

INFLUÊNCIA DE PEQUENOS ERROS DE EXECUÇÃO EM OBRA NO DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFÍCIOS - EXEMPLOS TÍPICOS

PACS: 43.55.Rg

Diogo M. R. Mateus; Andreia S. C. Pereira

CICC, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra
Rua Luís Reis Santos - Pólo II da Universidade, 3030-788 Coimbra, Portugal
Tel. +351-239797196
Fax +351-239797123
diogo@dec.uc.pt; apereira@dec.uc.pt

ABSTRACT

In order to attain adequate acoustic insulation in buildings it is required, not only to adopt proper constructive solutions, but it is also very important to guarantee the compatibility with the different design projects involved in the design stage of the building, a proper detailing of the solutions and its right execution. A constructive solution which is expected to have a high acoustic performance may turn out to be a failure if it is not well performed even if the mistakes seem to be small. In this paper the authors discuss these issues, by analyzing a set of results of airborne sound insulation and impact sound insulation regarding situations where typical mistakes in the execution of the constructive solutions were carried out or where inadequate decisions taken by other design specialties involved in the project, clearly affected the final results.

RESUMO

A obtenção de condições adequadas de isolamento acústico em edifícios passa pela adopção de soluções construtivas apropriadas, no entanto, a compatibilização com as restantes especialidades de projecto envolvidas, a sua pormenorização e a correcta execução em obra são normalmente decisivas. Uma solução de previsível elevado desempenho acústico pode resultar num fracasso, se forem cometidos erros de execução, mesmo que de pequeníssima dimensão. No presente artigo, são apresentados e analisados resultados de isolamento acústico, quer a sons aéreos, quer a sons de percussão, obtidos em edifícios, em situações onde pequenos defeitos de construção e/ou decisões tomadas por outras especialidades envolvidas no projecto, condicionam claramente os resultados finais.

1. INTRODUÇÃO

A transmissão sonora entre dois compartimentos é um fenómeno complexo que envolve, geralmente, transmissões directas (quando existe um elemento de separação comum aos dois compartimentos) e transmissões secundárias. Mesmo na situação mais simples, onde a propagação se faz essencialmente por via directa, o fenómeno de transmissão envolve um elevado número de variáveis, apresentando-se como factores principais as características elasto-dinâmicas do elemento de separação, a heterogeneidade do elemento e respectivas

ligações, bem como as características dos campos sonoros estabelecidos nos recintos emissor e receptor. Na prática, a obtenção de um adequado isolamento acústico passa pela adopção de soluções construtivas apropriadas, que tenham em conta os fenómenos de transmissão envolvidos, mas a sua pormenorização e a correcta execução em obra é decisiva no desempenho acústico dos edifícios. É muito frequente encontrar o mesmo tipo de solução construtiva aplicada em situações aparentemente semelhantes, mas com um desempenho acústico completamente diferente. As diferenças podem depender das transmissões marginais, que podem variar bastante, em função da forma como os elementos de construção se encontram interligados e das suas características específicas, mas, na generalidade dos casos correntes em edifícios, as grandes diferenças resultam do processo construtivo e das decisões tomadas em obra. Tal como acontece noutras áreas, mas com particular relevância na área do isolamento acústico, a obtenção de qualidade na construção exige um profundo conhecimento dos materiais empregues e das tecnologias de construção. Uma solução construtiva com um previsível elevado desempenho acústico pode resultar num fracasso completo, se forem cometidos alguns erros de execução, mesmo que de pequeníssima dimensão, que passam geralmente despercebidos em obra. Convém ainda realçar que, para além do processo construtivo, é fundamental uma interligação entre a acústica e as restantes especialidades envolvidas em projecto, nomeadamente a arquitectura, a estabilidade e as instalações técnicas.

Este trabalho tem como objectivo principal a apresentação e análise de alguns exemplos típicos com graves insuficiências de isolamento acústico em edifícios, quer a sons aéreos, quer a sons de percussão, resultantes de pequenos defeitos de construção e/ou decisões tomadas por outros intervenientes em projecto e/ou em obra, que condicionaram fortemente os resultados finais.

2. ISOLAMENTO ACÚSTICO EM EDIFÍCIOS – ASPECTOS GERAIS

De um modo geral, a protecção acústica dos edifícios, como forma de garantir um adequado conforto acústico no seu interior, pode ser concretizada através da actuação articulada segundo quatro vertentes da acústica [1]: o isolamento a sons aéreos, quer entre espaços interiores, quer entre o exterior e o interior dos edifícios; o isolamento de sons de percussão, transmitidos por via sólida, provenientes essencialmente do interior dos edifícios; o condicionamento acústico interior; e a minimização do ruído produzido por equipamentos e instalações do edifício. No presente trabalho, e para as situações apresentadas, são apenas avaliadas as vertentes de isolamento a sons aéreos e de sons de percussão.

No isolamento a sons aéreos, existem duas situações que interessa distinguir: o isolamento entre o exterior e o interior, normalmente associado ao isolamento de fachada; e o isolamento entre compartimentos fechados. No primeiro caso, e para a generalidade dos edifícios, o isolamento sonoro depende essencialmente do vão envidraçado, em especial do caixilho e do vidro (grelhas de ventilação e caixas de estores, quando existem). No segundo caso, o isolamento sonoro depende não só do elemento de separação directo, em compartimentos contíguos, como da restante envolvente de cada compartimento. De uma forma geral, o aumento de isolamento por via directa pode ser conseguido, entre outras formas, através do aumento da massa e/ou da criação de elementos com duas ou mais camadas, sem ligação rígida entre si. A minimização das transmissões por via indirecta pode ser conseguida de forma eficaz através da quebra de continuidade dos elementos marginais entre compartimentos, mas, muitas vezes, este tipo de actuação não é viável, tornando-se mais difícil solucionar este problema. Em ambos os casos, a existência de eventuais “pontos fracos de isolamento”, como por exemplo, pequenas frinchas, caixas embutidas em paredes de separação e atravessamento de condutas e/ou de courettes, podem comprometer fortemente o resultado final [2], conduzindo, muitas vezes, a um incumprimento dos requisitos legais [3], como se pretende demonstrar no ponto seguinte.

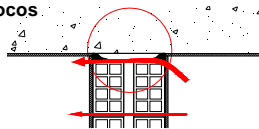
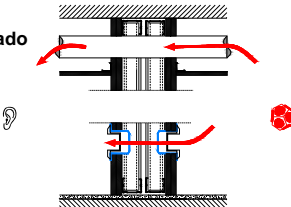
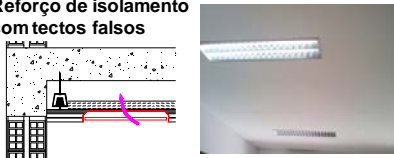
A transmissão sonora de sons de percussão, de um pavimento para os compartimentos vizinhos num edifício, ocorre geralmente por via marginal, através dos elementos adjacentes, e por via directa, quando o pavimento percutido é sobrejacente ao compartimento receptor em

análise. De uma forma geral, em edifícios, a obtenção de um isolamento sonoro adequado, a sons de percussão, pode ser conseguido através de dois tipos distintos de soluções: revestimento de piso flexível e revestimento de piso rígido aplicado sobre camada inferior resiliente, designadamente a betonilha flutuante em betão ou em argamassa e os pavimentos flutuantes em madeira. Entre estas, a execução de betonilha flutuante, sob o revestimento de piso, é aquela que à partida, para a maioria das construções de raiz, oferece mais vantagens e não condiciona o tipo de acabamento. Contudo, na grande maioria das situações o desempenho destas betonilhas é muito fraco, devido essencialmente à existência de defeitos de construção, muitas vezes de pequeníssima dimensão, como são o caso das ligações rígidas através do cimento cola de assentamento do revestimento de piso, especialmente importante em revestimentos cerâmicos ou em pedra. Nas restantes soluções, apesar de menos relevante, os erros de execução assim como algumas opções construtivas tomadas em obra podem também condicionar o resultado final, conforme se tipifica no ponto seguinte deste trabalho.

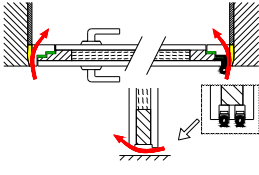
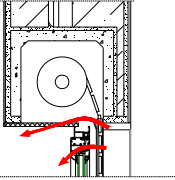
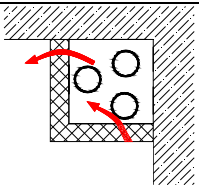
3. PROBLEMAS TÍPICOS DE EXECUÇÃO E RESULTADOS OBTIDOS

Nos Quadros 1 e 2 são apresentados alguns dos problemas típicos de execução em paredes, tectos, vãos e courettes, responsáveis por fortes quebras de isolamento a sons aéreos. No Quadro 3 são igualmente apresentados exemplos típicos com erros de execução, mas neste caso com forte influência no isolamento de sons de percussão. Neste Quadro é ainda apresentada uma situação que ocorre com alguma frequência em edifícios não habitacionais, onde a opção por aplicação de divisórias leves conduz à execução de betonilha flutuante contínua entre compartimentos adjacentes, que agrava fortemente a transmissão por percussão entre compartimentos adjacentes do mesmo piso.

Quadro 1 – Problemas típicos de execução em paredes e tectos falsos.

Soluções construtivas	Problemas típicos de execução
<p>- Paredes de alvenaria de tijolo ou de blocos</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Juntas de argamassa de assentamento mal preenchidas (na vertical muitas vezes não existem); - Última fiada de junta normalmente mal preenchida e c/ frinchas; - Camada de reboco e/ou estuque muito delgada.
<p>- Divisórias em gesso cartonado</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicação de tomadas eléctricas a par, sem qualquer tipo de reforço acústico; - Aplicação de condutas de ventilação com continuidade entre compartimentos adjacentes sem atenuadores sonoros; - Não prolongamento da divisória até à laje de tecto (com pleno entre salas), com tectos falsos de fraco desempenho acústico.
<p>- Reforço de isolamento com tectos falsos</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicação de suspensões rígidas à laje de tecto; - Não aplicação de absorvente sonoro na caixa de ar; - Aplicação de iluminação embutida, grelhas de ventilação e/ou equipamentos de AVAC, em tectos falsos de reforço.

Quadro 2 – Problemas típicos de execução em vãos e courettes.

Soluções construtivas	Problemas típicos de execução
<p>- Portas acústicas</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicação do aro com selagem deficiente; - Não aplicação de dispositivo de vedação de soleira ou vedação insuficiente; - Aplicação de fechadura com ranhura aberta e contínua em toda a espessura da porta.
<p>- Vãos envidraçados</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Vidros duplos com dois panos iguais; - Caixilhos de correr com frinchas aparentes; - Caixa de estores e tampas com fraco desempenho acústico.
<p>- Courettes</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Fixação rígida de tubos de queda à estrutura do edifício; - Não aplicação de absorvente sonoro no interior da courette; - Execução das paredes das courettes com pequena espessura e/ou massa, muitas vezes com revestimento muito delgado.

Quadro 3 – Problemas típicos de execução em pavimentos.

Soluções construtivas	Problemas típicos de execução
<p>- Betonilha flutuante em betão ou em argamassa</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Formação de pontos rígidos na ligação à laje, através da penetração de fluidos do betão ou da argamassa pela membrana resiliente (em juntas ou rasgos) - Formação de pontos rígidos junto ao rodapé e/ou de soleiras de portas, através do cimento cola de fixação do revestimento
<p>- Betonilha flutuante c/ continuidade entre compartimentos</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Não existência de quebra de continuidade (junta de dilatação) entre compartimentos adjacentes do mesmo piso (geralmente quando se opta por divisórias leves)
<p>- Pavimentos flutuantes em madeira (madeira ou derivados de madeira sobre membrana resiliente)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilização de membranas muito finas, facilmente atravessadas por grãos de areia e/ou pequenas pedras, que existem habitualmente em obra e que não são limpas antes da aplicação do pavimento flutuante
<p>- Vinílicos ou linóleos de base flexível (camada de desgaste rígida sobre base flexível)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Muitas vezes trocados no acto da compra por vinílicos ou linóleos correntes, sem base flexível, devido sobretudo ao seu mais baixo custo e à falta de informação

Na Figura 1, são apresentados os resultados de ensaios “in situ”, para o mesmo tipo de solução construtiva (parede em alvenaria de tijolo, de furacão horizontal, de 11 + 11 cm), aplicada em condições semelhantes, mas com diferentes tipos de acabamento e de caixas de ar (com e sem absorvente sonoro na caixa de ar). A Figura 2 apresenta igualmente resultados de ensaios obtidos “in situ”, obtidos entre duas salas de aula adjacentes, numa escola, com o atravessamento directo de condutas entre salas (sem atenuador e após a aplicação de atenuador sonoro imediatamente antes do atravessamento), bem como os resultados obtidos sem este atravessamento.

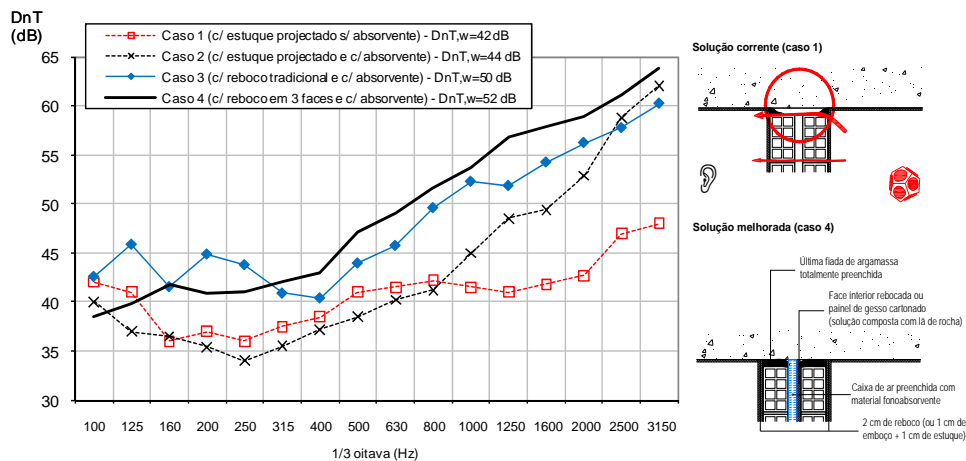


Figura 1 – Isolamento acústico entre compartimentos separados por paredes em tijolo de 11 + 11 cm, aplicada em condições semelhantes, mas com diferentes tipos de acabamento e com e sem absorvente sonoro na caixas de ar.

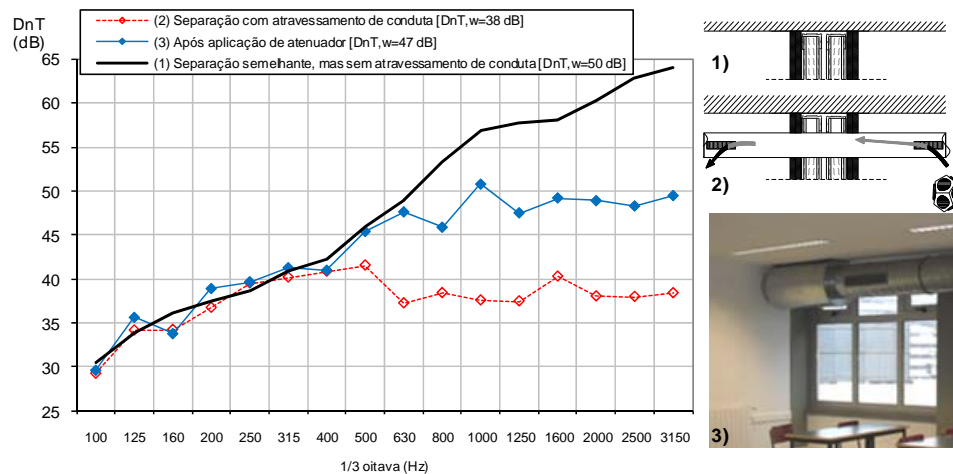


Figura 2 – Isolamento acústico entre compartimentos separados por divisórias de estrutura dupla, em gesso cartonado, com e sem atravessamento de condutas.

Na Figura 3 são apresentados, também a título de exemplo, resultados obtidos numa situação, com dois casos de estudo, onde o resultado é condicionado por insuficiências de isolamento ao nível da caixa de estores. Nestes casos, a caixilharia é de correr (que tem habitualmente um desempenho muito inferior às caixilharias fixas ou giratórias com batente em todo o contorno), mas de corte térmico e de classe de permeabilidade ao ar do tipo A3, e a caixa de estores é pré-fabricada em betão armado, sem correcção térmica, nem acústica. Refira-se, no entanto, que a caixa de estores tradicional em betão, se for revestida interiormente com a solução indicada na Figura 3, no pano do lado interior, com uma espessura da ordem de 3 cm, permite resolver também o problema da ponte térmica. No caso de caixas de estores leves, por exemplo em EPS ou XPS, com vista a responder a exigências térmicas, o tipo de correcção indicada para o interior da caixa de estores normalmente não é possível, devendo, nestes casos, garantir-se pelo menos uma espessura total de revestimento interior sobre a caixa de estores não inferior a 3 cm (por exemplo, com um 1º reboco armado e um segundo acabamento igual ao da restante zona corrente de parede) e uma adequada tampa da caixa de estores.

Na Figura 4, são apresentados os resultados previstos e experimentais, entre uma zona de circulação e o interior de um quarto de hotel, com deficiente aplicação da porta acústica de entrada (remate do aro em espuma de poliuretano e junta de soleira aplicada incorrectamente).

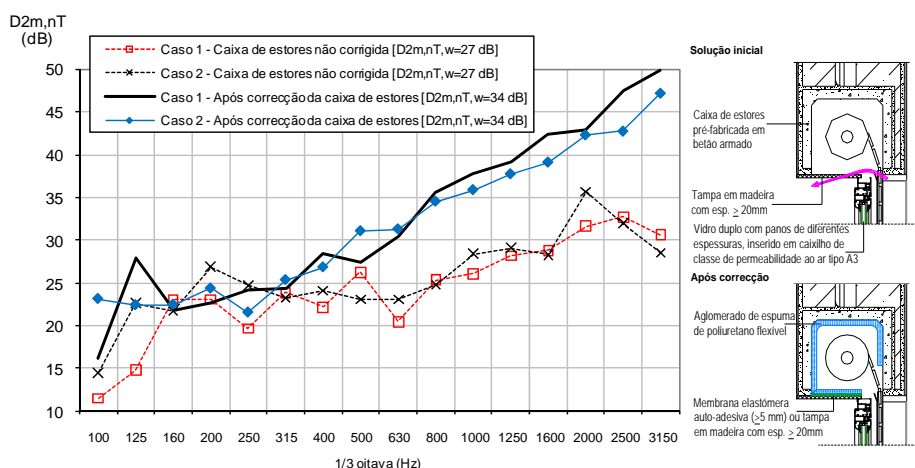


Figura 3 – Isolamento acústico em dois tipos de fachadas, antes e após correção da caixa de estores.

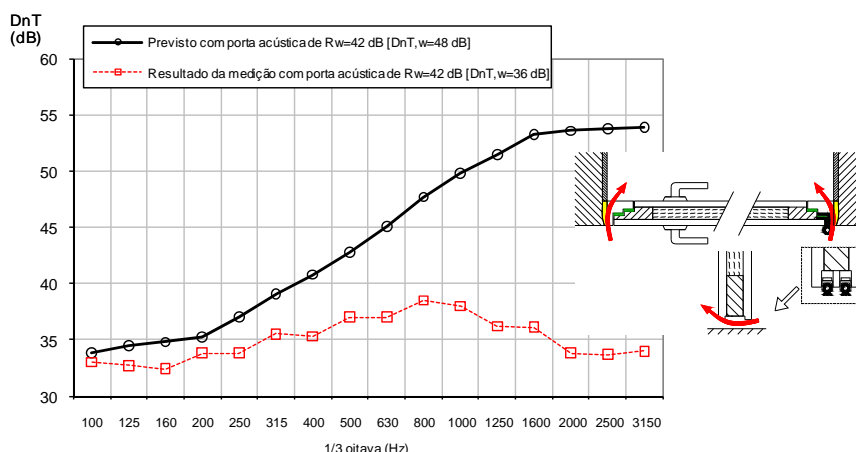


Figura 4 – Isolamento acústico entre uma zona de circulação e o interior de quarto de hotel, previsto, em condições de aplicação adequadas, e experimental (obtido “in situ”) com deficiente aplicação.

Nas Figuras 5 e 6 são apresentados resultados de medições in situ, obtidos em dois edifícios distintos, com transmissão por percussão de baixo para cima, entre um estabelecimento comercial no R/C e um quarto sobrejacente, no primeiro andar. No primeiro caso, os ensaios foram realizados para uma laje não revestida e após a execução de uma betonilha flutuante com pequenas ligações rígidas à soleira das portas (neste caso, aparentemente, esta foi a única ligação rígida). Esta figura apresenta ainda o resultado previsto, em condições ideais de execução, demonstrando como um pequeníssimo erro de construção, muito frequente, pode condicionar fortemente o resultado final. No segundo caso (Figura 6), os ensaios foram realizados, inicialmente, com uma aparente ligação rígida na betonilha flutuante, entre o pavimento e o rodapé, através do cimento cola de assentamento do revestimento (erro muito frequente em obra). Neste caso, e na sequência do fraco resultado, o rodapé foi arrancado e repetido o ensaio, tendo-se verificado uma melhoria no índice $L'_{nT,w}$ de 14 dB. Este tipo de problema resulta normalmente do corte antecipado da membrana resiliente no contorno da parede (que só deveria ocorrer após aplicação do revestimento de piso) e da aplicação em simultâneo do cimento cola no pavimento e no rodapé (quando este é cerâmico ou em pedra). Refira-se que este tipo de erro para além de comprometer o isolamento na transmissão de baixo para cima (relevante geralmente em espaços comerciais sob zonas de habitação), também compromete o isolamento de cima para baixo (situação mais desfavorável, quando os espaços emissor e receptor são do mesmo tipo). Na transmissão de cima para baixo, este tipo de erros conduz a uma redução da eficácia da betonilha flutuante, que pode passar de um valor da ordem de 20 dB, em condições ideais, para valores inferiores a 5 dB. Na transmissão

de baixo para cima e lateral (entre compartimentos do mesmo piso), este tipo de erro de execução pode mesmo conduzir a eficácias nulas ou até negativas.

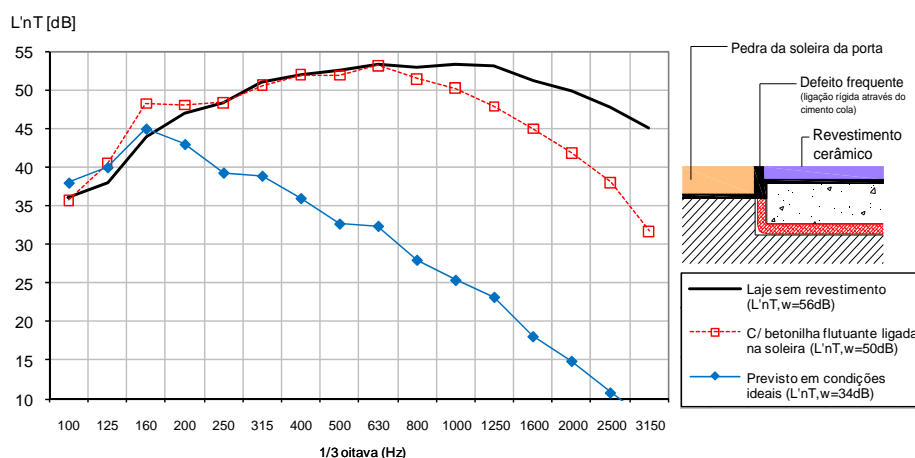


Figura 5 – Nível de pressão sonora padronizado ($L'nT$), avaliado na transmissão de baixo para cima, antes e após a execução de uma betonilha flutuante, c/ uma pequena ligação rígida à soleira das portas.

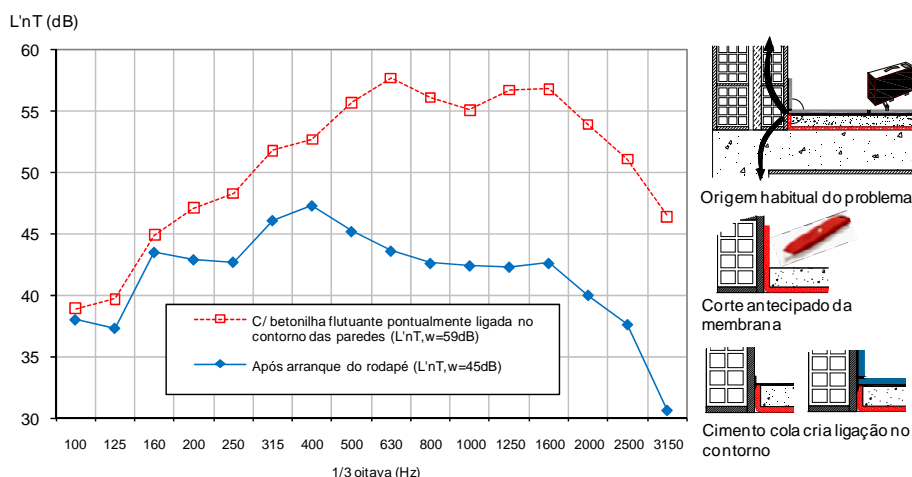


Figura 6 – Nível de pressão sonora padronizado, avaliado com transmissão de baixo para cima, com ligação rígida ao nível do rodapé e após o arranque do rodapé, em todo o contorno do pavimento.

Na Figura 7 são apresentados resultados obtidos para uma situação de betonilha flutuante com continuidade, que ocorre sobretudo quando se aplicam divisórias leves na compartimentação (normalmente em gesso cartonado), onde frequentemente se opta pela execução de uma betonilha flutuante em toda a área de piso, com posterior execução das divisórias aligeiradas (situação com alguma frequência em edifícios de serviços, hotéis, escolas e hospitais). Esta continuidade, apesar de geralmente não comprometer o isolamento de cima para baixo, agrava fortemente a transmissão por percussão entre compartimentos adjacentes do mesmo piso, resultando, neste caso, um índice $L'nT,w$ pior do que o previsto sem qualquer betonilha flutuante. Por outro lado, esta continuidade também pode comprometer o isolamento a sons aéreos entre compartimentos adjacentes do mesmo piso, uma vez que as transmissões marginais através do piso são agravadas.

Em pavimentos flutuantes em madeira ou derivados é frequente a utilização de membranas resilientes muito finas, com espessuras da ordem de 2 mm, que do ponto de vista teórico podem ser suficientes, mas, na prática, devido à falta de limpeza das bases dos pavimentos, com a presença de grãos da areia que originam ligações rígidas entre a base e o parquet, revelam-se muitas vezes insuficientes. Apesar deste problema não ser tão grave quantos os

anteriores, este pode conduzir a quebras no valor de $L'nT,w$ da ordem de 4 ou 5 dB, relativamente ao previsto. No caso de revestimentos de piso flexíveis, um dos problemas frequentes reside na escolha incorrecta do vinílico ou do linóleo a aplicar, provocada sobretudo pela falta de informação e pelo seu custo, sendo frequente a aplicação de vinílicos ou de linóleos correntes com base rígida (cuja redução no valor de $L'nT,w$ é geralmente inferior a 5 dB), ao invés de base flexível (que poderá conduzir a uma redução no valor de $L'nT,w$ superior a 15 dB) [4].

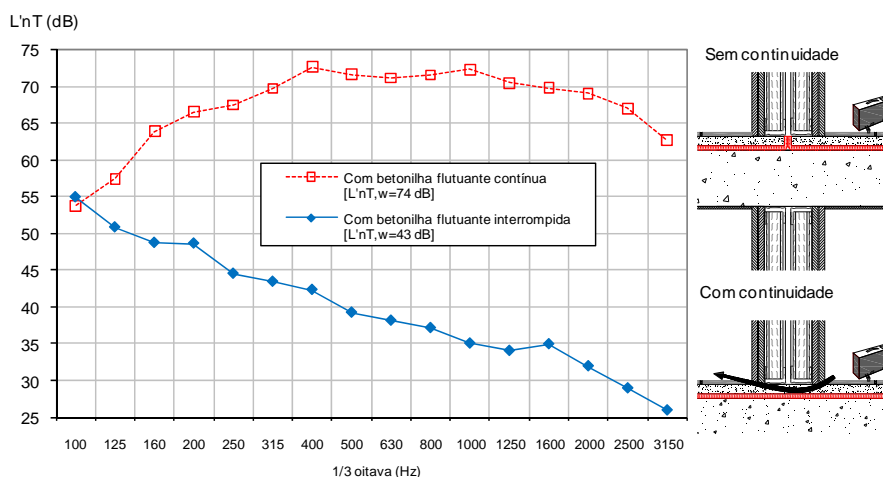


Figura 7 – Nível de pressão sonora padronizado entre compartimentos adjacentes do mesmo piso, com e sem continuidade na betoneira flutuante.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar dos resultados apresentados corresponderem apenas a casos de estudo, não podendo ser generalizados para outras situações, ainda que aparentemente semelhantes, estes permitem verificar que efectivamente a obtenção de uma construção de qualidade, do ponto de vista de isolamento acústico, muitas vezes depende mais de pequenos pormenores de execução do que das características gerais das soluções construtivas adoptadas. Em muitos casos, a adopção de soluções construtivas não tradicionais, previsivelmente com elevado desempenho acústico, em que os intervenientes na construção desconhecem a sua correcta aplicação, acabam por resultar muito pior que outras soluções tradicionais (com desempenho previsivelmente inferior). Para além do processo construtivo e das eventuais decisões erradas durante a obra, o sucesso da obra, do ponto de vista acústico, exige também uma adequada coordenação de projecto, sendo fundamental uma interligação entre a acústica e as restantes especialidades envolvidas em projecto, nomeadamente a arquitectura, a estabilidade e as instalações técnicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Diogo Mateus, Andreia Pereira e Vitor Abrantes, *Acoustics and Noise Control within School Buildings*, Cadernos d'Obra – International Building Journal, #03 May 2011.
- [2] Diogo Mateus, *Avaliação Acústica de Edifícios - Soluções Construtivas Correntes e Problemas Típicos de Execução*, coluna de acústica da revista – Construção Magazine, Vol. 37 e 38, 2010.
- [3] RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei nº 129/2002 de 11/05 com a nova redacção dada pelo Decreto-Lei nº 96/2008 de 09/06.
- [4] Diogo Mateus, Andreia Pereira, Paulo Santos – *Estudo da Influência de Pequenos Defeitos de Construção no Desempenho Acústico de Pavimentos Flutuantes* – Acústica 08, in CD ROM, 20 - 22 de Outubro, 2008, Coimbra, Portugal.