

A INCOMODIDADE HUMANA PERANTE AS VIBRAÇÕES E SUA CARACTERIZAÇÃO ABSOLUTA E RELATIVA

THE HUMAN DISTURBANCE AT VIBRATIONS AND ITS ABSOLUTE AND RELATIVE CHARACTERIZATION

Dinis da Gama, Carlos, *Centro de Geotecnia, IST, Lisboa, Portugal, dgama@ist.utl.pt*
Paneiro, Gustavo, *Centro de Geotecnia, IST, Lisboa, Portugal, gustavo@commedia.pt*

RESUMO

A incomodidade humana perante fenómenos vibratórios é um fenómeno complexo, cuja quantificação é difícil. Dada a ausência de legislação portuguesa sobre este tema, e a surpreendente indefinição da última versão da Norma ISO 2631 (2003), o presente artigo apresenta uma proposta de caracterização dos fenómenos vibratórios sobre as pessoas. Assim, o impacto vibratório de um dado processo ou obra, seria quantificado em relação aos valores registados em todas as restantes vibrações ambientais existentes no local em causa (designado por situação de referência), sendo eventualmente complementado por uma avaliação absoluta, após confronto com normas que sejam consideradas fiáveis.

ABSTRACT

The human disturbance with respect to vibrations is a complex phenomenon, whose quantification is difficult to assess. Due to the inexistence of portuguese laws on this subject, and the surprising omission of the last version of ISO 2631 (2003) standard, this article presents a suggestion to handle the characterization of vibration phenomena on humans. Thus, the vibration impact created by a certain process or working can be quantified in relative terms by means of the registered data gathered on all the remaining vibrations affecting the place where such an evaluation is performed (the so-called baseline situation) and eventually completed by an absolute assessment based on existing reliable standards.

1. INTRODUÇÃO

A incomodidade humana perante determinado fenómeno vibratório consiste em algo difícil de quantificar e que traduz a reacção do desconforto que a maioria das pessoas experimentam perante tal estímulo.

Não devem ser confundidos os conceitos de “incomodidade” e de “percepção”, dado que este último possui geralmente valores mais baixos que o primeiro, embora a repetição de eventos simplesmente perceptíveis possa conduzir à incomodidade. Este mecanismo fisiológico não se define com rigor, a avaliar pelas opiniões abalizadas de especialistas (por exemplo, Attewel & Farmer, 1976; Kiely, 1997).

A reacção colectiva de desconforto que a maioria das pessoas é capaz de sentir e de discriminar entre vibrações de amplitudes e de frequências diferentes, permite classificá-las por ordem crescente (ou decrescente) da incomodidade relativa que as pessoas experimentam com cada uma delas.

Daí a necessidade de existir um termo de comparação constituído por uma grandeza física absoluta, que reflecta o desconforto associado aos níveis das vibrações que atingem as pessoas. É para isso que existem modelos convencionais, geralmente estabelecidos através da normalização nacional ou internacional.

Uma interpretação mais sofisticada do impacte vibratório causado por uma determinada fonte, seria detectar se os valores registados ficam acima ou abaixo de todas as restantes vibrações ambientais que atingem um determinado sensor, tal como se determina habitualmente nas “situações de referência” típicas dos Estudos de Impacte Ambiental.

Existiriam, por conseguinte, duas facetas da incomodidade: a sua grandeza absoluta (maior ou menor do que os valores admissíveis estabelecidos nas Normas) e a sua magnitude relativa em face dos outros fenómenos vibratórios que habitualmente atingem o observador no mesmo local.

Não é de estranhar que uma mesma empresa, ou uma obra, ocasionem incomodidades nuns locais em função das circunstâncias locais, enquanto que noutros, o impacte vibratório se situa abaixo dos limiares de desconforto humano, tantas são as variáveis que intervêm neste fenómeno.

Por outro lado, a incomodidade (absoluta ou relativa) não é geralmente proporcional à quantidade de reclamações enviadas pelos cidadãos. Em geral, o maior número de queixas provém de camadas sociais mais reivindicativas e das áreas de maior concentração populacional, nem sempre reflectindo as intensidades dos impactes.

2. A PERCEPÇÃO E A INCOMODIDADE PERANTE FENÓMENOS VIBRATÓRIOS

A partir uma determinada amplitude de vibração, e antes de se revelar incómoda, o evento vibratório é percebido pelo indivíduo.

Foram desenvolvidas várias escalas de percepção das vibrações, de acordo com muitos critérios de várias instituições. Segundo os dados experimentais de Reiher & Meister (1931) as vibrações são classificadas em diversas patamares, em termos de amplitude e frequência (ver Figura 1). A demarcação entre as zonas “Perceptível” e “Claramente Perceptível” corresponde a uma velocidade máxima de cerca de 1 mm/s e uma vibração “Incomodativa” apresentará uma velocidade entre 2.5 a 7.5 mm/s.

De acordo com Kiely (1997), a medição de vibrações pode ser efectuada por meio de acelerómetros, geofones e sistemas laser que fornecem os valores da velocidade de vibração de pico, que se encontram correlacionadas com diversas velocidades limite conhecidas, tais como:

- Percepção humana: 0.3 mm/s;
- Desconforto: 1 mm/s;
- Danos estruturais: 10 mm/s.

Estes limites são muito aproximados, na medida em que não consideram um conjunto de outros factores, tais como a frequência de vibração e a posição do indivíduo, os quais apresentam considerável relevância no que tange às reacções das pessoas, apesar das reconhecidas diferenças entre comportamentos individuais.

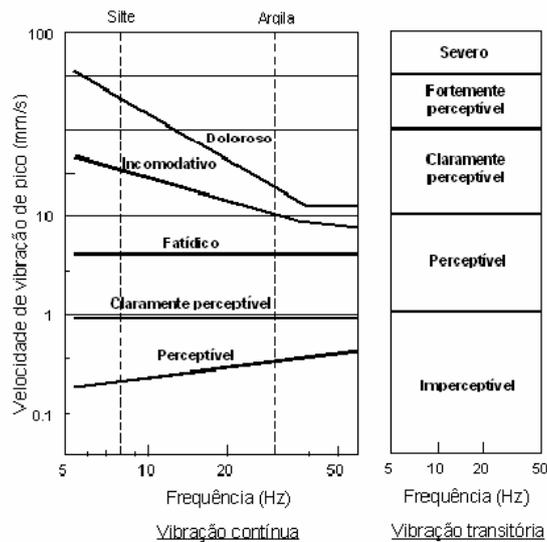


Figura 1 – Graus de incomodidade das vibrações sobre as pessoas (segundo Atewell & Farmer, 1976, citado por Sarsby, 2000 e adaptado por Paneiro, 2003)

Um outro factor importante na percepção das vibrações é relativo à posição em que o indivíduo se encontra quando as sente. A Norma ISO 2631 considera que a direcção de propagação das vibrações se relaciona com um sistema de coordenadas do corpo humano em posição anatómica normal, da forma seguinte: segundo o eixo Z no sentido dos pés à cabeça, o eixo X no sentido das costas ao peito e o eixo Y no sentido do lado direito ao esquerdo (Figura 2).

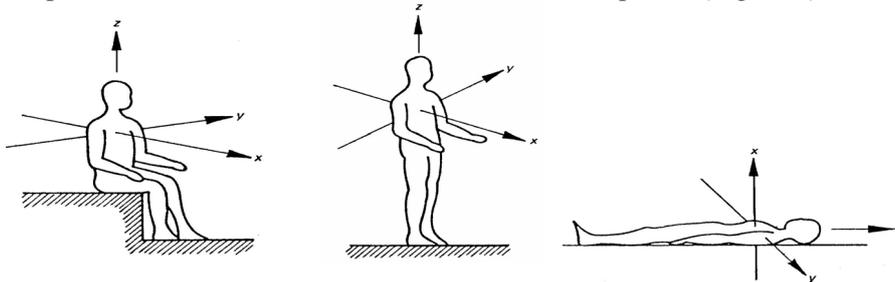


Figura 2 – Direcções do sistema de coordenadas para vibrações em seres humanos (Norma ISO 2631, adaptado por Paneiro, 2005).

Assim, pela análise da Figura 1 e de uma forma empírica, compreende-se que, quanto maior for a superfície de contacto do corpo com uma determinada superfície por onde se efectua a propagação das vibrações, maior será a percepção do indivíduo ao fenómeno vibratório, sendo que a posição sentado será mais favorável à percepção do que a posição em pé e, por conseguinte, a de deitado ainda mais favorável que a posição sentado.

Por conseguinte, a Norma ISO 2631 sugere que se deve medir as vibrações na superfície estrutural que suporta as pessoas, no(s) ponto(s) de maior intensidade, tipicamente: no centro da laje dos pisos, para vibrações verticais e nos pisos próximo às paredes, por exemplo nos vãos das portas e janelas, para vibrações horizontais (Maior, P, *et al.*, 2001, citado por Bacci, *et al.*, 2003).

Todas as constatações apresentadas anteriormente são assim importantes para que seja possível determinar a incomodidade das vibrações sobre as pessoas.

No entanto, para que seja possível determinar quantitativamente a incomodidade de um determinado evento vibratório, originado por uma obra, é imprescindível conhecer a situação préexistente.

Assim, propõe-se uma definição de incomodidade como a sensação de desconforto provocada na maioria das pessoas que se apercebem das vibrações originadas exclusivamente pelos eventos que se pretendem caracterizar, sempre que a respectiva amplitude ultrapasse a média das amplitudes de vibração verificadas na situação de referência característica de cada local.

Nesta linha de raciocínio e decerto, numa perspectiva conservadora, o limiar de incomodidade corresponde ao valor médio das amplitudes de vibração da situação de referência, preexistente no local de origem do evento.

3. A CARACTERIZAÇÃO DA INCOMODIDADE HUMANA

Perante as considerações efectuadas anteriormente, poder-se-á efectuar a caracterização da incomodidade das pessoas a eventos vibratórios sob dois pontos de vista:

1. Segundo as normativas vigentes;
2. Segundo a caracterização da situação de referência do meio.

Assim, estabelecem-se dois tipos de caracterização da incomodidade:

1. A caracterização absoluta, relacionada com o clausulado das normas;
2. A caracterização relativa, face à situação préexistente em cada local.

Desenvolvem-se considerações acerca desta abordagem nos capítulos que se seguem.

3.1 A caracterização absoluta da incomodidade

Como foi referido anteriormente, esta caracterização tem como fundamento as normas existentes no que diz respeito à incomodidade humana perante as vibrações, nomeadamente a norma ISO 2631.

Esta Norma foi publicada pela primeira vez em 15 de Janeiro de 1978, seguindo-se actualizações em 1989, 1997 e 2003, e estabelece procedimentos de medição e critérios de aceitabilidade para vibrações que afectam o conforto humano, fornecendo níveis aceitáveis em função do tipo de vibração, do período diurno ou nocturno e da área de ocupação do prédio.

Trata-se, portanto, de uma Norma Internacional destinada à “Avaliação da Exposição Humana às Vibrações de Corpo Inteiro”, que define e fornece valores numéricos dos limites de exposição a vibrações transmitidas ao corpo humano, na amplitude de frequências entre 1 e 80 Hz, para vibrações periódicas e não periódicas. Nenhuma parte desse documento deve ser extrapolada para frequências fora da banda 1 a 80 Hz.

Os limites admissíveis de vibração são definidos para os três critérios geralmente reconhecíveis de preservação do conforto, eficiência de trabalho e segurança ou saúde, denominados, respectivamente: nível de conforto, nível de eficiência (fadiga) e limite de exposição. Estes limites estão especificados em termos de frequência vibratória, grandeza de aceleração, tempo de exposição e a direcção da vibração em relação ao tronco humano.

Esta Norma Internacional é aplicável apenas a situações em que os indivíduos gozam de condições normais de saúde, isto é, considerados capazes de realizarem as actividades normais da vida.

Em termos de conteúdo, a Norma está dividida em duas partes principais (Tabela 1).

Tabela 1 – Partes da Norma Internacional ISO 2631 - Avaliação da exposição humana à vibração de corpo inteiro (*in* CEGEO, 2005).

PARTE	DENOMINAÇÃO
ISO 2631-1	Requisitos gerais
ISO2631-2	Relativamente a vibração induzida por impacto em prédios

A Norma ISO 2631-1 define métodos de medida da vibração de corpo inteiro e indica os principais factores que se combinam para determinar o grau de aceitabilidade à exposição da vibração. Ela traz informações e orienta quanto aos possíveis efeitos da vibração sobre a saúde, o conforto, o limite de percepção, na faixa de 0.5 a 80Hz, e o enjoo, para frequências entre 0.1 e 0.5 Hz.

Em relação ao conforto humano, esta Norma apresenta um consenso sobre a relação entre a severidade da vibração e o conforto humano e fornece um método adequado e conveniente para estabelecimento da severidade subjectiva das vibrações em prédios, sem entretanto estabelecer limites específicos de aceitação.

A grande particularidade visível nas diversas actualizações da Norma ISO 2631, nomeadamente no que diz respeito à última de 2003, corresponde às alterações, cujas razões se desconhecem, no que diz respeito aos valores que caracterizam o limiar de incomodidade. Infelizmente, esta última versão não apresenta quaisquer valores para o referido parâmetro, bem como a actualização de 1997, sendo preferível recorrer às versões anteriores (1989) para quantificar a incomodidade das pessoas à exposição de vibrações.

Assim, em face das finalidades do presente estudo, a normalização existente leva a considerar os limites admissíveis de vibrações que se correlacionam com a incomodidade, os quais se apresentam resumidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Extracto dos valores admissíveis das vibrações para pessoas situadas em diversos tipos de locais, segundo a Norma ISO 2631, de 1997 (*in* CEGEO, 2005).

TIPOS DE LOCAIS	PERÍODO	LIMIAR DE INCOMODIDADE HUMANA ÀS VIBRAÇÕES
Hospitais	Dia ou noite	0.10 mm/s
Residências	Dia	0.20 a 0.40 mm/s
	Noite	0.14 mm/s
Escritórios	Dia ou noite	0.40 mm/s
Oficinas	Dia ou noite	0.80 mm/s

Note-se que o critério adoptado pela Norma ISO 2631 de 1997 envolve uma perspectiva de relatividade face à situação de referência característica de cada local, inspiradora de uma abordagem de incomodidade relativa que se advoga neste artigo.

Assim, graficamente, poder-se-á representar os limites indicados, em termos da aceleração das vibrações relativamente às respectivas frequências, da forma apresentada na Figura 3.

As diferentes condições em que podem ser consideradas as pessoas alvo constam da Tabela 3, onde intervêm a hora do dias, a vibração ser contínua ou intermitente e o factor multiplicativo para o número de eventos vibratórios diários.

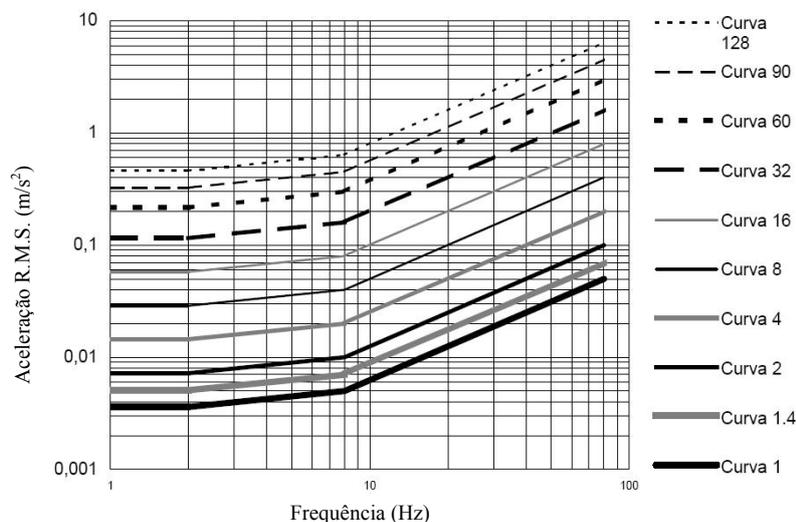


Figura 3 – Curvas das magnitudes aceitáveis de aceleração vibratória, em valores eficazes (adaptado de “Normativa de ruído y vibraciones”).

Tabela 3 – Gama de valores multiplicativos (curvas indicadas na Figura 3) para determinação das magnitudes satisfatórias de vibração, segundo a Norma ISO 2631-2 (1989) (adaptado de “Normativa de ruído y vibraciones”).

LOCAIS	HORÁRIO	VIBRAÇÃO CONTÍNUA OU INTERMITENTE	OCORRÊNCIAS DIÁRIAS
Hospitais, precisão	Dia ou noite	1	1
Residências	Dia	2 a 4	30 a 90
	Noite	1,4	1,4 a 20
Escritórios	Dia ou noite	4	60 a 128
Oficinas	Dia ou noite	8	90 a 128

3.2 Caracterização relativa da incomodidade

Para efectuar a caracterização relativa da incomodidade, será necessário determinar a relação existente entre a amplitude de vibração do evento que a caracterizar e a amplitude de vibração da situação preexistente, isto é, da situação de referência.

Como é sabido, a situação de referência é caracterizada pelas velocidades de vibração medidas através de solicitações provocadas pelas actividades normais (existentes no meio envolvente), apresentando geralmente, maior importância as solicitações provocadas pelo trânsito automóvel.

$$F = \frac{V_{\text{Solicitação}}}{V_{\text{Situação Referência}}} \quad (1)$$

Esta relação é designada por Factor de Afecção (Paneiro, 2003), que pode ser calculado tendo como objectivo quantificar o acréscimo de vibrações sentidas nos edifícios, devido à vibração causada pelas solicitações originadas numa determinada obra (quer se encontre em fase de

construção, quer em fase de exploração como é o caso de túneis rodoviários ou, principalmente, túneis ferroviários).

Depois de calculados os referidos factores de afectação, interpretaram-se os registos obtidos tendo por base a norma ISO 2631 de 1978, para avaliar a incomodidade humana absoluta às vibrações.

Uma das vantagens desta caracterização encontra-se relacionada com a determinação da incomodidade das vibrações para as populações vizinhas de uma obra, na sua situação de projecto, permitindo prever com algum rigor, a incomodidade associada. Esta metodologia pode ser aplicada quer sobre a fase de construção, quer sobre a fase de exploração de obra, sendo preponderante para a decisão de aplicação de sistemas anti-vibráteis.

4. CASO PRÁTICO: CARACTERIZAÇÃO DAS VIBRAÇÕES PROVOCADAS PELA PASSAGEM DE COMPOSIÇÕES DO METROPOLITANO DE LISBOA

Para caracterização das vibrações causadas pela passagem das composições do Metropolitano de Lisboa, foi efectuada em Dezembro de 2004 uma campanha de registos em vários pontos da sua rede. Estes registos tiveram como principal metodologia obter 3 medições de vibrações simultâneas: num ponto no interior dos túneis, junto às vias, nos pisos inferiores dos edifícios monitorizados e nos pisos mais elevados (Figura 4).

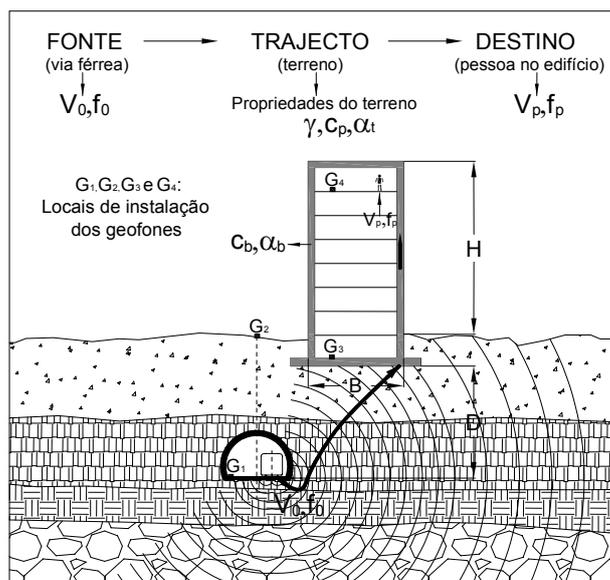


Figura 4 – Esquema geral da metodologia adoptada na campanha de registos efectuados para a caracterização das vibrações causadas pela circulação das composições do Metropolitano de Lisboa, E. P. (in CEGEO, 2005)

Dentro dos vários pontos monitorizados, encontra-se o Hospital Júlio de Matos que, pela sua actividade, corresponde ao exemplo mais crítico verificado.

O ponto de medição encontra-se, no túnel, na marca 41/84 da linha Verde do ML, constituída por uma via betonada com tabuleiros flutuantes. A fixação dos carris é do tipo CIL, sendo que a estação mais próxima da referida marca é a de Alvalade que dista cerca de 715 m (Figura 5).

O edifício tem uma altura aproximada de 3 m, uma área de cerca de 80 m² com conservação média.

Para efectuar os registos conforme a Figura 4, instalaram-se dois sismógrafos de engenharia e respectivos geofones, um no interior do túnel junto à via de circulação e um outro, recebia os dados recolhidos por dois geofones no edifício imediatamente acima da marca anterior.



Figura 5 – Localização do edifício monitorizado, relativamente à linha do Metropolitano de Lisboa, E. P.

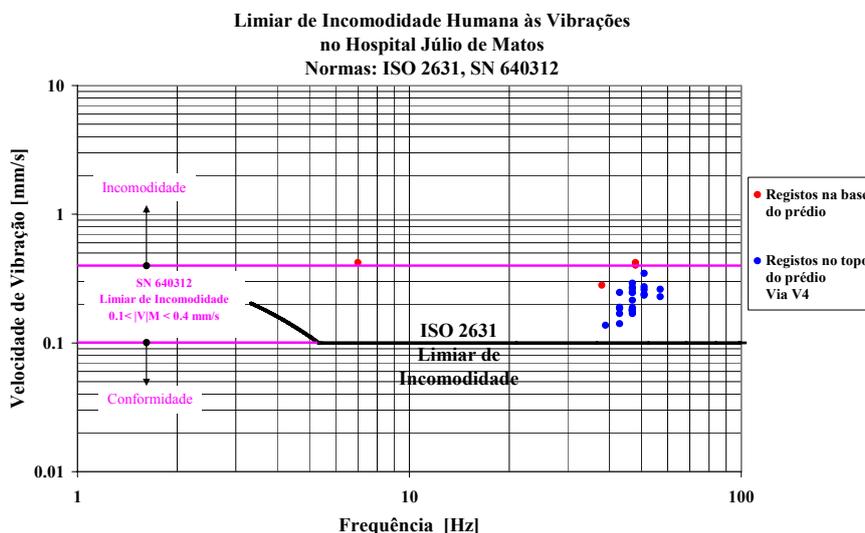


Figura 6 – Representação gráfica do limiar de incomodidade humana em hospitais segundo a ISO 2631 (1989). Adicionalmente, a título de exemplo, encontra-se também assinalado o limite estabelecido pela norma suíça SN640312.

Segundo esta figura verifica-se que os registos obtidos se encontram acima dos valores estabelecidos para o limiar de incomodidade fornecidos pela Norma ISO 2631 (1989), que os obtidos no piso inferior, quer os do piso superior.

Um dos geofones no edifício foi colocado no piso térreo da estrutura e o outro no 1º piso. Assim, foram obtidos um conjunto de registos, suficientemente claros para inferir que a velocidade de vibração de pico média registada devido a eventos correspondentes à situação de referência foi de 0.3521 mm/s e 0.214 mm/s no rés-do-chão e no 1º piso, respectivamente. No que diz respeito a eventos causados pela circulação das composições do Metropolitano de Lisboa, E. P., obteve-se uma velocidade de vibração de pico média de 0.3844 mm/s no piso térreo e 0.2142 mm/s no 1º piso do edifício monitorizado.

Perante os registos obtidos, confrontando-os com as Normas em vigor, obtém-se a caracterização absoluta das vibrações causadas pela passagem das composições do Metropolitano de Lisboa, E. P., conforme ilustra a Figura 6.

Através das velocidades de vibração de pico médias, obtidas através dos registos referentes à passagem das composições do ML e correspondentes à situação de referência (geralmente trânsito pesado), efectua-se a caracterização relativa das vibrações, tal como se representa na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores das velocidades de vibração de pico médias registadas no edifício monitorizado, no Hospital Júlio de Matos, devidas à situação de referência e à circulação de composições do Metropolitano de Lisboa, E. P., e respectivos factores de afectação.

PISO	$v_{\text{média}}$ (mm/s) SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA	$v_{\text{média}}$ (mm/s) EVENTOS ML	FACTOR DE AFECTAÇÃO
Rés-do-chão	0.3521	0.3844	1.09
1º Piso	0.2140	0.2142	1.00

A partir da Tabela 3 verifica-se que, relativamente às vibrações provocadas pela situação de referência, os eventos ocasionados pela circulação das composições do Metropolitano de Lisboa, E. P., em média, apresentam velocidades de vibração superiores.

5. CONCLUSÕES

Cada vez mais, com o aumento das necessidades existentes ao nível urbano, torna-se necessário efectuar estudos que permitem efectuar a quantificação dos impactes ambientais gerados pelas obras de índole geotécnica.

A problemática das vibrações geradas não só durante a fase de construção das referidas obras, como também durante a fase de exploração, tem vindo a ser desenvolvida nos últimos anos, pela verificação do aumento de densidade de construção de estruturas geotécnicas e pelo aumento da exigência da população para melhor qualidade de vida.

Assim, dada a dificuldade na quantificação da incomodidade humana à exposição de eventos de natureza vibratória, o presente artigo propõe uma quantificação que entra em linha de conta com as normas em vigor (caracterização absoluta) e com a situação de referência (caracterização relativa).

A referida caracterização permite efectuar uma análise mais abrangente das vibrações provocadas numa obra, dado que, para além de efectuar uma análise, tendo como base as normas existentes, dado que as mesmas não consideram alguns parâmetros tais como a situação de referência, através da caracterização relativa das vibrações ter-se-á uma noção mais clara da possibilidade de existir incomodidade perante os eventos vibratórios.

No entanto, dentro da temática da incomodidade, ainda muito há que desenvolver, nomeadamente no que diz respeito a “guidelines” e normas, baseadas em dados puramente científicos, que permitam avaliar, com exactidão, a incomodidade das vibrações para as pessoas.

Como ficou demonstrado, através da exemplificação apresentada, a quantificação proposta permite apoiar a tomada de decisões sobre a aplicação de medidas de redução dos impactes ambientais provocados pelas vibrações, em projectos de Engenharia Geotécnica.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Bacci, D. C., Landim, P. M. B., Eston, S. M., Iramina, W. S. (2003). “Principais Normas e Recomendações para o Controle de Vibrações Provocadas pelo Uso de Explosivos em Áreas Urbanas – Parte I”. Esc. Minas, Ouro Preto, Brasil.
- [2] Bacci, D. C., Landim, P. M. B., Eston, S. M., Iramina, W. S. (2003). “Principais Normas e Recomendações para o Controle de Vibrações Provocadas pelo Uso de Explosivos em Áreas Urbanas – Parte II”. Esc. Minas, Ouro Preto, Brasil.
- [3] CEGEO – Centro de Geotecnia do IST (2005). “Estudo com Vista à Definição do Limiar de Incomodidade Humana Devida à Passagem das Composições do ML”. Para o Metropolitano de Lisboa, E. P. (não publicado).
- [4] Norma Portuguesa 2074 (1983). “Avaliação da Influência em Construções de Vibrações Provocadas por Explosões ou Solicitações Similares”. Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.
- [5] Norma ISO 2631 (2003). “Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)”
- [6] Paneiro, G. (2003). “ Quantificação do Descritor Vibrações em Estudos de Impacte Ambiental”. Textos de apoio ao curso “Vibrações em Geotecnia – Geração, Monitorização, Impactes Ambientais, Critérios de Dano e sua Mitigação. Curso da FUNDEC (Coordenador: Dinis da Gama). 24 e 25 de Junho de 2003, I.S.T. Lisboa.
- [7] Paneiro, G. (2005). “Vibrações Admissíveis em Seres Humanos e Suas Repercussões não Projecto de Vias Anti-Vibráteis”. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Georrecursos (Versão Provisória, não publicada). I. S. T., Lisboa.
- [8] Sarsby, R. (2000). “Environmental Geotechnics”. Thomas Telford Books, London, UK.