

AVALIAÇÃO E TRANSMISSÃO DE RUÍDO DE BAIXA FREQUÊNCIA EM EDIFÍCIOS - CASOS DE ESTUDO

PACS: 43.55.Br, 43.50.Jh

Mateus, Diogo; Pereira, Andreia
ISISE, 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
diogo@dec.uc.pt ; apereira@dec.uc.pt

Palavras Chave: Baixa frequência, Ruído, Vibrações, Incomodidade

ABSTRACT

Excessive noise in urban environment is currently one of the main causes for complain, being often very hard to solve, particularly when low frequency noise is concerned. One further difficulty is that Portuguese legislation sometimes underestimates this type of noise. Although the criterion used, based on the A-weighting of sound levels, is representative of the way most people listen, it does not properly protect people with high sensibility to low-frequency noise. Within this context, a number of case studies are discussed in this paper, demonstrating the importance of low frequency noise evaluation. The behaviour of several types of constructive solutions in relation to low frequency noise is also evaluated.

RESUMO

O excesso de ruído constitui atualmente um dos principais motivos de reclamação, por vezes de muito difícil resolução, em particular quando se trata de ruído de baixa frequência, com a agravante da legislação aplicável em Portugal por vezes subvalorizar este tipo de ruído. Apesar do critério utilizado, baseado na ponderação A, ser representativa da forma de audição da generalidade das pessoas, não protege devidamente pessoas com grande sensibilidade a ruídos de baixa frequência. Neste contexto, serão apresentados na presente comunicação alguns casos de estudo onde se demonstra a importância da avaliação do ruído de baixa frequência e onde são também avaliados vários tipos de soluções construtivas.

1. INTRODUÇÃO

A exposição de edifícios a vibrações ambientais e ruído de baixa frequência, decorrentes de solicitações externas e internas, pode traduzir-se não só num fator de degradação para os edifícios, normalmente para solicitações de muito baixa frequência transmitidas através do solo de fundação, como também, cada vez com mais frequência, num fator de incomodidade acústica, em particular para utilizações sensíveis, nomeadamente em edifícios habitacionais

[1,2, 3]. No interior dos edifícios, a multiplicidade de equipamentos mecânicos, nomeadamente em instalações técnicas, bem como a existência de outras fontes de ruído de baixa frequência, pode originar também vibrações significativas, sendo estas geralmente percebidas sobretudo sob a forma de ruído, não tendo habitualmente impacto significativo sobre a sua estrutura. Para além da complexidade habitualmente relacionada com o estudo de situações que envolvam ruído de baixa frequência, a própria legislação aplicável nem sempre é a mais apropriada [4]. Por exemplo, segundo a legislação atualmente em vigor em Portugal (Regulamento Geral do Ruído [5]), a avaliação do ruído é efetuada em dB(A), que introduz uma ponderação muito acentuada em baixas frequências, que até pode funcionar bem na maioria das situações, mas que em muitos casos torna-se excessiva, desprotegendo as pessoas mais sensíveis ao ruído de baixa frequência.

No presente artigo, são apresentados e avaliados resultados de um conjunto de casos de estudo, onde se pretende demonstrar a importância da avaliação do ruído em baixa frequência, como forma de prevenção da incomodidade sonora, e os constrangimentos normalmente existentes, quer ao nível da legislação existente em vigor, quer na execução de soluções construtivas eficazes em baixas frequências. Na parte final deste artigo, e de uma forma mais genérica, é ainda avaliada a influência das características do espectro de ruído no isolamento sonoro efetivo entre dois locais.

2. RÚIDO DE BAIXA FREQUÊNCIA

A regulamentação existente em vigor em Portugal, no que respeita às condições acústicas, é apresentada no Regulamento Geral do Ruído (RGR) [5]. Este regulamento define, de uma forma global, uma política de prevenção e combate ao ruído, tendo em vista a salvaguarda da saúde e o bem estar das populações. Na vertente do conforto acústico nos edifícios a regulamentação aplicável em Portugal é regulada pelo Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [6]. Contudo, no âmbito destes dois regulamentos, a avaliação do ruído é efetuada em dB(A), que considera uma ponderação muito acentuada em baixas frequências. Por exemplo, para um nível de ruído de 70 dB na banda de 1/3 de oitava de 50 Hz corresponde, depois de aplicada a ponderação A, a um valor próximo de 40 dB(A) nessa banda de frequência. Por outro lado, e apesar da gama audível corresponder a uma gama muito alargada, entre 20 e 20 000 Hz, a avaliação de ruído é efetuada geralmente entre as bandas de 1/3 de oitava entre 50 e 10000 Hz, com possibilidade de uma penalização de 3 dB(A), quando se verifica uma tonalidade em bandas de 1/3 de oitava entre 63 e 8000 Hz. Na avaliação do isolamento sonoro a gama em avaliação é ainda mais restrita, em geral entre as bandas de 1/3 de oitava 100 e 3150 Hz.

Apesar da aplicação da curva de ponderação A permitir uma aproximação à resposta do ouvido humano, muitas vezes esta é excessivamente “benevolente” para o ruído de baixa frequência. Efetivamente, um ruído de baixa frequência poder ser quase impercetível para a generalidade das pessoas, onde a curva de ponderação A até pode funcionar bem, mas para outras pessoas com elevada sensibilidade a ruídos de baixa frequência, uma avaliação em dB(A) é claramente desfavorável e não as protege devidamente, nomeadamente no que se refere à incomodidade sonora e aos consequentes distúrbios psicológicos. Estes podem consistir num agravamento da insatisfação, mal-estar, ansiedade, confusão, preocupação, inquietação e angústia, que podem levar, entre outros problemas de saúde, a uma acumulação de stress e à perturbação do sono. Em pessoas com grande sensibilidade ao ruído de baixa frequência (em particular abaixo de 100 Hz), a exposição prolongada a níveis de ruído significativos nesta gama de frequências pode conduzir à chamada doença vibroacústica, que, para além dos distúrbios psicológicos já referidos, pode originar também insuficiências respiratórias.

Nas Figuras 1 e 2 são apresentados resultados de uma medição de ruído numa gama alargada em frequência, entre as bandas de 20 e 20 000 Hz, com e sem ponderação A. Esta medição foi realizada no interior de habitação de um edifício multifamiliar, onde foi apresentada uma

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

reclamação relativamente ao ruído de motor elétrico existente no edifício, com funcionamento do tipo pára-arranca (intermitente).

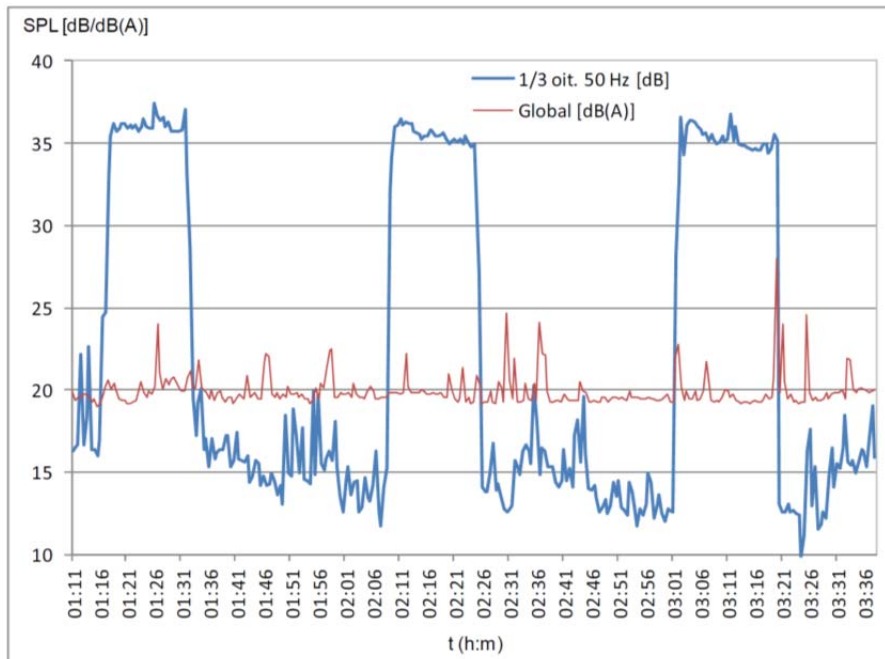


Figura 1 - Níveis de ruído registados ao longo do tempo, considerando uma avaliação global em dB(A) e uma avaliação específica na banda de frequência onde se verificou uma forte tonalidade (50 Hz), neste caso sem ponderação A (em dB).

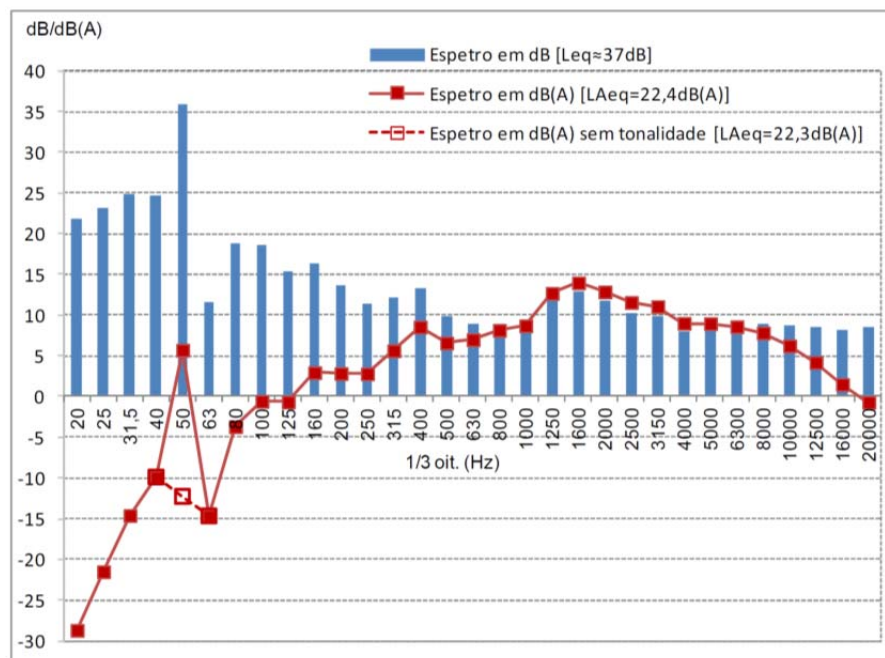


Figura 2 - Espectro em frequência obtido para o primeiro patamar identificado na Figura 1, considerando uma avaliação não ponderada (em dB) e uma avaliação ponderada A [em dB(A)].

Como neste caso a componente espectral era rica sobretudo em frequências muito baixas (mais especificamente na banda de 1/3 de oitava de 50 Hz), os patamares que facilmente se identificam na curva não ponderada da banda de 50 Hz são imperceptíveis na curva global em dB(A), que integra toda a gama audível, sendo praticamente irrelevantes no valor de L_{Aeq} . O valor de L_{Aeq} registado durante o primeiro patamar foi 22,4 dB(A) e baixou apenas 0,1 dB(A), quando se anulou a banda de 50 Hz, responsável pelo incómodo. Da aplicação da legislação em vigor em Portugal (RGR) pode concluir-se que este tipo de ruído não é “legalmente incomodativo”, uma vez que o acréscimo é praticamente desprezável. Mesmo existindo uma tonalidade, ela ocorre fora das bandas de análise (63 a 8000 Hz), pelo que não se aplica.

3. ISOLAMENTO DE RUÍDO DE BAIXA FREQUÊNCIA

O isolamento sonoro entre dois compartimentos, depende não só do elemento de separação direto, em compartimentos contíguos, mas também da restante envolvente de cada compartimento. O aumento de isolamento pode ser conseguido, entre outras formas, através do aumento da massa e/ou da criação de elementos do tipo multicamada, sem ligação rígida entre si. A transmissão de sons de percussão, no pavimento, depende das transmissões diretas (no caso de transmissão descendente, entre compartimentos adjacentes), bem como das transmissões marginais, através dos elementos adjacentes. De uma forma geral, a minimização do ruído transmitido por esta via pode ser conseguida, de forma bastante eficaz, através da utilização de revestimentos de piso flexíveis ou de pavimentos flutuantes aplicados sobre camada resiliente.

Em edifícios correntes, com lajes em betão e paredes em alvenaria, mesmo para compartimentos adjacentes, é possível atingir um elevado isolamento sonoro (valores elevados de $D_{nT,w}$ e valores reduzidos de $L'_{nT,w}$) se for executado no espaço emissor um reforço integral de isolamento em toda a envolvente, através de elementos aligeirados rigidamente desligados da base que os suporta, criando uma “caixa” no interior do espaço emissor existente (conceito habitualmente designado de “box in box”). Para além do reforço integral de toda a envolvente do espaço (pavimento, paredes e tetos), normalmente com elementos em sanduíche suportados pelos elementos existentes através de apoios antivibratórios, é necessário controlar ainda os sistemas técnicos, nomeadamente entradas e saídas de ar, bem como os vãos existentes (portas e janelas). Intervenções segundo conceito “box in box” permitem um isolamento bastante elevado, mas sobretudo em médias e altas frequências. Para frequências muito baixas, as melhorias são geralmente muito inferiores. A obtenção de ganhos também elevados em baixa frequência passa geralmente pela separação estrutural dos compartimentos emissor e recetor. A título de exemplo, são apresentados na Figura 3 dois tipos distintos de separação entre frações de habitação: no primeiro caso existe uma junta de dilatação entre frações e os elementos de separação diretos são muito pesados; e no segundo caso a estrutura do edifício é comum às duas frações, existindo um reforço integral de isolamento (aligeirado) em cada uma das frações, segundo o conceito de “box in box”.

No caso da separação entre espaços destinados a habitação, os dois tipos distintos de intervenção podem conduzir a resultados muito favoráveis ($D_{nT,w} = 69$ dB para a solução 1 e $D_{nT,w} = 65$ dB para a solução 2). Contudo, quando se pretende a separação entre um espaço emissor com forte emissão em ruído de baixa frequência e um espaço recetor sensível, como uma habitação, ambos no mesmo edifício (com a mesma estrutura), o reforço de isolamento através do referido conceito “box in box” pode não ser suficiente, mesmo para situações em que não existe separação direta entre espaços. A título de exemplo, são apresentados na Figura 4 um esquema das principais soluções implementadas e os resultados obtidos para uma discoteca, instalada num edifício misto. Neste caso, um dos compartimentos mais desfavoráveis situa-se 3 pisos acima do piso da discoteca (existindo espaços destinados a comércio e serviços nos pisos intermédios). São apresentados resultados obtidos antes (com

FIA 2018

XI Congresso Iberoamericano de Acústica; X Congresso Ibérico de Acústica; 49º Congresso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

lajes maciças em betão e paredes em alvenaria de tijolo) e após o reforço integral da envolvente da discoteca. Tendo em conta o elevadíssimo isolamento atingido, os ensaios tiveram que ser realizadas com emissão através do próprio sistema eletroacústico da discoteca (com ligação a gerador de "ruído rosa"). Mesmo assim, para frequências acima de 2000 Hz os resultados foram afetados pelo ruído residual, podendo, na realidade ser significativamente mais favoráveis do que os apresentados.

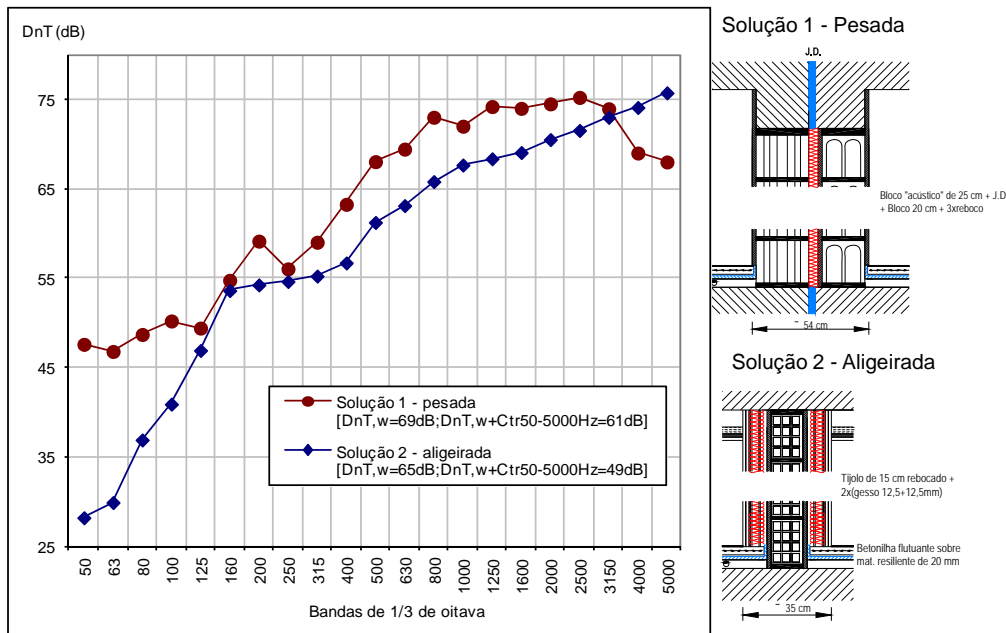


Figura 3 - Isolamento sonoro padronizado para dois tipos de separações: Solução 1, com 2 paredes pesadas e junta de dilatação; Solução 2, com parede simples e reforço integral aligeirado de ambos os lados.

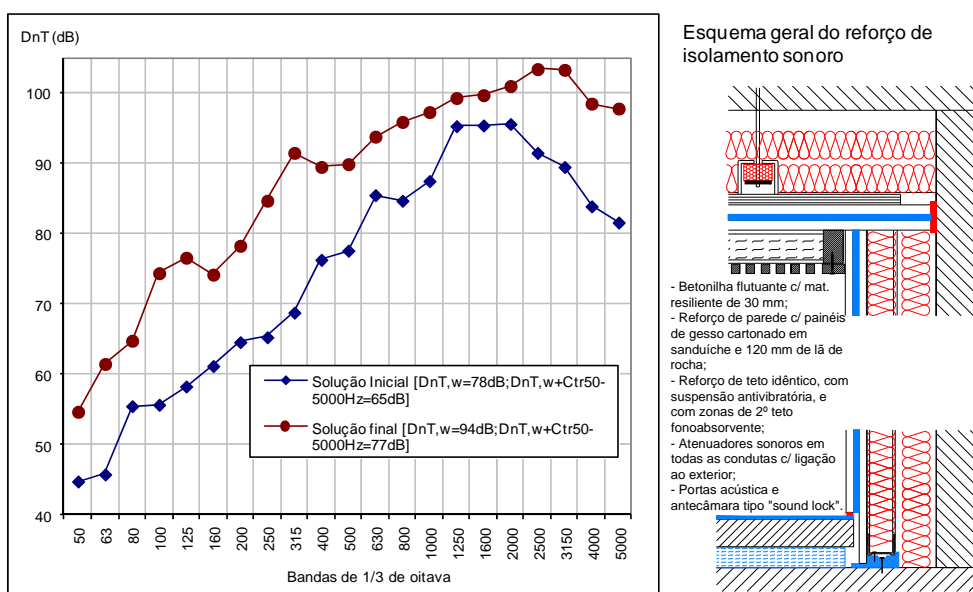


Figura 4 - Curvas de isolamento sonoro padronizado entre um espaço amplo destinado a discoteca e um quarto situado 3 pisos acima, obtidos antes e após o reforço integral da envolvente da discoteca.

Da análise da Figura 4 é possível verificar um aumento no valor de $D_{nT,w}$ de 16 dB, entre as situações inicial e após reforço de isolamento, mas se em vez deste índice for considerado um índice adaptado a uma componente espectral rica em baixa frequência, correspondente a $D_{nT,w} + Ctr_{50-5000Hz}$, esse aumento é de 12 dB, e em vez de se falar num índice de 94 dB teremos de falar num índice “adaptado” de 77dB (num dos espaços de serviços situado imediatamente sobre a discoteca o valor de $D_{nT,w} + Ctr_{50-5000Hz}$ aumentou 20 dB). De acordo com a norma NP EN ISO 717-1 [7], e conforme explicação mais detalhada na secção seguinte deste artigo, o parâmetro $Ctr_{50-5000Hz}$ corresponde a um termo de adaptação para um espectro de ruído de tráfego urbano, entre as bandas de 1/3 de oitava de 50 e 5000 Hz. Apesar das diferenças entre ruído de tráfego e o ruído existente habitualmente no interior de uma discoteca, a consideração do termo de adaptação $Ctr_{50-5000Hz}$ na estimativa do isolamento sonoro efetivo relativamente a discotecas, ou eventualmente bares com forte componente de baixa frequência (com forte presença dos chamados “sub-graves”), pode conduzir a resultados próximos dos reais [10].

De acordo com o exposto anteriormente, se for considerado um valor de LA_{eq} no interior da discoteca de 105 dB(A), que, apesar de exagerado, se atinge com frequência na pista de dança de discotecas, ainda que durante períodos de tempo pouco alargados, o valor de LA_{eq} no referido quarto, devido apenas à contribuição da discoteca, seria próximo de 28dB(A). Este valor, além de elevado e poder ultrapassar claramente os limites regulamentares (sobretudo em zonas “calmas”), pode ser sentido por algumas pessoas, com grande sensibilidade a baixa frequências, de forma muito mais intensa, conforme referido na secção anterior deste artigo. Deste modo, em casos deste tipo, justifica-se ainda a aplicação de um limitador de som no sistema de som do estabelecimento.

4. INFLUÊNCIA DO ESPETRO DE RUÍDO NO ISOLAMENTO SONORO EFETIVO

A verificação de requisitos de isolamento acústico regulamentares em Portugal, à semelhança do que acontece noutros países da Europa, é efetuada a partir da avaliação de um valor único de isolamento. No caso do isolamento a sons aéreos entre compartimentos, o valor único previsto na legislação nacional [6] é o índice $D_{nT,w}$. No entanto, e conforme já referido na secção anterior, a partir das curvas de isolamento em frequência, para além da determinação deste índice, é também possível a determinação dos termos de adaptação C e Ctr [7]. O primeiro, quando somado ao índice $D_{nT,w}$, traduz o isolamento efetivo para um espectro do tipo “Ruído Rosa”, rico sobretudo em médios e agudos, e que é representativo de atividades baseadas na voz humana (palavra, rádio, TV, brincadeiras de crianças, etc.) ou de equipamentos de alta rotação. O segundo, quando somado a $D_{nT,w}$, traduz o isolamento efetivo para um espectro do tipo “Ruído de Tráfego Urbano”, rico sobretudo em baixas e médias frequências, sendo representativo do tráfego rodoviário urbano assim como da música em bares e discotecas ou do ruído gerado pela generalidade dos equipamentos de baixa rotação. Para situação de edifícios “correntes”, onde não se enquadram os casos de estudo anteriores, que apresentavam índices de isolamento muito elevados, o termo C toma geralmente valores entre -2 e 0, enquanto que Ctr toma geralmente valores negativos mais acentuados (da ordem de -3 a -6, para elementos de separação pesados, ou valores muito mais penalizantes para elementos leves). Atualmente estes termos de adaptação são determinados para bandas de 1/3 de oitava entre 100 e 3150 Hz, mas encontra-se em estudo a possibilidade de alargamento desta gama ao intervalo entre as bandas de 50 e 5000 Hz, sendo os termos representados por $C_{50-5000Hz}$ e $Ctr_{50-5000Hz}$. Com este alargamento, o valor dos termos de adaptação passam a ter amplitudes negativas ainda maiores, em particular no caso do $Ctr_{50-5000Hz}$ e para elementos de separação mais leves e de elevado índice $D_{nT,w}$.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Apesar do RRAE [6] apenas incluir a aplicação dos termos de adaptação para a verificação de isolamento de fachada, em situações com mais de 60% de área envidraçada, é conveniente a consideração destes termos também para a separação entre espaços interiores, em particular quando se pretende prevenir a incomodidade nos espaços vizinhos. De uma forma aproximada, e para situações de ruído na emissão rico em baixas frequência poderá obter-se uma ordem de grandeza de L_{Aeq} na receção subtraindo ao valor de L_{Aeq} , estimado para a emissão, o valor global de $D_{nT,w} + (Ctr \text{ ou } Ctr_{50-5000Hz})$, em vez de considerar apenas o índice $D_{nT,w}$. Esta situação é válida quando a transmissão por via estrutural é desprezável, o que implica normalmente a implementação de soluções adequadas de revestimento de piso e/ou de suportes antivibratórios.

Considere-se a título de exemplo os espectros de ruído indicados na Figura 5a, para dois tipos distintos de atividades ruidosas, mas em que por simplificação do cálculo a seguir apresentado se consideram ambas com o mesmo valor de nível sonoro equivalente L_{Aeq} : um espectro médio registado no interior de uma discoteca, na qual foram descontados 8 dB em todo o espectro; e outro espectro médio registado no interior de um bar com música ao vivo. Além da variação da emissão, considere-se ainda a possibilidade de duas situações distintas de isolamento a sons aéreos (ver Figura 5b), ambas com o mesmo índice global $D_{nT,w}$ e substancialmente elevado: uma obtida para uma separação direta pesada (superior a 500 kg/m²); e outra para uma separação "leve" duplamente reforçada com elementos "leves", cuja massa total não ultrapassa os 100 kg/m².

Neste exemplo, se fosse descontado ao valor de L_{Aeq} na emissão o valor de $D_{nT,w}$ o resultado de L_{Aeq} na receção seria de 31 dB(A), em ambos os casos. Com o termo de adaptação Ctr esse valor de L_{Aeq} passaria para 35 e 42 dB(A), respetivamente para a separação pesada e separação leve. Com o alargamento em frequência, considerando $Ctr_{50-5000Hz}$, o valor de L_{Aeq} passaria para 39 e 51 dB(A), respetivamente para a separação pesada e separação leve. Ou seja, no caso do "Bar" a consideração do termo de adaptação $Ctr_{50-5000Hz}$ conduz a resultados muito próximos dos obtidos por uma análise detalhada em frequência, mas para a "Discoteca" era necessário penalizar ainda mais o índice de isolamento, em particular para a separação leve (que felizmente não é habitual nestes casos).

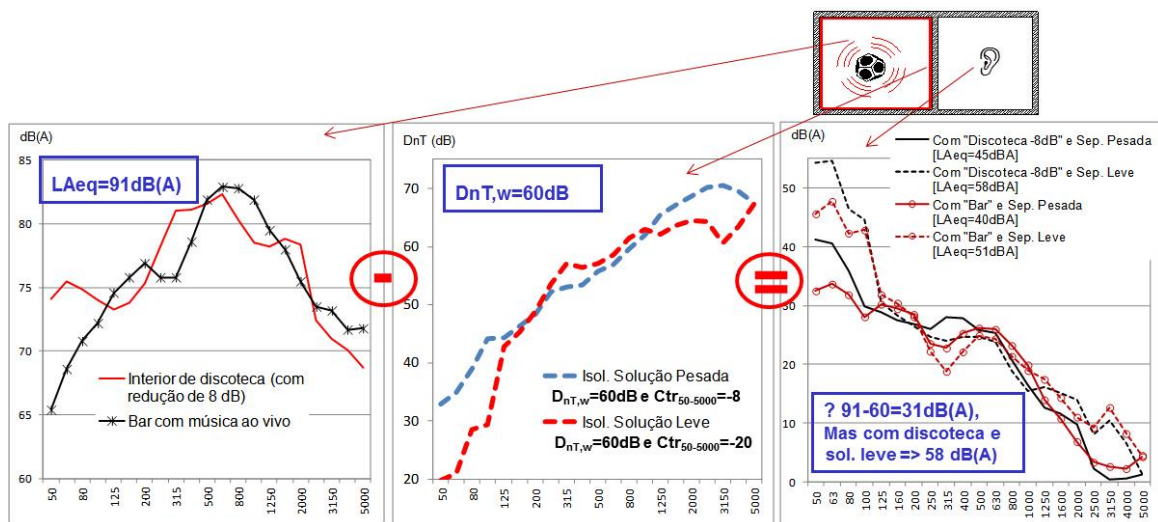


Figura 5 - Níveis de ruído previstos para um espaço recetor adjacente a um "Bar" ou a uma "Discoteca", para dois tipos de espectros distintos e para 2 tipos de separações (com valores iguais de L_{Aeq} e $D_{nT,w}$).

Pelo exposto e da análise de casos reais, é possível verificar que é praticamente impossível obter condições de isolamento adequadas quando o espaço recetor sensível é adjacente a um espaço emissor tipo “Discoteca”, mesmo para envolventes muito pesadas e acusticamente muito bem reforçadas. Por exemplo, mesmo para a situação de “bar”, considerando o espectro anteriormente apresentado, para se obter uma contribuição de L_{Aeq} da atividade ruidosa no recetor inferior a 24 dB(A), que muitas vezes acaba por ser excessiva em período noturno, o valor de isolamento efetivo ($\approx D_{nT,w} + Ctr_{50-5000Hz}$) deve ser superior a 67 dB, o que geralmente só é possível com valores de $D_{nT,w}$ superiores a 75 dB, que são extremamente difíceis de atingir na prática, entre espaços adjacentes.

5. CONCLUSÕES

Da análise dos casos de estudo aqui apresentados, e face ao crescente aumento de reclamações e de problemas de saúde no domínio das baixas frequências, considera-se que deverão ser implementadas alterações legais significativas, nomeadamente no alargamento da atual gama de frequências e em particular na consideração de curvas de ponderação mais penalizantes para baixas frequências. Por outro lado, e em particular para ruídos de baixa frequência, a prevenção destes problemas deve passar pelo estudo adequado de condicionamento acústico e de controlo de ruído em fase de projeto, antes da instalação das atividades ruidosas, com a “estimativa da incomodidade” baseada não apenas no índice $D_{nT,w}$, mas em todo o espetro de ruído previsto, para a atividade e/ou equipamentos a instalar, e na curva de isolamento em frequência. Contudo, e em particular para novos estabelecimentos, onde se torna difícil prever o espetro de ruído, esta avaliação poderá ser efetuada de forma mais simplificada, mas ainda assim eficaz, através da consideração do termo de adaptação mais apropriado. No caso de atividades e/ou equipamentos com forte emissão de baixas frequências, o isolamento global efetivo entre um espaço emissor e um espaço recetor “normalmente mobilado” (com um tempo de reverberação próximo do valor de referência previsto no RRAE) aproxima-se de $D_{nT,w} + (Ctr \text{ ou } Ctr_{50-5000Hz})$. O termo Ctr pode ser considerado para a generalidade das situações, mas para situações extremas de ruído em baixa frequência, como as discotecas ou bares com forte componente de sub-graves, é conveniente considerar o termo $Ctr_{50-5000Hz}$.

REFERÊNCIAS

- [1] Bachmann, H., Ammann, W., Vibrations in Structures Induced by Man and Machines. IABSE Structural. Engineering Documents, 1987.
- [2] Schiappa F., Patrício J., Critérios de Danos e de Incomodidade no Domínio das Vibrações Ambientais. Ingenium, 2ª Série, Nº 72, Janeiro 2003, p. 84-88.
- [3] António, J.; Mateus, D. - "Influence of low frequency bands on airborne and impact sound insulation single numbers for typical Portuguese buildings", Applied Acoustics, Vol. 89(2015), 141-151.
- [4] Mateus, D., 2014. “Transmissão de ruído de baixa frequência – Critérios de avaliação e aplicação a casos de estudo”, Simpósio de Acústica e Vibrações, Universidade de Coimbra/ITECONS, em Coimbra, fevereiro 2017, p. 1-11.
- [5] Portugal. Leis, decretos, 2007. “Regulamento Geral do Ruído (RGR)”. Decreto-Lei nº 9/2007 de 17/01.
- [6] Portugal. Leis, decretos, 2008. “Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE)”. Decreto-Lei nº 129/2002 de 11/05, com a nova redação dada pelo Decreto-Lei nº 96/2008 de 9/06.
- [7] NP EN ISO 717-1:2013. “Acústica Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea”.