

**PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA DE ATUAÇÃO NO ÂMBITO DOS  
ESTUDOS DE IMPACTE AMBIENTAL, NA COMPONENTE DE VIBRAÇÕES E  
RÚIDO ESTRUTURAL, NOS PROJECTOS DE VIAS FÉRREAS  
SUBTERRÂNEAS**

PACS:43.40.Qi

Antunes, Sónia; Patrício, Jorge  
Laboratório Nacional de Engenharia Civil  
Av. do Brasil, 101  
Lisboa  
Portugal  
Tel: +351 21 844 3834  
E-Mail:santunes@lnec.pt; jpatricio@lnec.pt

**Palabras Clave:** Vibração, ruído estrutural, impacte ambiental

**ABSTRACT**

Currently there is no consensus for the assessment of the human response to indoor vibrations. Also, the methodology used by several countries is different, as can be seen from the publication and use of different normative documents. This paper presents a proposal for the preliminary evaluation of railway projects, through the calculation of transfer functions and their corresponding validation when the line begins operating. For this purpose, an admissibility criteria, and corresponding equivalence in terms of human response to vibrations, is also presented. Additionally, this paper presents a proposal for the measurement of vibration and noise induced by the passage of rail traffic inside the buildings.

**RESUMEN.**

Atualmente não existe consenso para a avaliação da resposta humana às vibrações no interior de edifícios, na medida em que a metodologia utilizada por vários países é variada, como se pode verificar pela publicação e utilização de diferentes documentos normativos. A presente comunicação apresenta uma proposta de atuação para a avaliação prévia de projectos de exploração, aquando da construção dos primeiros troços da linha, a partir do cálculo de funções transferência, assim como a correspondente validação destas funções aquando da entrada em funcionamento da linha. Para este efeito também são apresentados os critérios de admissibilidade que podem ser utilizados, e correspondente equivalência em termos de resposta humana às vibrações, assim como uma proposta de actuação para a medição de vibração e ruído induzido pela passagem de tráfego ferroviário, no interior dos edifícios.

**1. INTRODUÇÃO**

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, enquadram-se neste facto, os efeitos das vibrações devido à circulação de tráfego ferroviário. Efetivamente os ocupantes dos edifícios podem perceber

diretamente as vibrações, entendidas como vibrações mecânicas (para frequências entre 1e 80 Hz), ou indiretamente, como ruído radiado pelos elementos de construção (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.

A resposta humana às vibrações é muito complexa e, em muitas circunstâncias, a incomodidade induzida não é explicada diretamente pela intensidade e conteúdo espectral das vibrações medidas (ISO 2631-2). A norma ISO 2631-1 apresenta alguns critérios para a avaliação da vibração tendo em conta a localização do indivíduo. Analogamente ao que sucede com a incomodidade induzida pelo ruído, a associada às vibrações é quantificada com recurso à utilização de inquéritos sócio-vibracionais submetidos aos residentes expostos à vibração. É, pois, objectivo deste estudo perspetivar a incomodidade de longa duração, integrando as recomendações e escalas constantes na norma NP ISO 4476 (escala numérica de onze pontos, e escala semântica de 5 pontos), com recurso a questões sobre a exposição à vibração, reportadas a um período de 12 meses.

Por exemplo, no projecto europeu CargoVibes o grau expetável de incomodidade devido às vibrações induzidas pelo tráfego ferroviário foi quantificado, para a direcção vertical, em termos de curvas de exposição-resposta, para três diferentes métricas: velocidade de vibração máxima, ( $V_{dir,max}$ , em que *dir* se refere à ponderação em frequência consagrada pela norma ISO 2631-1); velocidade de vibração eficaz ( $V_{rms}$ ) e dose vibratória (VDV). As curvas assim obtidas, permitem a previsão da incomodidade induzida, resultante de um período de exposição à vibração de 24 horas. A sua utilização numa população permite estimar a percentagem de pessoas extremamente incomodadas, incomodadas, e ligeiramente incomodadas para vários níveis de exposição à vibração induzida pelo trafego ferroviário. Refira-se, contudo, que é espetável a existência de desvios significativos a esta resposta média, quando se avalia a incomodidade de indivíduos. Para a obtenção destas curvas foram tratados os dados referentes à aplicação de questionários a larga escala (N = 4129), aos residentes próximos de vias ferroviárias, em 7 países europeus e nos EUA. Na figura 1 apresentam-se as curvas de exposição-respostas obtidas [2]. Refira-se que nestas curvas, os valores de aceleração estão afetados da ponderação em frequência  $w_k$  (ponderação para a direcção vertical, vd. norma ISO 2631-1).

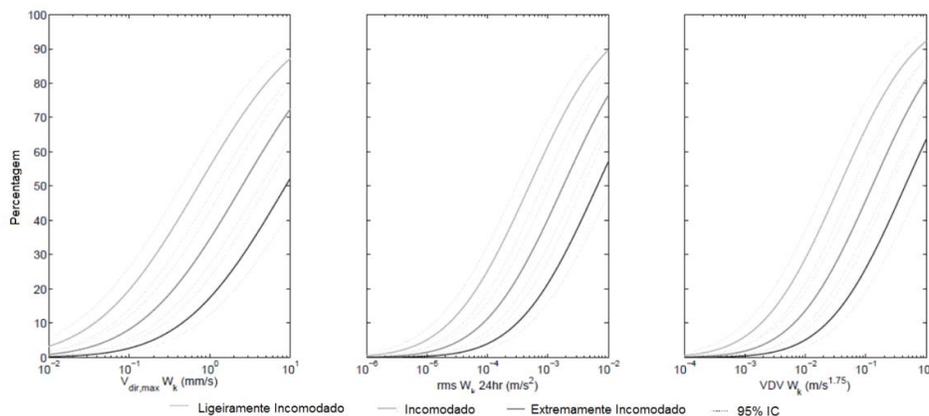


Figura 1 - Curvas exposição-resposta para a incomodidade induzida pela passagem de trafego ferroviário (N = 4129) (adaptado de [2])

## 2. METODOLOGIA DE ATUAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DO PROJECTO 2.1 É METODOLOGIA DE A PREVISÃO

A recepção da energia vibratória proveniente de fontes externas ao edifício dá-se prioritariamente pelas fundações das edificações. A propagação de vibrações pelo solo induz vibrações na fundação, as quais, por sua vez, se propagam pela estrutura, pisos e paredes. A resposta da edificação a essa excitação depende das frequências naturais da estrutura, como um todo, assim como dos modos próprios de vibração das suas lajes de piso e das paredes, assim como do respetivo amortecimento interno. A dificuldade de modelação teórica da fenomenologia associada à propagação de vibrações desde a fonte até ao recetor, e a incerteza e variabilidade das características dos materiais e das soluções construtivas, reforçam a ideia de utilização de uma determinação experimental de funções de transferência, que permitam a utilização dos resultados na previsão dos valores das vibrações. A Norma ISO 14837-1 [3] apresenta orientações gerais para o desenvolvimento de modelos de previsão da vibração e do ruído estrutural induzido pelo tráfego ferroviário, assim como, metodologias para a calibração e validação dos respectivos modelos de previsão, e algumas indicações para a realização de medições neste âmbito. A metodologia proposta adaptada [4], estendida às vias subterrâneas, potencialmente mais gravosas, é resumidamente a seguinte:

- a) Com os desenhos de projecto, incluindo a planta da cidade e do túnel ferroviário, faz-se uma inspecção visual para escolher os edifícios sobre o túnel, e os pontos junto às respetivas fundações, onde se farão as medições, e anotam-se as características dos edifícios. Estes pontos devem situar-se ao nível do solo/superfície (e ficarão sobre outros homólogos, localizados na parede do túnel, ao nível da via férrea). Para os edifícios seleccionados e nos pisos mais elevados, deverá solicitar-se permissão aos residentes para realizar medições no interior (salas e/ou quartos de dormir, ou em ultimo caso nas partes comuns do edifício). Para além de recolher informação sobre a distância do túnel às fundações dos edifícios, também é importante caracterizar as características do solo entre o túnel e as fundações, e, se conhecida, a respectiva velocidade de propagação das ondas de pressão,  $c_p$ . Note-se que em solos porosos ou soltos, saturados de água, a velocidade  $c_p$  será mais elevada, e logo melhor a transmissão das vibrações.
- b) Recorrendo a uma máquina de demolição, tipo *pica-pau*, induzem-se vibrações na base do túnel, e medem-se as vibrações (aceleração vertical) na parede do túnel, à superfície junto à fundação dos edifícios, e nos pisos superiores, nos pontos escolhidos.
- c) Para cada conjunto de pontos, no túnel e à superfície, e nos pisos superiores, ao longo do desenvolvimento da via, e nos edifícios escolhidos, calculam-se os espectros eficazes da velocidade vertical de vibração,  $V_s(f_i)$ ,  $V_u(f_i)$  e  $V_p(f_i)$  ( $s$ , na superfície;  $u$ , no túnel, e  $p$  nos pisos mais elevados), e determina-se para cada par de pontos as funções de transferência,  $T$  entre o túnel e a superfície, e entre a superfície e os pisos mais elevados:

$$T_{u \rightarrow s}(f_i) = V_s(f_i) / V_u(f_i) \quad \text{ou} \quad T_{u \rightarrow p}(f_i) = V_p(f_i) / V_u(f_i) \quad (1)$$

$$T_{u \rightarrow s}(f_i) = V_s(f_i) - V_u(f_i) \quad \text{ou} \quad T_{u \rightarrow p}(f_i) = V_p(f_i) - V_u(f_i) \quad \text{em dBv} \quad (2)$$

- d) Estima-se [9] ou mede-se, de preferência, a vibração gerada por comboios semelhantes em vias semelhantes (indicada por  $v_t$ ), na parede do túnel, ao nível da via,  $v_{ut}(t)$ , e calcula-se o respetivo espectro  $V_{ut}(f_i)$ .

- e) A vibração previsível ao nível do solo, junto à fundação de cada edifício considerado é:

$$V_{st}(fi) = T_{u_s}(fi) \times V_{ut}(fi) \quad \text{ou} \quad V_p(fi) = T_{u_p}(fi) \times V_{ut}(fi) \quad \text{em mm/s} \quad (3)$$

$$V_{st}(fi) = T_{u_s}(fi) + V_{ut}(fi) \quad \text{ou} \quad V_{pt}(fi) = T_{u_p}(fi) + V_{ut}(fi) \quad \text{em dBv} \quad (4)$$

- f) Se as medições no interior dos edifícios tiverem sido realizadas nas partes comuns (pisos dos átrios), a possibilidade da ocorrência de ressonâncias nas lajes no interior das habitações dos edifícios é prevenida com um acréscimo ao valor global da velocidade eficaz, ao nível do solo, de + 6 dBv (este valor de 6 dBV são distribuídos apenas pelas frequências para as quais se esperam ressonâncias, entre 20 a 50 Hz).
- g) O futuro desgaste e degradação das superfícies de rodas e carris deve ser contabilizado por um acréscimo de + 10 dBv em todas as bandas de frequência.
- h) Os espectros finais  $V_{ptw}(fi)$  e os valores globais finais obtidos para a velocidade  $v$ , são comparados com os limites admissíveis. Os valores globais são estimados a partir dos espectros, na forma  $v_{rms} = (\sum v_{rmsi}^2)^{1/2}$ .
- i) Onde for necessário deve colocar-se isolamento às vibrações, adequado, por exemplo, dimensionando uma laje de betão e uma manta elástica, a dispor sob a via, com a característica suficiente,  $V(fi)$ , que permita reduzir o valor dos espectros  $V_{ptw}(fi)$  para valores inferiores aos admissíveis. Note-se que este isolamento é dependente da frequência.
- j) Após o início da exploração, deverá ser efectuada uma medição dos valores da vibração e do ruído estrutural, nos pontos anteriormente seleccionados, para uma comparação dos valores reais com os previstos, e verificação da eficácia da solução implementada, em particular da eficiência do isolamento às vibrações.

## 2.2 É METODOLOGIA PARA MEDIÇÃO DE VIBRAÇÕES

A caracterização da vibração é actualmente realizada a partir de medições de aceleração. De acordo com a norma ISO 2631-2, de 2003, as amplitudes de vibração devem ser obtidas a partir de medições de aceleração, simultaneamente em três eixos ortogonais, orientados segundo os eixos principais do edifício, utilizando-se uma única ponderação em frequência para todos os eixos. As medições devem ter em conta a ocupação esperada dos moradores no edifício, e também o tipo de tarefa que se desenvolve em cada compartimento. No entanto, e como a sensibilidade humana à vibração se relaciona essencialmente com a velocidade de vibração, deve ser este o parâmetro utilizado na comparação com os valores admissíveis, podendo ser facilmente obtido por meio de cálculo. Esta norma também recomenda a avaliação e o registo dos efeitos associados à propagação das vibrações nos edifícios, tais como o ruído de baixa frequência e os efeitos visuais associados à vibração de janelas e de pequenos objetos.

Muitas vezes, e especialmente em estudos de impacte ambiental associados ao tráfego ferroviário, não é possível realizar medições no interior de edifícios, optando-se pela sua realização no exterior, com os transdutores localizados nas proximidades das fundações. A grande limitação no recurso a medições no exterior deriva do facto de não ser possível ter em conta a resposta da estrutura do edifício, o que muitas vezes leva a uma subestimação da exposição às vibrações a que os ocupantes estão sujeitos. Para além disso, a avaliação das vibrações no interior de edifícios, e a consequente determinação da exposição dos ocupantes, não é tarefa fácil, devido às variações na excitação causadas pelos diferentes tipos de composições (de passageiros e de carga), velocidades de circulação, a que acresce a

ocorrência de perturbações induzidas por vibrações parasitas originadas por outras fontes, diferentes das que se pretendem avaliar, como por exemplo as atividades dos ocupantes dos edifícios, cuja identificação nem sempre pode ser fácil de efetuar. Deve ter-se um especial cuidado com a selecção do equipamento a utilizar, designadamente com a gama de medição seleccionada, uma vez que esta deve ser adequada de modo a garantir que o sinal a registar não seja influenciado pelo ruído interno do equipamento de medição.

No sentido de ultrapassar algumas das dificuldades enunciadas, uma metodologia para a caracterização das vibrações no interior de edifícios, pode ser preconizada nos documentos orientativos holandeses [6]. Neste caso, as medições ocorrem durante, pelo menos, uma semana, de modo a obterem-se valores estatísticos relativos às passagens das diferentes composições ferroviárias (com registo de composições de passageiros e carga). Os principais problemas na realização deste tipo de medições são as perturbações induzidas pelas actividades dos ocupantes dos edifícios, ou os derivados das vibrações originadas por outro tipo de tráfego diferente do que se pretende analisar. Um procedimento alternativo consiste na realização de medições na base dos edifícios, durante uma semana, medições essas que devem ser complementadas com medições simultâneas nos diversos pisos dos edifícios, durante um período mais curto de tempo (no mínimo 24 horas). A partir das diferenças entre as medições na base do edifício e nos diversos pontos de medição (pisos) é possível calcular o fator de transmissão de vibrações  $H_{\text{edifício}}$ , que permite estimar a vibração nos diversos locais de medição a partir das medições de longa duração efetuadas na base do edifício. Para cada local, os níveis de vibração estimados são comparados com os limites máximos permitidos.

### 2.3 É METODOLOGIA PARA MEDIÇÃO DO RUÍDO ESTRUTURAL

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 à circulação interna 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 evidenciam claramente 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 [1], 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, seleccionado 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 individuais. Normalmente consideram-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 delimitadoras do compartimento, considera-se que os pontos de medição devem ter um afastamento mínimo de 0,3 m de qualquer superfície, e estarem situados a uma altura de 0,6 m (pessoa deitada), 1,2 m (pessoa sentada) ou 1,55 m (pessoa em pé). Para a caracterização de ruído estacionário, também podem ser realizadas medições no centro do compartimento, mas, neste caso, deve utilizar-se o método de varrimento.

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

Tradicionalmente utilizava-se a velocidade da vibração para o estabelecimento de valores limite, tendo em conta que a sensibilidade humana à vibração é constante entre 8 e 80 Hz. De facto, a norma ISO 2631-2 (versão de 1989) estabelecia valores limite de exposição às vibrações em edifícios, a partir da determinação dos valores da aceleração eficaz ponderada em frequência. A referida norma apresentava as curvas base do valor eficaz da aceleração e velocidade nas diversas direções, as quais são utilizadas para a fixação dos valores limite de vibração, a partir da aplicação adequada de fatores multiplicativos. No entanto, na versão atual desta norma, já não existe a indicação de valores limite. Assim sendo, e no que respeita à regulamentação nacional e a critérios de conforto humano relativo a vibrações no interior das edificações, não existem quaisquer valores limite para a avaliação da incomodidade induzida por vibração continuada.

Tendo em consideração a especificidade da situação em análise (ruído e vibrações induzidas pela circulação de tráfego ferroviário), foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre critérios de conforto no interior dos edifícios, associados à circulação de tráfego ferroviário. Por exemplo, nos EUA, os critérios aplicáveis são expressos em nível de vibração e dependem da quantificação do número de eventos diários relacionados com a mesma fonte de vibração [4]. Caso o número de eventos esteja compreendido entre 30 e 70, considera-se um estímulo de vibração frequente. Para um número de eventos diários inferior a 30, o estímulo de vibração é considerado 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 2 apresentam-se os limites para a vibração no interior de edifícios residenciais, indicados como critérios da Administração Federal dos EUA (em termos de valor eficaz de velocidade de vibração), originada essencialmente pelo tráfego ferroviário. Estes valores são apresentados em VdB (nível de referência igual a  $1 \times 10^{-6}$  polegadas/s), conforme o documento original, e respetiva conversão para valores de velocidade em mm/s.

Existem em alguns países valores limite para a exposição às vibrações, como por exemplo na Noruega, EUA e Reino Unido. Destes três países, somente no caso da Noruega é que a escolha do valor limite se apoia exclusivamente nos resultados de questionários sobre a exposição às vibrações, traduzindo esse valor um determinado número de pessoas muito incomodadas. No estudo norueguês foi avaliada a incomodidade induzida por vibrações devidas ao tráfego rodoviário e ferroviário, com base num conjunto de 700 respostas aos questionários exposição-resposta, com recurso a uma escala em categorias. Os resultados obtidos permitiram estimar uma única curva de exposição à vibração, independentemente da origem das vibrações, uma vez que não foram obtidas diferenças significativas entre os resultados derivados da exposição ao tráfego rodoviário e ferroviário. Este estudo permitiu concluir que 5% dos respondentes se consideravam muito incomodados para um nível de velocidade de vibração igual a 0,1 mm/s, e que esta proporção aumentava para 30% para um nível de velocidade de vibração de 4 mm/s.

Por analogia com o limite de exposição ao ruído que corresponde a um resultado entre 7-8% de população extremamente incomodada, foi estabelecido o limite de velocidade de vibração (neste caso, o descritor utilizado na noruega é o  $v_{w,95}$ ) de 0,3 mm/s para os edifícios residenciais novos [1].

Em cinco cidades dos EUA, foram aplicados cerca de 1300 questionários sobre a exposição às vibrações induzidas pelo tráfego ferroviário, em residências expostas a um número superior a 70 passagens diárias. O tratamento dos resultados assim obtidos permitiu o desenvolvimento de curvas exposição-resposta, tendo sido estabelecido o limite de 72 dBV (equivalente a 0,101 mm/s), relativo a uma probabilidade entre 5 a 10% de pessoas muito incomodadas [1].

Tabela 2 . Critérios utilizados nos EUA para os valores limite de velocidade de vibração no interior de edifícios derivada do tráfego ferroviário (FTA, 2008)

Tipo de edificio	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)

Na Tabela 3 apresentam-se as percentagens de pessoas muito incomodadas, incomodadas e ligeiramente incomodadas, referentes aos limites existentes em vários países, tendo como base as curvas exposição-efeito estabelecidas no projeto CargoVibes [2].

Para a obtenção de resultados comparativos, foram utilizados alguns fatores de ajustamento, uma vez que as curvas exposição-efeito se referem a um período de exposição às vibrações de 24 h, enquanto alguns dos limites fixados são especificamente para o período do dia ou da noite. O mesmo sucedeu para a conversão dos valores de referência expressos por diferentes descritores e curvas de ponderação.

Tabela 3 . Percentagem de pessoas muito incomodadas (MI%), incomodadas (I%) e ligeiramente incomodadas (LI%), para diferentes critérios de avaliação da exposição humana às vibrações (adaptado de [9])

País (norma)	Descritor	Critério	Valor	% MI	% I	% LI
Reino Unido (BS 6472)	VDV	Probabilidade pequena de existência de incomodidade (dia)	0,2-0,4	36,6-48,2	57,7-68,9	76,8-84,9
		Probabilidade pequena de existência de incomodidade (noite)	0,1-0,2	26,0-36,6	45,9-57,7	66,8-76,8
Noruega (NS 8176)	$v_{w,95}$	Tipologia do edificado				
		Edifícios novos	0,3	9,6	22,3	41,2
		Edifícios antigos	0,6	15,8	32,2	53,1
EUA (FTA)	V ( dB)	> 70 eventos/dia	72 VdB (0,101 mm/s)	3	9,1	21,4

#### 4. CONCLUSÕES

Atualmente existem vários descritores para a avaliação da exposição à vibração, distinguindo-se entre os descritores baseados em médias energéticas (valores eficazes e dose de vibração), e os baseados no valor máximo. Até ao momento, ainda não foi evidenciado qual o tipo de descritor preferencial. No entanto, este fato não invalidou o desenvolvimento de curvas exposição-resposta, que constituem a primeira tentativa de harmonização internacional de

todos os questionários sócio-vibracionais efetuados até ao momento. Igualmente as curvas de exposição à vibração permitem a comparação de diferentes valores limites de exposição, expressos em termos de pessoas incomodadas à exposição às vibrações. Consideram os autores que a informação apresentada, pode constituir uma base de partida para a definição de critérios de admissibilidade à vibração e ao ruído de baixa frequência, assim como contribuir para uma ampla discussão dos valores utilizar e correspondente esquema de classificação do edificado associado, mais adequado à realidade portuguesa.

Nesta comunicação também são apresentadas metodologias para a previsão das vibrações no interior as habitações, com recurso a determinação experimental de funções de transferência, bem como são apresentadas metodologias para as medições de vibração e do ruído estrutural. Neste caso, também se espera contribuir para uma ampla discussão, de modo a possibilitar a publicação de um guião orientativo para a previsão e realização de medições de vibração e de ruído de baixa frequência. No âmbito de estudos de avaliação de incomodidade, na fase de exploração, consideram os autores também importante o estabelecimento de um questionário de referência, para apoio ao planeamento das medições, análise dos registos áudio, e recolha de informação sobre o ruído de fundo e fontes sonoras presentes.

## REFERÊNCIAS

- [1] ELIAS, P.; VILLOT, M., 2011. "Review of existing standards, regulations and guidelines, as well laboratory and field studies concerning human exposure to vibration". Deliverable D1.4. Project RIVAS. European Commission.
- [2] WADDINGTON, D.; WOODCOCK, J.; SMITH, M.; JANSSEN, S.; WAYE, K. "CargoVibes: Human response to vibration due to freight rail traffic". *International Journal of Rail Transportation*, Volume 3 (4),(2015), pp. 233-248.
- [3] ISO 14837-1 . Mechanical vibration . Ground borne noise and vibration arising from rail systems. Part 1: General guidance Parte 1. International Organization for Standardization, 2005
- [4] FTA, 2006. "Transit Noise and Vibration Impact Assessment". FTA-VA-90-1003-06 2006.
- [5] ANTUNES, S.; PATRÍCIO, J. ; SCHIAPPA de AZEVEDO, F. ; VALÉRIO, 2016. "Vibrações em edifícios: aspetos a ter em consideração na avaliação do ruído induzido por vibrações", *Proceedings do Congresso Euroregio 2016*, Porto, Portugal.
- [6] LEEUWEN, H.; ZWIENEN, A. "The determination of railway levels in practice". In *proceedings of Internoise 2016*, Hamburg.
- [7] ANTUNES, S. PATRÍCIO, J., 2016. "Metodologias para a avaliação da Incomodidade Induzida por vibrações", 2º Encontro Nacional sobre Qualidade e Inovação na Construção, 21-23 de novembro 2016, LNEC, Portugal.
- [8] SCHIAPPA de AZEVEDO, F.; DOMINGUES, O., 2012 . "Comboios de Alta Velocidade. Previsão de Vibrações Próximo de Futura Via. Estimativas da Solicitação e da Função de Transferência", *Proceedings of Congresso Acústica 2012*, 1 . 3 outubro. Évora, Portugal.
- [9] PATRÍCIO, J.; SCHIAPPA de AZEVEDO, F., 2015. "Critérios para limitação de vibrações, em edifícios, provenientes de vias férreas", *Proceedings of Euro- Elecs 2015*, 21-23 de julho, Guimarães, Portugal.
- [10] WADDINGTON, D.; WOODCOCK, J.; SMITH, M.; JANSSEN, S.; WAKE, K., 2015. " CargoVibes: Human response to vibration due to freight rail traffic", *International Journal of Rail Transportation*, Volume 3 (4),(2015), pp. 233-248.