



Vibrações em edifícios: aspetos a ter em consideração na avaliação do ruído induzido por vibrações

Sónia Antunes¹, Jorge Patrício¹, Fernando Schiappa de Azevedo¹, Paulo Valério²

¹ LNEC, Lisboa, Portugal
{santunes@lnec.pt; jpatricio@lnec.pt, fschiappa@yahoo.com }

² NoiseLab, Lisboa, Portugal
paulovalerio@gmail.com

Resumo

Com a melhoria da qualidade da edificação, mais especificamente do respetivo isolamento sonoro, outros aspetos começaram a ter uma maior importância na definição do conforto dentro das habitações.

Em zonas urbanas, os efeitos das vibrações devido à circulação de tráfego ferroviário, começaram já há alguns anos, a ter especial importância. Efetivamente os ocupantes dos edifícios podem percecionar as vibrações diretamente, como vibrações mecânicas (para frequências entre 1-80 Hz), ou indiretamente, como ruído re-radiado (na gama de frequências 16-250 Hz). Este último efeito pode ser particularmente sensível em residências com um bom isolamento sonoro, nomeadamente em relação ao exterior, e quando a via férrea se localiza em túnel, como é o caso das linhas de Metro. Esta comunicação apresenta uma breve resenha dos métodos existentes para avaliação deste problema, pretendendo-se constituir como base para uma discussão mais aprofundada sobre esta temática.

Palavras-chave: Incomodidade, vibração, ruído estrutural.

Abstract

With the improvement of building quality, specifically in terms of their sound insulation, other aspects have begun to be of greater importance for the definition of comfort inside houses.

In urban areas, the effects of vibrations due to rail traffic have started to be of special significance, since few years. Effectively building occupants can perceive vibrations, directly, as mechanical vibrations (usually for frequencies between 1-80 Hz), or indirectly, as re-radiated noise (in the frequency range 16-250 Hz). The latter effect may be particularly sensitive in homes with a good sound insulation, particularly in relation to outside, and when the railroad is located in tunnel, as is the case of subway lines.

This paper presents a brief review of the existing methods to assess this problem, aiming to be a basis for further discussion on this topic,

Keywords: Annoyance, vibration, structural noise.

PACS no. 43.40.Qi



1 Introdução

As vibrações nos edifícios podem ter origem em fontes internas derivadas do funcionamento de equipamentos vários (sistemas de ar condicionado, elevadores, compressores), ou até mesmo decorrentes da atividade humana (como domésticas ou de lazer, por exemplo). As fontes de vibração externas estão usualmente associadas ao tráfego ferroviário e rodoviário, à passagem do metropolitano, a atividades de construção e a fontes naturais, como por exemplo os tremores de terra e as erupções vulcânicas. O resultado destas vibrações pode-se estender desde a incomodidade induzida nos ocupantes do edifício, danos em equipamentos sensíveis, ou até mesmo, danos estruturais no próprio edifício. Muitas vezes, a ordem de grandeza das vibrações com origem dentro das habitações, pode ser muito superior à magnitude da vibração gerada por fontes externas, ou até mesmo à gerada em outras partes do edifício.

A fonte de vibrações ambientes que mais frequentemente dá origem a reclamações é a originada pelo tráfego ferroviário. No interior dos edifícios as vibrações daí derivadas podem manifestar-se segundo dois modos distintos:

- a) vibração perceptível, como por exemplo, a vibração de pisos, paredes, etc. que pode ser apercebidas pelos seres humanos através da sensação tátil, pelo contato de partes do corpo com as superfícies em vibração, ou por meio de um movimento vibratório audível, como o abanar de vidros nas janelas.
- b) ruído de baixa frequência (usualmente definido na gama de frequências compreendidas entre 10/20 Hz e os 150/200 Hz), o qual resulta frequentemente da vibração que se propaga pelas fundações de edifícios e estruturas, e que excitam os elementos de compartimentação interiores, como paredes, pavimentos e tetos. Este movimento vibratório origina ondas sonoras que são apercebidas pelo ouvido humano como ruído (usualmente designado por ruído estrutural). Também é possível que as ondas sonoras de baixa frequência, possam interagir com outras partes do corpo humano e, assim, serem apercebidas como um desconforto.

A resposta humana às vibrações em edifícios varia desde a simples perceção até uma reação de desconforto experimentada pelo indivíduo perante a presença do estímulo vibratório (incomodidade). A partir de uma determinada amplitude de vibração, e antes de se tornar incomodativo, o evento vibratório é percecionado pela pessoa. Efetivamente, ao conceito de perceção estão usualmente associadas amplitudes de vibração mais baixas do que ao conceito de incomodidade, embora a repetição de eventos perceptíveis possa conduzir a incomodidade. A tabela 1 apresenta uma relação genérica entre a vibração e a perceção.

Tabela 1 – Perceção e amplitudes de vibração (vibrações sinusoidais) [6]

Valor eficaz (RMS) aceleração ponderada (m/s^2)	Perceção
< 0,01	Não perceptível
0,015	Limiar da perceção
0,02	Raramente perceptível
0,08	Facilmente perceptível
0,315	Fortemente perceptível
> 0,315	Extremamente perceptível



A avaliação da incomodidade induzida por eventos vibratórios no interior de edifícios é de difícil quantificação, pois verifica-se que difere de indivíduo para indivíduo, dependendo de fatores como a idade, género, estado de saúde, atividade desenvolvida durante a ocorrência do fenómeno vibratório, e tempo de exposição e de duração do fenómeno vibratório [8]. Outros fatores que podem influenciar a resposta humana às vibrações, designadamente às vibrações ambientais, relacionam-se com a disponibilidade de informação sobre o fenómeno vibratório, designadamente tipo e duração (expetativas). Para além disso, a sensibilidade humana aos níveis de vibração varia conforme as características do fenómeno vibratório, dependendo do seu conteúdo em frequência, direção e amplitude. Por exemplo a norma ISO 2631-1 (versão de 1997) sugere os valores constantes na tabela 2, como indicativos da sensação de desconforto relativamente às amplitudes de aceleração de vibração.

Tabela 2 – Amplitudes de vibração e reações ao desconforto causado por vibrações (ISO 2631-1)

Valor eficaz (RMS) aceleração ponderada (m/s ²)	Perceção
inferior a 0,315	não é desconfortável
de 0,315 a 0,63	um pouco desconfortável
entre 0,5 a 1	razoavelmente desconfortável
de 0,8 a 1,6	desconfortável
de 1,25 a 2,5	muito desconfortável
superior a 2	extremamente desconfortável

Um outro fator importante na resposta humana à vibração está relacionado com a posição em que o indivíduo se encontra quando percebe o movimento vibratório. No entanto, e apesar das dificuldades acima referidas, a norma referenciada anteriormente (ISO 2631-1) apresenta critérios para a avaliação da vibração tendo em conta a localização do indivíduo. Parâmetros relacionados com a fonte de vibração (como, por exemplo, o horário de funcionamento), também contribuem para a explicação da incomodidade induzida pelas vibrações, verificando-se, para um mesmo valor de exposição, valores de incomodidade superiores durante o período da noite (23h-07h), e depois durante o período do entardecer (19h-23h), e finalmente durante o período diurno (07h-19h) [6]. Em muitas circunstâncias, a incomodidade induzida não é explicada diretamente pela amplitude e conteúdo espectral das vibrações medidas (ISO 2631-2), mas por fatores que não estão diretamente relacionados com a exposição às vibrações, como por exemplo a sensibilidade a vibrações, medo que a fonte de vibração provoque danos na habitação, entendimento relativamente à utilidade da fonte, expectativas futuras em relação aos níveis de vibração (fatores associados a atitudes). Do mesmo modo, fatores associados à localização (zona urbana ou rural), visibilidade da fonte, número de horas passadas no interior da habitação, e fatores socio demográficos, como, por exemplo a idade, e (cargo vibes), também contribuem para essa explicação. Analogamente ao que sucede com a incomodidade induzida pelo ruído, a incomodidade associada as vibrações é quantificada com recurso à utilização de questionários submetidos aos residentes expostos à vibração durante a realização de inquéritos socio-vibracionais, cujo objetivo é perspetivar a incomodidade de longa duração, a partir do uso de questões cujos itens estão associados a um período de 12 meses, e portanto, integrando as recomendações e escalas constantes na norma ISO/TS 15666.

No que respeita ao ruído de baixa frequência, verifica-se que a deteção/perceção de ruído com estas características, provoca muitas vezes uma angústia extrema para as pessoas que são sensíveis aos seus efeitos [4]. Esta sensibilidade pode ser resultado de uma resposta sensitiva elevada nesta parte do



espectro, ou então adquirida. De facto, a audição das pessoas tende a deteriorar-se com a idade, mas não da mesma maneira ao longo do espectro de frequências, verificando-se uma deterioração mais rápida na gama de frequências médias e mais elevadas do que nas frequências mais baixas. Este facto implica que as pessoas mais idosas possam apresentar uma maior sensibilidade às baixas frequências [3]. O aparecimento de incomodidade gerada por ruído de baixa frequência é mais frequente em indivíduos de meia idade [4], e para níveis de ruído frequentemente baixos, ou até mesmo próximos do limiar de audição de um sujeito, existindo grandes diferenças de sensibilidade entre indivíduos [4]. Iguamente, na avaliação do ruído de baixa frequência no interior dos edifícios, é necessário ter em conta a presença de modos de ressonância (modos próprios) no interior dos compartimentos, o que provoca variações espaciais significativas dos níveis sonoros, verificando-se a existência de amplificações do ruído de baixa frequência em determinados pontos do compartimento. Assim, a utilização de uma metodologia adequada para a sua medição também se reveste de particular importância.

Por último, deve-se ter em conta para a avaliação da incomodidade, o efeito combinado da presença simultânea de vibrações e ruído de baixa frequência. Alguns estudos, relacionados com a avaliação da incomodidade relativa à passagem de tráfego ferroviário, apontam que a incomodidade induzida pela vibração é claramente influenciada pela presença de ruído, embora os resultados obtidos ainda difiram relativamente ao modo de tradução desta influência no julgamento da incomodidade induzida pela vibração (estudo francês). Neste contexto, é importante não considerar separadamente a exposição ao ruído e a exposição à vibração, tendo em conta que ambos os aspectos contribuem para a incomodidade induzida pela fonte em avaliação, como por exemplo, o que ocorrer com o tráfego ferroviário.

2 Metodologias para a medição de ruído de baixa frequência

Os métodos mais simples especificam somente um ponto de medição e uma medição, pelo menos, com a duração de 1 hora. No entanto, este tipo de abordagem não permite considerar a influência dos modos próprios da sala, e, por conseguinte, não tem em conta a variação espacial dos níveis sonoros, podendo assim originar conclusões falsas. Métodos mais avançados enfatizam a realização de medições nos cantos do compartimento, o que, por seu lado, pode conduzir à superestimação dos níveis sonoros, relativamente aos valores usualmente associados às posições do ocupante.

No método estabelecido por Pedersen para a avaliação do ruído de baixa frequência [2] são realizadas medições nos 4 cantos do compartimento a uma distância máxima de 0,1 m de qualquer superfície. Este procedimento permite a obtenção do nível sonoro máximo, com uma maior reprodutibilidade. De seguida é calculada a média energética dos valores medidos, à qual são subtraídos 4 dB. Considera-se que o valor assim determinado descreve o nível sonoro percebido no compartimento em avaliação.

O documento sueco SP INFO 1996 indica que as medições devem ser realizadas por bandas de terços de oitava entre 31,5 – 200 Hz. O nível sonoro associado a um compartimento, resulta da média associada a três posições de medição. Duas posições são representativas das posições do ouvido dos ocupantes (altura do pavimento de 0,6m, ou 1,2m ou 1,6m, e distância das paredes de, pelo menos, 0,5m), tendo em conta o uso normal do compartimento, enquanto que a terceira posição diz respeito à medição associada a um canto, ao qual corresponde um valor máximo (distância de 0,5 m de qualquer parede), avaliado com a malha de ponderação em frequência C.



Na Dinamarca a avaliação do ruído de baixa frequência no interior de um compartimento, é também calculada a partir do valor médio para 3 posições de medição. As primeiras duas posições representam a ocupação usual dos ocupantes, devendo ser realizadas a uma altura entre 1 e 1,5 m, e afastadas de 0,5 m das paredes, e nunca localizadas no centro do compartimento. A terceira posição corresponde a uma posição arbitrária de um canto. A norma ISO 16032 [5] preconiza a realização de medições simultaneamente com as malhas de ponderação em frequência A e C, por bandas de oitava, entre 31,5 Hz e 8 kHz, sendo utilizados 3 pontos de medição. Duas posições estão localizadas a uma altura situada entre 1,0 e 1,5 m, e a uma distância as paredes do compartimento de, pelo menos, 0,5m. No entanto, não são consideradas as posições dos ocupantes, mas somente as distâncias mínimas em relação a paredes e objetos, e altura acima do piso. A terceira posição corresponde a uma posição de canto (distanciada de 0,5 m das paredes), para o qual o valor do nível sonoro ponderado C é máximo.

Na Holanda, o guião para o ruído de baixa frequência (NSG 1999), estabelece a realização de medições por bandas de terço de oitava, entre 20-100 Hz, num só ponto de medição, escolhido pelo ocupante. Caso não seja possível a escolha, é selecionada uma posição de canto (distanciada de 0,2 a 0,5 das paredes). Neste contexto, pode-se verificar a existência de muitas *nuanças* para a determinação dos níveis sonoros no interior de um compartimento, associados à avaliação da percepção do ruído de baixa frequência. Poder-se-á dizer que alguns métodos de medição foram estabelecidos para reduzir a incerteza e melhorar e melhorar a reprodutibilidade nas regiões das baixas frequências, enquanto que outros se focam mais nos níveis sonoros sentidos pelos ocupantes. Neste último caso, a reprodutibilidade pode ser baixa, pois diferentes técnicos podem ter critérios distintos para a escolha dos locais representativos das posições dos ocupantes.

Os métodos que sugerem a medição dos níveis sonoros próximos dos cantos do compartimento, e portanto associados a níveis sonoros mais elevados, embora apresentem uma maior reprodutibilidade, não é claro o modo como os valores assim obtidos podem ser comparados com valores “limite”. Neste sentido, é importante o estabelecimento de regras para a medição do ruído de baixa frequência no interior de compartimentos. Por exemplo, no método estabelecido pelo instituto finlandês de saúde ocupacional [12], quando o ruído a avaliar tem características estacionárias, são realizadas medições do nível sonoro contínuo equivalente, por bandas de terços de oitava entre os 20 Hz e 10 kHz, com ponderação linear, e durante, pelo menos 30 segundos. No caso de ruído com características intermitentes são realizadas medições durante um período temporal mais alargado, selecionado de acordo com as características de variação temporal da emissão da fonte, mas usualmente nunca inferior a 24 horas, sendo aconselhada a recolha áudio do sinal, de modo a ser possível o seu processamento posterior, com a identificação das fontes sonoras associadas aos níveis sonoros mais elevados. Neste método, as medições devem ser localizadas nas posições usualmente utilizadas pelos ocupantes, sendo efetuada uma comparação com os valores limites para cada uma das posições individualmente. Usualmente considera-se como zonas de ocupação usual as zonas de descanso, como por exemplo, o sofá, a cama, ou uma cadeira. Como os níveis sonoros podem variar muito devidos às reflexões nas superfícies, considera-se que os pontos de medição devem ter um afastamento mínimo de 0,3m de qualquer superfície, a uma altura de 0,6m (pessoa deitada), 1,2m (pessoa sentada) ou 1,55m (pessoa em pé). Para a caracterização de ruído estacionário, também podem ser realizadas medições no centro do compartimento, mas neste caso utilizando-se o método de varrimento. Também podem ser realizadas medições adicionais próximas dos cantos do compartimento, para verificação dos modos próprios do compartimento, não sendo, no entanto, objetivo destas últimas medições a comparação com os valores limites. Para situações em que o ruído tenha uma característica intermitente, e em casos de reclamações, foi desenvolvido um questionário para apoiar o planeamento das medições, a análise dos registos áudio, assim como o fornecimento de informação sobre o ruído de fundo.

3 Critérios de admissibilidade

Em Portugal não existe regulamentação nacional para critérios de conforto humano relativo a vibrações no interior das edificações, assim como quaisquer valores limite para a avaliação da incomodidade induzida por vibração continuada. Para a percepção de vibrações no interior dos edifícios, em termos de valor eficaz de velocidade de vibração, os autores costumam utilizar os valores de referência indicados na Tabela 3. Estes valores são válidos para a componente vertical ou horizontal da velocidade, caso esta última seja a mais significativa. No que respeita à percepção de vibrações, o valor inferior apresentado (0,11 mm/s) é considerado como o limiar de percepção, sendo, no entanto, ainda admissíveis valores de velocidade eficaz inferiores a 0,28 mm/s, de dia, para as vibrações de pequena duração. Esta abordagem simplificada, deve ser, no entanto, aplicada em termos de ordem de grandeza, constituindo a duração da vibração um parâmetro importante.

Tabela 3 – Valores utilizados pelos autores para a percepção da vibração continuada no interior de edifícios

v_{ef} (mm/s)	Sensação
$v_{ef} < 0,11$	Nula
$0,11 < v_{ef} < 0,28$	Perceptível, suportável para pequena duração
$0,28 < v_{ef} < 1,10$	Nítida, incómoda, podendo afetar as condições de trabalho
$v_{ef} > 1,10$	Muito nítida, muito incómoda, reduzindo as condições de trabalho

No entanto, para a avaliação dos efeitos decorrentes do tráfego ferroviário, e tendo em conta a especificidade deste tipo de fonte (carácter não contínuo, com um número de eventos diários pré-estabelecido), os autores também utilizam os critérios dos EUA [7] expressos em nível de vibração e que dependem da quantificação do número de eventos diários relacionados com a mesma fonte. Caso o número de eventos esteja compreendido entre 30 e 70, é considerado como a ocorrência de um estímulo de vibração frequente. Para um número de eventos diários inferior a 30, o estímulo de vibração é considerado como pouco frequente. Estes limites estão também relacionados com o tipo de edifícios em avaliação (edifícios residenciais, edifícios com sensibilidade à vibração, edifícios especiais, auditórios ou teatros).

Na Tabela 4 apresentam-se os limites para a vibração no interior de edifícios residenciais, indicados pelos critérios da Administração Federal do EUA (em termos de valor eficaz de velocidade de vibração), e originada essencialmente pelo tráfego ferroviário. Estes valores são apresentados em VdB (nível de referência igual a 1×10^{-6} polegadas/s), conforme o documento original, e respetiva conversão para valores de velocidade em mm/s.

Tabela.14 – Critérios utilizados nos EUA para a vibração no interior de edifícios derivada do tráfego ferroviário

Tipo de edifício	Número de eventos diários		
	> 70	70-30	< 30
Residencial	72 VdB (0,101 mm/s)	75 VdB (0,143 mm/s)	80 vdB (0,254 mm/s)



No que respeita ao ruído de baixa frequência, muitos países ainda não possuem valores limites que estejam separados dos valores indicados para o ruído ambiente no exterior, no domínio da gama audível, e expressos como níveis sonoros contínuos equivalentes, ponderados A. Esta questão torna-se pertinente quando o ruído a avaliar tem um carácter muito forte na baixa frequência, uma vez que nestes casos os níveis sonoros limite, com a ponderação A, não são excedidos, embora o ruído seja claramente audível e possa estar associado a incómodo. No caso de ruído estrutural, e portanto um tipo de ruído fortemente caracterizado pelas baixas frequências, os autores têm utilizado um critério, que assegurará geralmente a não emissão pelo elemento vibrante (piso, teto ou parede) de ruído superior a 40 dB(A), o qual se traduz no valor eficaz da componente da vibração perpendicular ao elemento vibrante acima da banda centrada em 63 Hz, e nas bandas audíveis, conforme a expressão: $v_{ef}(f \geq 63 \text{ Hz}) < 0,03 \text{ mm/s}$. No caso do ruído de tráfego ferroviário, e tendo em conta a especificidade desta fonte, os autores usualmente utilizam os critérios aplicáveis para os edifícios residenciais dos EUA (constantes na tabela 5), tendo em conta o número de passagens diárias das composições ferroviárias.

Tabela 25 – Critérios utilizados nos EUA para o ruído estrutural no interior de edifícios para o tráfego ferroviário

Tipo de edifício	Número de eventos diários		
	> 70	70-30	< 30
Residencial	35 dB(A) (0,025 mm/s)	38 dB(A) (0,036 mm/s)	43 dB(A) (0,064 mm/s)

Outro tipo de abordagem para a avaliação do ruído estrutural, é materializado pelo método de natureza orientativa holandês, cujo princípio é o de verificar se o ruído de baixa frequência é audível ou não, e deste modo identificar potenciais problemas. Assume-se a existência de ruído de baixa frequência se o espectro dos níveis de pressão sonora medidos, por bandas de terços de oitava, é superior aos valores constantes no quadro 3.6. Neste quadro apresentam-se também os valores do limiar de audição, para indivíduos otologicamente normais, constantes na ISO 226 (versão de 2003). Neste método, a audibilidade é determinada a partir do limiar de audição para 10% dos indivíduos mais sensíveis, entre a população com idades compreendidas entre 50 e 60 anos. Saliente-se que os limiares de audição assim determinados, são regra geral cerca de 4-5 dB inferiores aos obtidos para os adultos considerados otologicamente normais e com idades entre os 18 e 25 anos) [6]. Refira-se que o método assume que o ruído de baixa frequência é contínuo, não contabilizando, por exemplo, o ruído de natureza intermitente, típico da passagem de composições ferroviárias. No caso da Holanda, o indicador de avaliação dos valores limite, no interior das residências, é o nível sonoro contínuo equivalente, o qual não deve exceder 35 dB(A), durante o dia, e 25 dB(A), durante o período noturno.

Tabela 6 – Níveis sonoros máximos para a baixa frequência na Holanda, Finlândia e Polónia, e valores limiar de audição da ISO 226:2003

Freq. (Hz)	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Holanda	92	88	84	74	64	55	46	39	33	27	22	18	14	10
Curva (ISO 226)	--	--	--	78,5	68,7	59,5	51,1	44	37,5	31,5	26,5	22,1	17,9	14,4
Finlândia	--	---	--	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32
Polónia	80,4	73,4	66,7	60,5	54,7	49,3	44,6	40,2	36,2	32,5	29,1	26,1	23,4	20,9



4 Discussão e conclusões

Na análise da incomodidade induzida pela circulação de tráfego ferroviário, especialmente em túneis, existem situações em que os resultados das medições são inferiores aos limites normativamente e tecnicamente consagrados para a amplitude de vibração, e portanto os estados de vibração induzidos pela passagem das composições do metropolitano, não serão apercebidos enquanto vibrações. No entanto, e particularmente em edifícios com um isolamento sonoro elevado relativamente ao exterior, os valores dos níveis sonoros medidos no interior das habitações, podem até ser inferiores ao valor de 35 dB(A); que corresponde ao valor limite do critério dos EUA. Todavia, os ocupantes desses edifícios, não deixam de reportar uma situação de incómodo, devido à audição de ruído que se sobrepõe claramente ao ambiente sonoro no interior das habitações, cujo valor é muito reduzido. Nestas situações torna-se desejável realizar um estudo mais detalhado, comparando os espectros, expressos em bandas de terços de oitava, referentes a essas situações, de modo a verificar se os valores envolvidos poderiam de algum modo encontrarem-se no domínio da gama do audível, assim como a identificação dos intervalos de frequência em questão, que estão inequivocamente associados à fonte sonora em avaliação.

Para o efeito, sugerem os autores, a utilização dos valores limiares de audição constantes em norma internacional, e nos critérios regulamentares utilizados na Holanda (neste caso, dizem respeito a valores indicativos de 10% da população com melhores características de audição no domínio da baixa frequência), verificando-se se os níveis sonoros envolvidos são passíveis de serem detetados, ou seja apercebidos.

No entanto, e para que esta metodologia possa ser reproduzível por outros técnicos, é necessário o estabelecimento de um guião orientativo para a realização de medições de ruído de baixa frequência, como por exemplo, o descrito no método estabelecido pelo instituto finlandês de saúde ocupacional, assim como o estabelecimento de um questionário de referência, para apoio ao planeamento das medições, análise dos registos áudio, e informação sobre o ruído de fundo e fontes sonoras presentes.

Referências

- [1] Trollé, A.; Marquis-Favre, C.; Parizet, E. Perception and annoyance due to vibrations in dwellings generated from ground transportation. A review. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and active control*, volume 34 (4), 2015, 414-457.
- [2] Pedersen, S.; Møller, H.; Waye, K. Indoor measurements of noise at low frequencies - Problems and solutions. *J. Low Freq. Noise, Vibration and Active control*. Vol. 26 (4), 2007, 249-270.
- [3] Casela Stange. Report of low Frequency noise. Defra, 2001.
- [4] Leventhall, H. Low frequency noise and annoyance. *Noise & Health*, Volume 6 (24), 204, 59-72
- [5] ISO, International Organization for Standardization ISO 16032 :Acoustics - Measurement of sound pressure level from service equipment in buildings - Engineering method.", ISO 2004.
- [6] Elias, P.; VILLOT, M. - Review of existing standards, regulations and guidelines, as well laboratory and filed studies concerning human exposure to vibration. Deliverable D1.4. Project RIVAS. European Commission, 2011

- [7] FTA, 2006 - Transit Noise and Vibration Impact Assessment. FTA-VA-90-1003-06 2006.
- [8] Howart, H.; Griffin, M., 2008 - A Social Survey Questionnaire of Human Response to Vibration in Residential Buildings. Institute of Sound and Vibration Research, Report n° 323, 2008.
- [9] ISO, International Organization for Standardization ISO 226 - Acoustics -- Normal equal-loudness-level contours. International Organization for Standardization, ISO 2003.
- [10] ISO, International Organization for Standardization ISO 2631 - Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration. International Organization for Standardization , ISO 1978.
- [11] ISO, International Organization for Standardization ISO 2631-2 - Evaluation of human exposure to whole-body vibration: Part 2: Continuous and shock-induced vibrations in buildings (1 Hz to 80 Hz). ISO, 1989.
- [12] Oliva, D; Hongisto, V.; Keränen, J.; Koskinen, V. - Measurement of low frequency noise in rooms, Finnish Institute of Occupational Health, Finland, 2011