espessura da caixa de ar.

6. CONCLUSÃO

Da análise dos resultados apresentados é possível detectar a forte influência dos primeiros modos próprios de vibração das câmaras nas baixas frequências (em especial para frequências inferiores a 100 Hz).

Da comparação entre os resultados de isolamento sonoro teóricos e experimentais, é possível verificar que para elementos ensaiados ambos os modelos teóricos conduziram a resultados próximos dos experimentais, verificando-se apenas desvios mais relevantes na gama de frequência influenciada pelo efeito de coincidência, em especial para elementos duplos. No caso do modelo de Sharp esta aproximação melhora significativamente quando se utilizam valores de η superiores aos propostos na bibliografia.

O aumento do número de painéis, tal como seria de esperar, conduz a um aumento gradual do isolamento sonoro e reduz o efeito de coincidência, que no caso das soluções com absorção sonora na caixa de ar fica praticamente imperceptível.

O aumento da espessura da caixa de ar, apesar de poder originar quebras adicionais de isolamento em frequência, devido às frequências de ressonância da caixa de ar, conduziu, de um modo geral, a um aumento global do isolamento sonoro, em especial para as situações com material absorvente no interior da caixa de ar. Este aumento de isolamento é muito mais pronunciado se, para além do aumento da espessura da caixa de ar, ocorrer igualmente um aumento da quantidade de material absorvente. Para a situação em que a quantidade de material absorvente sonoro cresce proporcionalmente à espessura da caixa de ar, verificam-se aumentos dos índices globais de isolamento próximos ou superiores a 5 dB por duplicação da espessura da caixa de ar (cerca de 5 dB no caso dos índices R_w e R_w+C e cerca de 7 dB no índice R_w+C_{tr}). Para as situações em que a quantidade total de material absorvente é fixa, com o aumento da espessura da caixa de ar verifica-se apenas um aumento significativo dos índices de isolamento para espessuras até cerca de 110 mm.

REFERENCIAS

- [1] L. Beranek e I. Vér, *Noise and Vibration Control Engineering*, Wiley, New York, 1992.
- [2] J. António, A. Tadeu e L. Godinho; *Analytical evaluation of the acoustic insulation provided by double infinite walls*. Journal of Sound and Vibration, Vol. 263 (1), 2003, 113-129.
- [3] B. H. Sharp; *Prediction methods for the sound transmission of building elements*. Noise Control Engineering Journal, Vol. 11(2), 1978, 53-63.
- [4] D. Mateus; *Isolamento Acústico de Elementos de Compartimentação Leves em Edifícios*. Tese de Doutoramento, DEC-FCTUC, Coimbra, 2004 (a aguardar defesa).
- [5] M. R. Schroeder; *Integrated-Impulse Method Measuring Sound Decay Without Impulses*. Journal Acoust. Soc. Am., 1979, Vol. 66(2), pp. 497-500.
- [6] CEN: *Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Laboratory measurement of airborne sound insulation of building elements*, EN ISO 140-3, 1995.
- [7] CEN: *Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation*, EN ISO 717-1, 1996.