

Comportamento acústico de paredes de alvenaria, na presença de pequenas aberturas e diferentes inclusões

Adriano Pião¹, Luís Godinho², António Tadeu²

¹ *Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Oliveira do Hospital*

² *Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra*

Resumo

Em grande parte da construção efectuada no nosso país, recorre-se ao uso de alvenarias de tijolo, com diferentes espessuras e dimensões. Embora existam já alguns estudos de caracterização destes elementos do ponto de vista mecânico, térmico ou até acústico, a sua heterogeneidade e os diferentes modos de execução destas soluções tornam extremamente difícil uma definição objectiva e inequívoca do seu comportamento. Esta dificuldade coloca-se ainda mais quando se pretende conhecer o isolamento acústico a sons aéreos proporcionado por estes elementos, uma vez que pequenas alterações das características dos materiais, da forma como a solução é executada ou das condições locais de aplicação podem conduzir a variações significativas no seu comportamento. Em muitos casos, verifica-se ainda que os elementos de construção apresentam inclusões embebidas no seu interior, nomeadamente pertencentes a instalações técnicas de águas, esgotos ou electricidade. Estes elementos, que constituem parte integrante e necessária do edifício, poderão, em algumas circunstâncias, influenciar determinadamente o isolamento proporcionado por um elemento de separação.

No presente trabalho, pretende-se avaliar qual a influência que este tipo de heterogeneidades poderá ter no comportamento global de um elemento de separação. Assim, optou-se, pela realização de um estudo experimental, recorrendo a um conjunto de ensaios em laboratório onde se testa, individualmente, cada uma das situações a analisar, nomeadamente paredes simples e duplas, com diferentes tipos de heterogeneidades: uma pequena abertura, ou um elemento pertencente às instalações técnicas do edifício, tais como um quadro eléctrico; um carretel de incêndio ou um tubo de queda.

1 Introdução

Duas das variáveis fundamentais que afectam o isolamento acústico são a massa e a frequência. Num elemento de massa constante, ao aumento da frequência do som incidente está associado um aumento do isolamento acústico devido ao menor poder de vibração do elemento e com conseqüente aumento da dissipação de energia. Da mesma forma com o aumento da massa de um elemento, o isolamento sonoro também aumenta devido ao aumento das forças de inércia.

Existem, no entanto, outras variáveis que podem afectar o isolamento acústico de um elemento de separação, nomeadamente a existência de pontos fracos no elemento de separação, o ângulo de incidência das ondas, a rigidez, e, no caso de o elemento ser constituído por várias camadas, dever-se-á também ter em conta o número destas, as suas características e a distâncias entre elas.

O isolamento sonoro aos sons aéreos entre dois espaços interiores, ou entre um espaço interior e o exterior, depende, não só, das características do elemento de separação, como também da presença de descontinuidades. É frequente nos elementos de construção, e em particular nas paredes de alvenaria de tijolo, a existência de diferentes tipos de inclusões no seu interior, nomeadamente os pertencentes às instalações de águas, esgotos ou electricidade. A presença destes elementos, poderá alterar significativamente o isolamento conferido por estas. Assim, um dos objectivos do presente estudo é, precisamente, avaliar qual a influência que este tipo de heterogeneidades poderá ter no comportamento global de um elemento de separação. A modelação teórica destas descontinuidades revela-se extremamente complexa, deixando os modelos tradicionais de fornecer uma estimativa fiável do isolamento da parede. Para estes casos, apenas uma modelação numérica com recurso a modelos tais como o Método dos Elementos Finitos [1], o Método dos Elementos de Fronteira [2,3] e o Método das Diferenças Finitas, poderia ser aplicável. Ainda assim, para todos estes casos, a aplicação destas estratégias iria conduzir a tempos de computação extremamente elevados. Optou-se assim, pela apresentação dos resultados obtidos às paredes simples e duplas, ensaiadas em laboratório, na presença de diferentes tipos de heterogeneidades: uma abertura de pequenas dimensões, um quadro eléctrico; um carretel de incêndio ou um tubo de queda.

As secções que se seguem encontram-se organizadas da seguinte forma: inicialmente é apresentado de forma sucinta os ensaios efectuados nas câmaras acústicas bem como o tratamento efectuado aos registos aí obtidos; seguindo-se a comparação entre os resultados dos ensaios efectuados às paredes sem e com a presença de inclusões e aberturas de pequena dimensão. Por fim, são apresentadas as principais conclusões.

2 ENSAIOS LABORATORIAIS

Os resultados experimentais aqui apresentados, foram realizados nas câmaras acústicas do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Para a obtenção do espectro em frequência dos níveis sonoros em ambas as câmaras (emissora e receptora) foi usada uma cadeia de medição constituída, fundamentalmente, por transdutores, amplificadores de sinal e sistema de aquisição e tratamento de dados, conforme se apresenta na Figura 1.

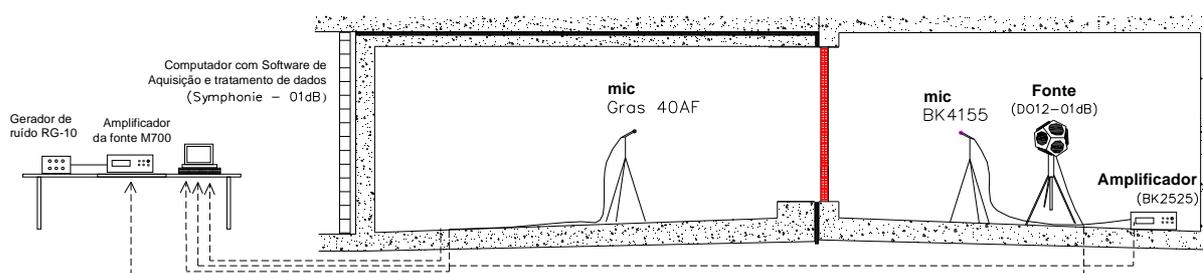


Figura 1– Esquema em corte das câmaras acústicas com a disposição do diverso equipamento utilizado para aquisição e tratamento de sinal.

Para aquisição e tratamento de dados das ondas sonoras, foi utilizado um analisador de dois canais da marca “01dB – MVI Technologies group” modelo SYMPHONIE. O software *DBBATI32* foi utilizado quer para o tratamento de sinal registado, quer para os registos de gravação áudio. Neste último caso os dados registados foram posteriormente tratados com software específico. O tratamento assim

efectuado, permitiu a obtenção dos campos sonoros nas câmaras emissora e receptora, em bandas de frequência de terços de oitava ou de 1/12 de oitava. Finalmente e para determinação do valor do índice de redução sonora R_w , com base na curva de isolamento sonoro seguiram-se os procedimentos indicados na Norma ISO 717-1 [4].

Nos vários ensaios efectuados, foram realizadas em simultâneo várias medições da pressão sonora nas câmaras emissora e receptora. As posições dos microfones bem como da fonte sonora foram escolhidas de forma a cumprir os valores mínimos impostos pela norma ISO 140-3 [5]. Os microfones das salas emissora (Me) e receptora (Mr), que se encontravam colocados em tripés que lhes garantiam uma altura de 1.30 m relativamente ao pavimento, eram sucessivamente colocados em 5 posições cada, distando entre si pelo menos 1.5 m. Em todas as posições do microfone foi garantida uma distância superior a 1.4 m relativamente à fonte sonora e 1.0 m relativamente às paredes. A fonte sonora (FS) foi colocada em duas posições que distavam entre si de 1.7 m.

Os sistemas ensaiados em laboratório foram os seguintes:

- alvenaria de tijolo com 11 cm, rebocada em ambas as faces;
- alvenaria de tijolo com 15 cm, rebocada em ambas as faces;
- alvenaria dupla de tijolo com, com um pano de 11 cm e outro de 15 cm, rebocada em ambas as faces, e com introdução de lã de rocha com 30 mm de espessura e 70 kg/m^3 na caixa e ar.

Na Figura 2 encontram-se representados esquematicamente os sistemas construtivos analisados.

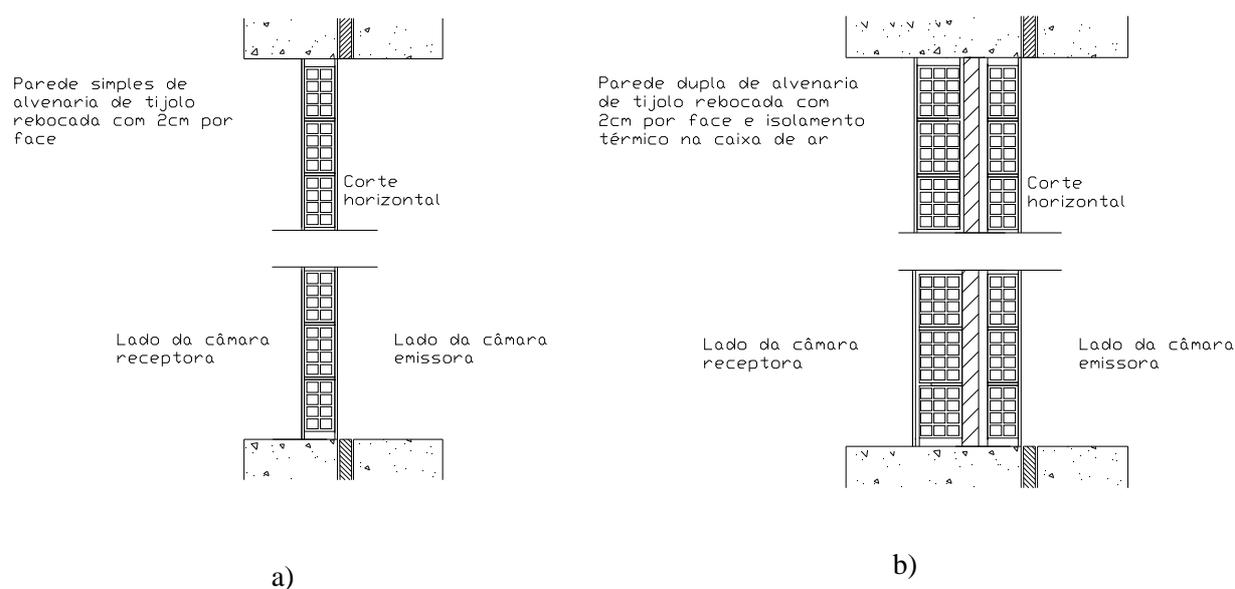


Figura 2 – Representação esquemática dos sistemas ensaiados: a) parede simples; b) parede dupla.

3 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

De forma a facilitar a interpretação dos resultados adiante apresentados, apresenta-se, na Figura 3, o conjunto das curvas de isolamento avaliadas em laboratório para as diferentes paredes de alvenaria de tijolo furado consideradas.

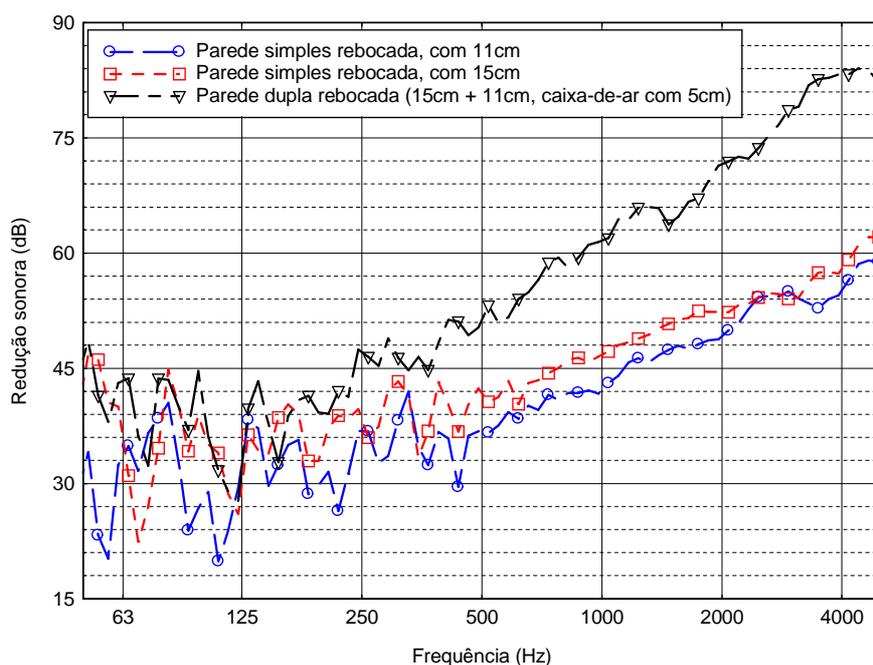


Figura 3— Curvas de isolamento sonoro das diferentes paredes testadas em laboratório.

No que se segue, apresentam-se os resultados experimentais obtidos para os diferentes casos, começando pelo estudo de paredes simples com aberturas ou com inclusões, e terminando, depois, com a análise de paredes duplas com o mesmo tipo de heterogeneidades.

3.1— Parede simples com abertura de pequenas dimensões

Apresentam-se, seguidamente, o conjunto de resultados obtidos quando se ensaiou uma parede simples, de alvenaria de tijolo com 11 cm de espessura, rebocada, na qual se realizou uma abertura de pequenas dimensões, e com uma área de 36 cm^2 . Realizaram-se, para este caso, testes para aberturas com configurações geométricas distintas (6 cm x 6 cm, 18 cm x 2 cm, 36 cm x 1 cm), comparando-se, depois, estes resultados com os que se obtinham para uma parede sem qualquer abertura. Desta forma, foi possível obter curvas que representam a variação do isolamento sonoro da parede em relação à situação de referência. Todos os resultados serão apresentados em bandas de 1/12 de oitava.

Na Figura 4, apresentam-se duas curvas referentes às variações de isolamento sofridas por uma parede simples com a uma abertura quadrada de 6 cm x 6 cm. Essas aberturas localizaram-se, num dos casos a 30 cm do bordo inferior do provete, e no outro no centro geométrico do mesmo.

É possível verificar que as duas curvas apresentam um andamento bastante semelhante, abaixo dos 600 Hz. Nas frequências mais baixas, observa-se alguns pontos para os quais ocorre um aumento do isolamento, o que apenas pode ser justificado por uma possível alteração das frequências próprias da parede, e por pequenas variações nas condições locais. No entanto, observa-se que, em geral, há uma tendência para uma diminuição do isolamento proporcionado pela parede, mesmo nas frequências mais baixas.

Para frequências mais altas, constata-se que a curva que representa o provete com a abertura no seu centro apresenta valores ligeiramente inferiores para a diminuição do isolamento sonoro a sons aéreos do que aquela em que a abertura se encontra próxima do bordo.

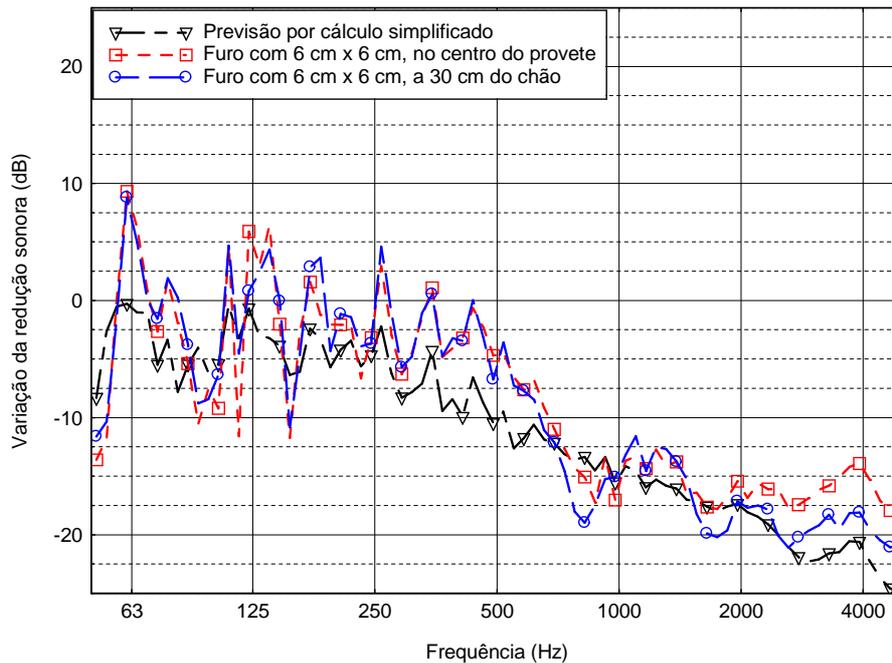


Figura 4– Variação da redução sonora com a introdução de uma abertura de pequenas dimensões (6 cm x 6 cm), em duas posições distintas.

Na mesma figura, apresenta-se ainda a curva da variação de isolamento sonoro, obtida através de cálculo simplificado, para elementos de separação descontínuos. Esta curva, obtida a partir da parede ensaiada laboratorialmente sem qualquer inclusão, foi calculada partindo da expressão

$$R(\text{dB}) = 10 \log \left(\frac{\sum_1^n S_i}{\sum_1^n \tau_i S_i} \right) = 10 \log \left(\frac{\sum_1^n S_i}{\sum_1^n \left(\frac{S_i}{10^{(R_i/10)}} \right)} \right) \quad (1)$$

onde, S_i representa a área do elemento i , e R_i representa o isolamento sonoro do elemento i para uma dada frequência ou banda de frequências. Da análise da expressão (1), facilmente se pode inferir que as zonas de menor isolamento dos elementos heterogêneos têm uma forte influência sobre valor global do elemento. Para o cálculo aqui apresentado, assumiu-se que a abertura existente na parede não apresentaria qualquer isolamento. Na realidade, esta consideração poderá ser exagerada, uma vez que despreza a contribuição da absorção das superfícies que definem esta abertura. No entanto, para maior simplicidade e por não existir informação sobre este assunto que permita definir de forma rigorosa qual o valor do isolamento a considerar nestes casos, adoptou-se um valor de $R=0$ dB em todas as frequências.

O primeiro aspecto a salientar da curva assim obtida, é o facto desta apresentar ao longo de toda a gama de frequências um traçado bastante semelhante às curvas obtidas experimentalmente. É no entanto visível que, em toda a sua extensão os valores que apresenta, devido à presença da abertura, correspondem sempre a uma diminuição do isolamento sonoro aos sons aéreos. Nas baixas frequências, e até aos 250 Hz, os valores das oscilações que esta curva apresenta, são mais suaves do

que os valores relativos às curvas experimentais, possivelmente devido à não contabilização dos diversos fenómenos que ocorrem nesta gama de frequências. A partir deste valor e até aos 750 Hz, a curva encontra-se com valores de isolamento que são visivelmente inferiores aos das curvas experimentais. Para valores superiores aos 750 Hz, a curva vai-se cruzando com as restantes, mas sempre com traçado semelhante. O valor do índice global de isolamento de 33 dB, coincide com o valor obtido para o provete ensaiado com a abertura no seu centro geométrico.

A existência destas pequenas aberturas provoca quebras no valor do índice de isolamento sonoro global entre 10 dB e 12 dB, em cada uma das situações. Esta diminuição do índice de isolamento permite confirmar que uma das características fundamentais a exigir a um elemento de construção para a obtenção de um bom isolamento sonoro, é a sua estanqueidade. Permite ainda verificar que, em elementos heterogéneos, onde a área global é composta por vários elementos com diferentes características de isolamento acústico, o isolamento global depende fortemente da área do elemento com isolamento mais baixo.

Apresentam-se na Figura 5 a) e b), duas aberturas de dimensões distintas, ensaiadas a 30 cm do bordo inferior da parede de alvenaria de tijolo de 11 cm de espessura.

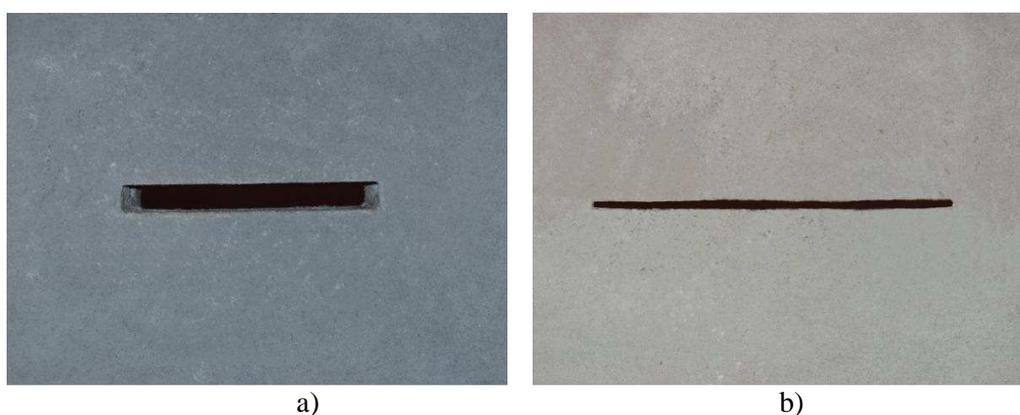


Figura 5- Parede de alvenaria de tijolo de 11 cm de espessura, na presença de aberturas com 36 cm²:

a) abertura com 18 cm x 2 cm; b) abertura com 36 cm x 1 cm.

Na Figura 6, é apresentado o alçado de um dos ensaios efectuados à parede de alvenaria de tijolo na presença de uma abertura de área de 36 cm² localizada a 30 cm do chão.

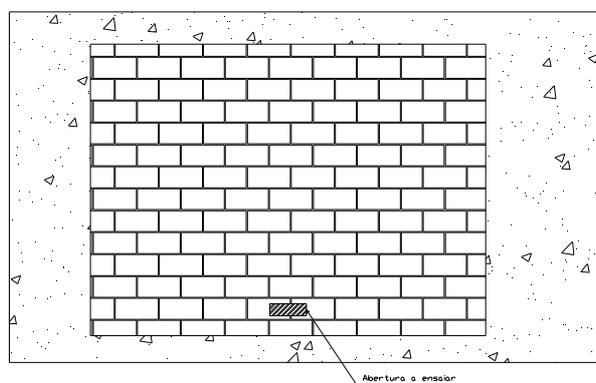


Figura 6– Alçado representativo de parede de alvenaria de tijolo, ensaiada com abertura localizada a 30 cm do bordo inferior.

As curvas que representam a variação da redução sonora, sofrida por uma parede de alvenaria de 11 cm de espessura, com três aberturas distintas, localizadas a 30 cm da sua base, encontram-se representadas na Figura 7.

Estas aberturas foram realizadas com diferentes dimensões, mantendo, contudo, a sua área constante, com um valor de 36 cm^2 . É ainda apresentada uma curva obtida através de cálculo simplificado para elementos heterogéneos.

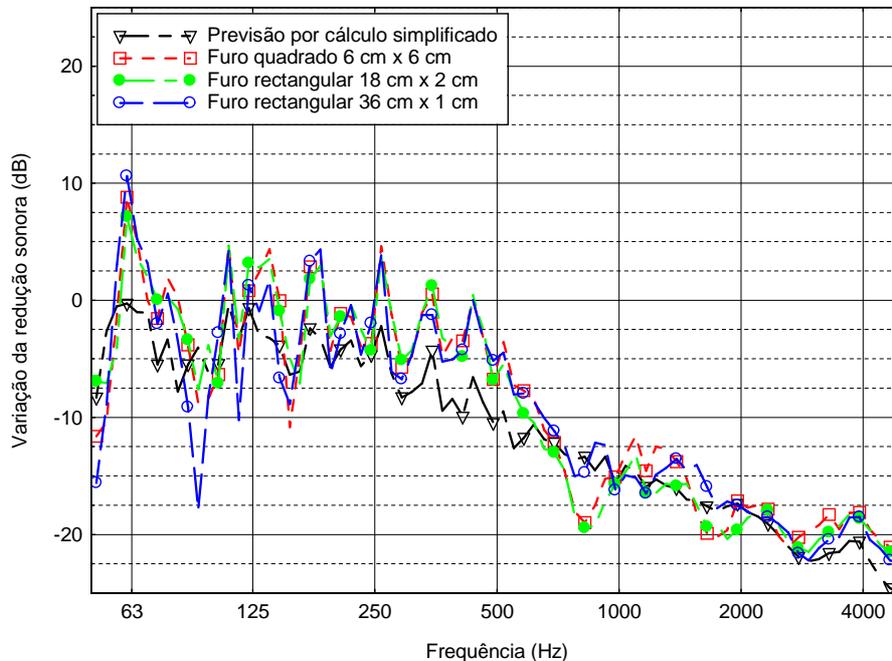


Figura 7- Variação da redução sonora com a introdução de várias aberturas de pequenas dimensões mas de áreas equivalentes (6 cm x 6 cm; 18 cm x 2 cm; 36 cm x 1 cm).

O comportamento dos vários provetes ensaiados é muito semelhante. Nas frequências mais altas o valor das quebras de isolamento sonoro provocadas pelas diferentes aberturas apresenta maiores variações entre os vários provetes ensaiados. No entanto é comum a todas elas a diminuição do isolamento sonoro com o aumento da frequência. Este comportamento indica que a existência de pontos fracos numa parede se faz sentir sobretudo na gama das médias/altas frequências. De facto, e de acordo com a expressão simplificada apresentada anteriormente, verifica-se que o efeito da presença de aberturas é tanto mais significativo quanto maior for o isolamento inicial da solução construtiva. Por esse motivo, e tendo em conta que, geralmente, o isolamento sonoro é mais elevado para frequências mais altas, o resultado assim obtido aproxima-se do comportamento previsível, e apresentado na curva correspondente ao cálculo simplificado.

Interessa, ainda, caracterizar os vários provetes ensaiados do ponto de vista do índice de isolamento a sons aéreos. Também para este caso, os valores determinados para este parâmetro encontram-se listados na Tabela 2. De acordo com este quadro, verifica-se que estes três provetes apresentaram quebras no valor do índice de isolamento sonoro de 11 dB, 12 dB e 13 dB. Embora haja alguma variação entre os três casos apresentados, constata-se que estes valores se aproximam da estimativa efectuada por cálculo simplificado, tal como se apresenta na Tabela 1.

Tabela 1– Valores de R_w obtidos para a parede de alvenaria de tijolo de 11 cm ensaiada, e previsão com abertura com 36 cm².

<i>Solução ensaiada</i>	R_w (dB)
Parede em alvenaria de tijolo rebocada, com 11 cm de espessura	43
Parede em alvenaria de tijolo rebocada, com 11 cm de espessura com uma abertura com 36 cm ² - Previsão através de cálculo simplificado	33

Tabela 2- Valores de R_w obtidos para a parede de alvenaria de tijolo de 11 cm, ensaiada com aberturas de 6 cm x 6 cm, 18 cm x 2 cm e 36 cm x 1 cm.

<i>Solução ensaiada</i>	R_w (dB)
furo de 6 x 6 cm ² no centro parede	33
furo de 6 x 6 cm ² a 30 cm do chão	31
abertura com desenvolvimento horizontal de 18 x 2 cm ² a 30 cm do chão	30
abertura com desenvolvimento horizontal de 36 x 1 cm ² a 30 cm do chão	32

3.2– Parede simples com inclusões, rebocada em ambas as faces com 2 cm de argamassa

Analogamente ao efectuado no ponto anterior, vão ser apresentados os resultados experimentais mais relevantes, para o caso das paredes simples de alvenaria providas de inclusões. Pretende-se estudar a influência de inclusões resultantes da colocação de instalações técnicas em edifícios, na alteração do isolamento sonoro de uma parede de alvenaria de tijolo. As curvas resultantes das paredes ensaiadas, serão apresentadas em bandas de 1/12 de oitava.

Apresentam-se na Figura 8, algumas das paredes ensaiadas na presença dos diferentes tipos de inclusões estudados (quadro eléctrico, carretel de incêndio e tubo de queda).



Figura 8– Parede de alvenaria na presença das várias inclusões, quadro eléctrico, carretel de incêndio e tubo de queda.

Nas Figuras 9 e 10 são apresentadas curvas que representam a variação do isolamento sonoro de uma parede simples de alvenaria de tijolo de 11 cm ou 15 cm, quando se introduz cada um dos seguintes elementos:

- um quadro eléctrico;
- um carretel de incêndio;
- um tubo de queda.

Em todos os casos, as inclusões foram introduzidas nas paredes do lado da câmara emissora.

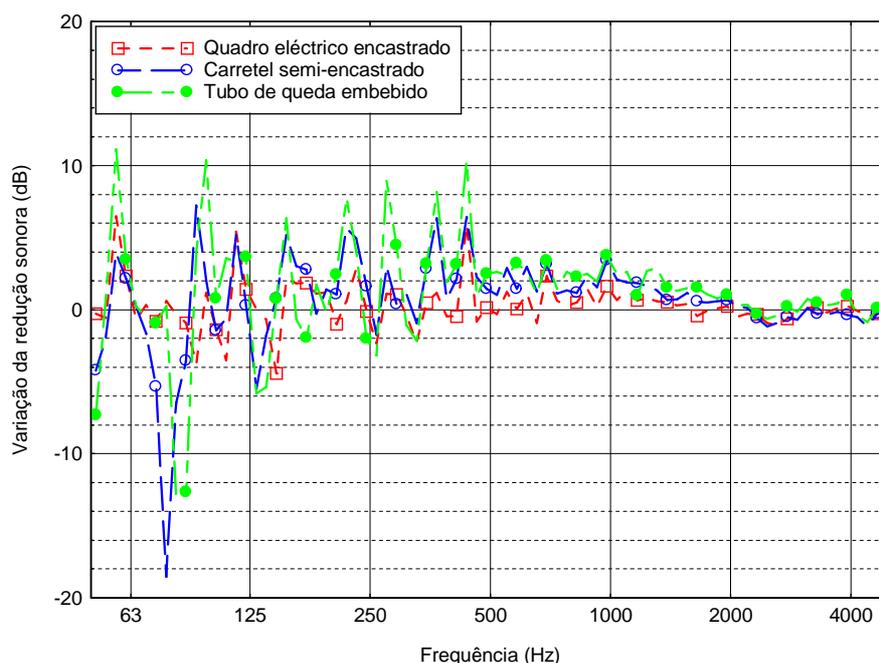


Figura 9– Curvas da variação da redução sonora de uma parede de tijolo de 11 cm de espessura, obtidas experimentalmente quando introduzidas várias inclusões.

Da análise da Figura 9, e dos valores do índice de redução sonora R_w (apresentados na Tabela 3), é possível observar que a introdução das várias inclusões não trouxe variações significativas no isolamento da parede. De entre as apresentadas, a curva referente à introdução de um quadro eléctrico é a que se apresenta com menores variações de isolamento, sendo estas variações mais significativas para o caso de um carretel de incêndio e de um tubo de queda. De facto, para estes dois últimos casos, verifica-se até um ligeiro aumento do isolamento sonoro, em particular nas médias frequências. Este aumento traduz-se, inclusive, no aumento do valor do índice global de isolamento sonoro em 1 dB e 2 dB, respectivamente. Este facto, que à partida não seria de esperar, poder-se-á dever aos cuidados tidos aquando da colocação do quadro eléctrico e, principalmente, do tubo de queda. Em ambos os casos, houve o cuidado de, durante a execução, não deixar espaços vazios em redor dos elementos, preenchendo estes com argamassa compactada, que, em alguns pontos, preencheu mesmo furos dos tijolos contíguos a estas inclusões. Nas frequências mais baixas, e tal como se observou nos casos apresentados no ponto anterior, ocorrem algumas oscilações na variação do isolamento, que alterna sucessivamente entre valores positivos e negativos. Neste caso, julga-se que estas variações podem estar relacionadas com a alteração do comportamento dinâmico da parede e com pequenas variações nas condições locais e de ensaio. De facto, esta foi a parede mais leve e com menor isolamento

ensaiada no âmbito desta dissertação, sendo, por isso, aquela onde possíveis variações de propriedades ou materiais ao longo da sua superfície mais se fazem sentir. Julga-se que esta será uma das justificações para as variações observadas quando se introduziram heterogeneidades de diferentes tipos.

Tabela 3- Valores de R_w obtidos para as paredes de alvenaria de tijolo de 11 cm, ensaiadas sem e com inclusões.

<i>Solução ensaiada</i>	R_w (dB)
sem inclusões	43
com quadro eléctrico encastrado	43
com carretel de incêndio semi-encastrado	45
com tubo de queda embebido	46

Para o caso da parede de tijolo de 15 cm de espessura, cujos resultados se encontram representados na Figura 10, as variações são de amplitude muito mais reduzida, sendo principalmente observadas nas baixas frequências, zona sujeita aos vários fenómenos já referenciados nos casos anteriores. Para as médias e altas frequências, as variações são praticamente inexistentes, confirmando-se, por observação dos valores da Tabela 4, que não há qualquer alteração do valor do índice de isolamento global da parede.

Note-se que no caso da parede de 15 cm de espessura, a parede apresenta, desde logo, um maior isolamento aos sons aéreos, sendo por isso, e também pela sua maior espessura, menos influenciada pela abertura de roços e instalação de elementos construtivos adicionais.

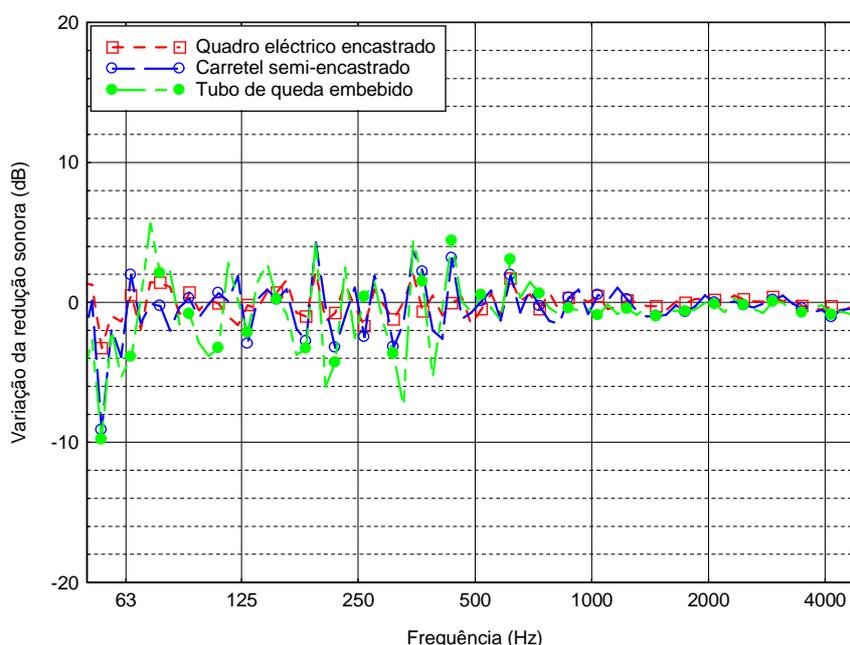


Figura 10- Curvas da variação da redução sonora de uma parede de tijolo de 15 cm de espessura, obtidas experimentalmente quando introduzidas várias inclusões.

Tabela 4- Valores de R_w obtidos para as paredes de alvenaria de tijolo de 15 cm, ensaiadas sem e com inclusões.

<i>Solução ensaiada</i>	R_w (dB)
sem inclusões	47
com quadro eléctrico encastrado	47
com carretel de incêndio semi-encastrado	47
com tubo de queda embebido	47

3.3– Parede dupla com inclusões, rebocada em ambos os lados com 2 cm de reboco

Na sequência da análise realizada para o caso de paredes simples, considere-se, agora, uma parede dupla de alvenaria na qual se inserem inclusões correspondentes aos elementos de construção anteriormente enumerados. Também para este caso, foram construídos provetes de ensaio em laboratório, sendo estes depois submetidos a um ensaio de isolamento a sons aéreos. Tal como para os casos anteriores, os resultados que a seguir se apresentam mostram a variação sofrida pela curva de isolamento da parede devido à presença das inclusões, sendo que, em todos os gráficos, valores positivos desta variação correspondem a um aumento de isolamento, enquanto que valores negativos correspondem à sua diminuição.

Na Figura 11 apresentam-se as curvas de variação do isolamento sonoro obtidas experimentalmente, para os vários provetes ensaiados, referentes a uma parede dupla com inclusões. Tal como nos casos anteriores, as curvas apresentadas referem-se a resultados em bandas de 1/12 de oitava.

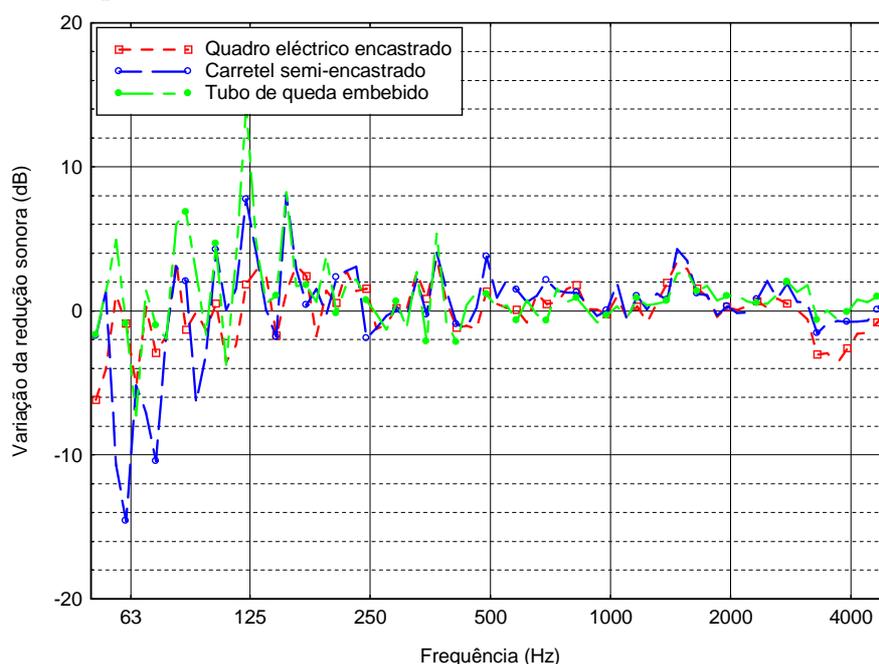


Figura 11– Curvas da variação da redução sonora de uma parede dupla de alvenaria de tijolo, obtidas experimentalmente na presença de inclusões de diferentes tipos.

Também aqui, o comportamento da parede na presença das diversas inclusões não sofre na sua globalidade alterações significativas. É, no entanto, possível constatar que, nas baixas frequências até aos 250 Hz, ocorrem algumas variações significativas, verificando-se que, tal como observado para as paredes simples, a curva de variação oscila entre valores positivos e negativos. Saliente-se, contudo, que para o caso do carretel de incêndio esta curva assume valores predominantemente negativos. De

facto, os fenómenos dinâmicos que condicionam o comportamento deste sistema nas frequências mais baixas são de grande complexidade, podendo ser influenciados pela configuração da parede, pelas condições locais e pela presença das inclusões. Para as médias e altas frequências, de uma forma geral, as pequenas variações existentes correspondem a um aumento ligeiro do valor do isolamento aos sons aéreos. Observando a Tabela 5, verifica-se que este ligeiro aumento se traduz no acréscimo de 1 dB no índice global de isolamento a sons aéreos, para os casos em que se inseriram na parede um carretel de incêndio ou um tubo de queda. Também aqui se julga que esta alteração de valor se deve aos cuidados tidos no assentamento das diferentes inclusões.

Tabela 5- Valores de R_w obtidos para a parede dupla de alvenaria de tijolo (11+5+15), rebocada, e caixa-de-ar parcialmente preenchida com lã de rocha ensaiada sem e com inclusões.

<i>Solução ensaiada</i>	R_w (dB)
na ausência de inclusões	55
com quadro eléctrico encastrado	55
com carretel de incêndio semi-encastrado	56
com tubo de queda embebido	56

4 CONCLUSÕES

Um dos objectivos deste trabalho era conhecer o comportamento das paredes de alvenaria na presença de inclusões. Foram então efectuados alguns ensaios numa parede de alvenaria de tijolo de 11 cm de espessura, na presença de várias aberturas com diferentes formas, mas tendo todas elas em comum uma área de 36 cm². A análise dos vários provetes ensaiados, possibilitou concluir que a existência destas aberturas provocou uma redução significativa no isolamento sonoro da parede, em especial ao nível das médias/altas frequências. Foram ainda efectuados ensaios sobre paredes de 11 cm, de 15 cm e sobre uma parede dupla (11 cm + 5 cm + 15 cm), incorporando um quadro eléctrico, um carretel de incêndio ou um tubo de queda. De facto, quer para as paredes simples, quer para as paredes duplas, a introdução destes elementos, não trouxe alterações significativas, no comportamento das mesmas. Contrariamente ao que seria de esperar, nalgumas situações, a introdução destes elementos, originou um ligeiro aumento do valor do índice global de isolamento sonoro. Este aumento de isolamento terá ficado a dever-se ao modo de instalação destes elementos, nos quais se procurou selar todas as possíveis zonas de ligação com recurso a argamassa.

Referências

- [1] Panneton,R., Atalla, N. (1996)- “Numerical prediction of sound transmission through finite multiplayer systems with poroelastic materials”, Journal of the acoustical society of America, 100(1), p.346-354.
- [2] Von Estorff, O.- ”Boundary elements in acoustics – Advances & applications”, (Ed) (2000) WIT Press, Southampton, UK.
- [3] Wu,T- “Boundary element acoustics”, (Ed) (2000) WIT Press, Southampton, UK.
- [4] CEN:- “Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation”, EN ISO 717-1, 1996.
- [5] 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.