

Critérios e metodologias para limitação de vibrações, em edifícios, provenientes de vias férreas

Jorge Patrício

LNEC, Av. do Brasil, 101, Lisboa, Portugal

jpatricio@lnec.pt

Fernando Schiappa de Azevedo

Acustica XXI, Av. EUA, Lisboa, Portugal

fschiappa@yahoo.com

ABSTRACT: A sustentabilidade das cidades, depende essencialmente do bom ambiente e da mobilidade dos seus habitantes. As vias férreas subterrâneas são hoje um meio de aumentar essa mobilidade. Nesta comunicação descrevem-se os critérios para a limitação (admissibilidade) dos níveis de vibração nos edifícios, e também do ruído, causados por vias ferroviárias subterrâneas, a metodologia para a sua previsão, e as metodologias para o seu isolamento, onde necessário.

RESUMO: The sustainability of the cities, in particular of their historic centres, depends mainly on their ambient and on the easy and non-intrusive mobility of their inhabitants. Underground railways are a good mean of improving mobility. In this paper criteria for admissible vibration and due-to-vibration noise are reviewed, and the methodology for their prediction and isolation, where needed, is presented.

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade das cidades, e em particular dos seus centros antigos, e a manutenção da habitabilidade dos seus edifícios, depende essencialmente do bom ambiente e da mobilidade (rede de transportes) dos seus habitantes, quer os que lá habitam, quer os que considerem lá ir viver.

Uma das componentes essenciais do bom ambiente é o baixo nível de ruído acústico, quer nos espaços públicos quer no interior das habitações.

O tráfego urbano de transportes públicos ou privados, cada vez mais necessário, é contrário ao bom ambiente em geral, e ao bom ambiente acústico em particular.

Muitas cidades consideram, hoje em dia, a instalação de redes de transporte público subterrâneo, geralmente designada por Metro, que, apesar do maior investimento inicial, tem a vantagem evidente de não piorar o ambiente, ou mesmo melhorá-lo na medida em que substitui transporte (público e particular) de superfície.

Todavia, sendo este tipo de transporte uma fonte de vibrações que se propagam pelo solo, pelas fundações e estruturas dos edifícios, e originam incomodidade no interior de habitações, é necessário, quando do projecto para a sua implementação, efectuar estudo de impacto ambiental, visando evitar incómodo nas habitações, que seja causado tanto pela vibração sensível de pisos e paredes, como pelo ruído audível, emitido pela fonte de vibração, ou mesmo pela vibração dos elementos de compartimentação vertical e horizontal dos edifícios.

2 CRITÉRIOS APLICÁVEIS

2.1 Critérios de incomodidade

Estes critérios serão aplicáveis às vibrações provocadas pelos equipamentos em exploração, no caso, às geradas nos locais habitados, pelos comboios passando no túnel. Os limites admissíveis da vibração onde as pessoas vivem ou trabalham são:

C₁) Valores admissíveis da velocidade eficaz da vibração (LNEC):

Tabela 2.1 – Valores limites de conforto para o valor eficaz da velocidade de vibração, v ; locais sensíveis, em casa ou no escritório

v_{rms} , mm / s	V_{rms} , dBv	Sensação
$v \leq 0,11$	$V \leq 67$	Nenhuma
$0,11 < v \leq 0,3$	$67 \rightarrow 75$	Perceptível, suportável para curta duração
$0,3 < v \leq 1,1$	$75 \rightarrow 87$	Evidente, afectando as condições de trabalho
$v > 1,1$	$V > 87$	Muito perceptível, dificultando ou impedindo o trabalho

C₂) Critérios da norma ISO 2631-2:1989 para vibração continuada:

Tabela 2.2 – Valores limite da ISO 2631 do valor eficaz da velocidade; locais onde as pessoas vivem ou trabalham

$\max(v_{rms}(f))$, mm/s	$\max(v_{rms}(f))$, dBv	Sensação vs local
$v = 0,1$	66	Limiar de percepção, locais de uso sensível
$v = 0,14$	69	Em casa, noite
$v = 0,2$	72	Em casa, de dia
$v = 0,4$	78	Escritório

Nota : Componente vertical ou horizontal, a mais significativa, $1 < f_1 < 80$ Hz (ISO 2631, 1989).

C₃) O critério para a vibração ruidosa (LNEC):

Tabela 2.3 – Valor limite da velocidade eficaz, pesada A, onde as pessoas vivem

$v_{rms}(A)$, mm/s	$L_{A,}$ dB _A	Sensação vs local
$v = 0,03$	25	Em casa, de noite, ou em locais de uso sensível

Nota : Componente normal, ao piso ou à parede, da velocidade eficaz de vibração, pesada A, o mais significativo (LNEC).

2.2 Critérios de Danos nas Edificações

Os critérios de danos serão aplicáveis quando das obras de escavação, com recurso a máquinas de demolição e escavação e ao desmonte de rocha com o recurso a explosivos. Os limites admissíveis da vibração nos edifícios são:

2.1.1 – Danos devidos a vibrações impulsivas (C₄):

Tabela 2.4 – Limites do valor máximo do módulo da velocidade de vibração, $|V_{max}|$; base da edificação (mm/s)

\tipo de solo tipo de construção\	incoerentes soltos e coerentes moles	incoerentes compactos e coerentes duros e médios	coerentes rijos
sensíveis	1,75 - 2,5	3,5 - 5	7 - 10
correntes	3,5 - 5	7 - 10	14 - 20
de betão armado	10,5 - 15	21 - 30	42 - 60

Nota – Os primeiros valores valem para um número diário de solicitações superior a três, os segundos para três ou menos.

2.1.2. Danos devidos a vibrações continuadas:

Para as vibrações continuadas, tem sido utilizado o seguinte critério, C_5 , (LNEC):

Tabela 2.5 – Danos – Valores da velocidade global efectiva v_{rms} no local

v_{rms} (mm/s)	efeitos
$v_{rms} < 3,5$	praticamente nulos (62)
$3,5 \leq v_{rms} < 7$	queda de cal em edifícios antigos
$7 \leq v_{rms} < 21$	fendilhação ligeira nos revestimentos
$21 \leq v_{rms} < 42$	fendilhação acentuada nos revestimentos e alvenarias
$42 \leq v_{rms}$	danos consideráveis, possível fendilhação da estrutura de betão armado

Nota – Componente vertical, ou horizontal, se esta for mais significativa.

Para os equipamentos sensíveis, os níveis de vibração admissíveis devem ser especificados pelos respectivos fabricantes. Outra norma de danos opcionalmente a considerar é a norma DIN 4150, (ver também a parte 3:1999).

3 PREVISÃO DA VIBRAÇÃO GERADA PELOS COMBOIOS (EXEMPLO)

3.1 Metodologia

A metodologia proposta em comunicações anteriores (Schiappa, 2010; Schiappa 2012), adaptada (Office of Railroad Development, 2006) é a seguinte (junta-se como base de entendimento exemplos de medições efectuadas num túnel de Metro, em construção na Argélia, tendo-se considerado 10 pares de pontos para análise; Fig. 3.1):

a) – Na rua, e com os desenhos de projecto mostrando 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 respectivas fundações, onde se farão as medições ao nível do solo (estes pontos ficarão sobre outros correspondentes, na parede do túnel, ao nível da via férrea), e anotam-se as características dos edifícios.

b) – Recorrendo a uma máquina de demolição, tipo pica-pau, induzem-se vibrações no piso do túnel, e mede-se as vibrações (aceleração vertical) na parede do túnel e à superfície, junto à fundação do edifício, nos pontos escolhidos.



Figura 3.1 – Esquema de medição

c) – Para cada par de pontos, no túnel e à superfície, ao longo do percurso da via, e onde houver edifícios a considerar, calculam-se os espectros eficazes da velocidade vertical de vibração, $V_s(f_i)$ and $V_u(f_i)$ (s, na superfície; u, no túnel), e determina-se para cada par de pontos a função de transferência, T:

$$T_{u \rightarrow s}(f_i) = V_s(f_i) / V_u(f_i) \quad (3.1)$$

Tabela 3.1 - Função de transferência túnel → superfície obtida no solo xistoso; via a 28 m de profundidade (P2)

f, Hz	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5
T	-14,6	-12,9	-14,3	-8,7	-9,3	-14,2	-12,8	-17,7	-13,8	-7,7	-0,9	-0,1
16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	global
-5,4	-3,0	3,6	-8,0	-10,4	-19,4	-26,0	-28,8	-31,4	-35,1	-46,4	-48,2	-22,5

Nota: Verifique-se a pouca redução a 12,5 Hz, e mesmo a amplificação a 25 Hz.

d) – Estima-se (Office of Railroad Development, 2006) ou mede-se, de preferência, a vibração gerada por comboios semelhantes em vias semelhantes, ao nível da via, $v_{ut}(t)$, e calcula-se o respectivo espectro $V_{ut}(f_i)$.

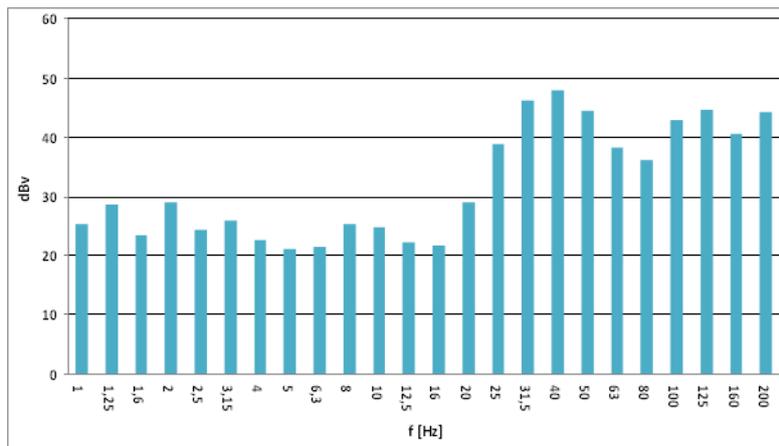


Figura 3.2 - Espectro de velocidade obtido na passagem em túnel de uma composição de metropolitano. Neste caso, as travessas da via, sistema STEDEF, tinham uma “pantufas” de borracha, o que justifica os valores moderados obtidos.

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

$$V_{st}(f_i) = T_{u \rightarrow s}(f_i) \times V_{ut}(f_i) \quad V, \text{ em mm/s} \quad (3.2)$$

$$V_{st}(f_i) = T_{u \rightarrow s}(f_i) + V_{ut}(f_i) \quad \text{em dBv} \quad (3.2b)$$

f) – A possibilidade da ocorrência de ressonâncias nas lajes dos edifícios é prevenida com um acréscimo ao valor global da velocidade eficaz, ao nível do solo, de + 6 dBv.

g) – O futuro desgaste e degradação das superfícies de rodas e carris é contabilizado por um acréscimo de + 10 dBv em todas as bandas de frequência.

h) – Os espectros finais $V_{btw}(f_i)$ e valores globais finais obtidos v são comparados com os limites admissíveis. Os valores globais, são estimados a partir dos espectros por $v_{rms} = (\sum_i v_{rmsi}^2)^{1/2}$.

Tabela 3.2 – Previsão da vibração no ponto (P9) em solo xistoso, a 23 m de profundidade

f , Hz	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5				
T	25,2	28,5	23,3	29,0	24,4	25,9	22,6	21,0	21,5	25,3	24,6	22,2				
A	-20,9	-26,5	-24,7	-15	-4,6	-18,8	-13,8	-16,6	-24,5	-20,8	-13,9	-3,1				
R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
D	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10				
P	14,3	12	8,6	24	29,8	17,1	18,8	14,4	7	14,5	20,7	29,1				
f , Hz	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200				
T	21,7	28,9	38,7	46,1	47,8	44,3	38,2	36,0	42,8	44,6	40,5	44,2				
A	-1,4	12,6	9,5	-2,2	-9,2	-16,4	-24,6	-25,2	-15,1	-19,2	-36	-38,7				
R	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	0	0	0	0	0	0	0				
D	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10				
P					42,1	63,3	70	65,7	60,4	37,9	23,6	20,8	37,7	35,4	14,5	15,5

Nota: T – vibração gerada pelo comboio; A - atenuação; R – ressonâncias; D – desgaste de rodas e rails; P – previsão: valor global: $v_{rms} \dots 72,3$ dBv.

Tabela 3.3 – Previsão do ruído emitido da vibração num conjunto de pontos em solo xistoso

Ponto	P1	P2	P3	P4	P5	P8	P9	P10
profundidade	30	28	30	28	28	34	23	24
vibração, v , dBv	80,9	66,5	63,4	76,6	51,5	65	72,3	67,7
$v_{rms}(f)_{max}$, dBv	76,3	64,1	60,7	73,1	50,9	62,3	70,0	65,3
f domin.	25	25	40	40	40	40	25	31,5
ruído, L_A , dB _A (1)	36,9	22,5	-	47,6	22,5	36	28,3	38,7
ruído, L_A , dB _A (2)	39,6	26,9	-	52,4	17,5	35,1	31,2	31,5

Nota: 1 - Ref: FTA – Transit noise and vibration impact assessment; 2 – Calculado.

i) – Onde necessário introduz-se isolamento, por exemplo, dimensionando uma laje de betão e uma manta elástica, a colocar sob a via, com a característica suficiente $\Delta V(f_i)$ para baixar os espectros $V_{btw}(f_i)$ a valores inferiores aos admissíveis .

Tabela 3.4 - Isolamento previsto com uma laje (esp. = 45 cm) sobre borracha (22 mm), dBv

f , Hz	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	
Δv_{rms}	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,9	+1,5	+2,5	+4,3	+8,2	+14,1	+4,5	
	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	glob
	-3,6	-9,0	-13,5	-17,6	-21,4	-24,6	-27,6	-30,5	-32,9	-35,2	-37,6	-39,7	-

Tabela 3.5 – Previsão da velocidade vertical de vibração e do ruído, com isolamento só em torno de P1, 2, 4, 9 & 10, dBv et dBA

Ponto	P1	P2	P3	P4	P5	P8	P9	P10
atenuação global do isolam ^o	11,5	13,1	0	20,4	0	0	13,3	11,7
velocidade ef., v, dBv	69,3	53,4	63,0	56,2	51,5	65,0	59,0	56,0
max espectro ef. vel., dBv	66,4	50,6	60,7	52,1	50,9	62,3	56,5	47,7
f dominante, Hz	20	25	12,5	31,5	40	40	25	31,5
ruído, L _A , dB _A	22,9	2,9	-	22,0	17,5	35,1	14,4	10,9

Nota: A profundidade dos pontos 6 e 7 era de 35 e 36 m.

4 CONTROLO DA VIBRAÇÃO GERADA PELA OBRA DE ESCAVAÇÃO (EXEMPLO)

4.1 Necessidades

Sendo a obra de construção uma situação transitória limitada no tempo, as pessoas estão dispostas a aceitar alguma incomodidade. No entanto, no trabalho de máquinas (como máquinas de perfuração e demolição) gerando vibrações continuadas, com duração diária significativa, deve procurar-se obedecer aos critérios de incomodidade, C₁ a C₃. Em trabalhos gerando solicitações mais violentas, geralmente impulsivas (ou de curta duração) é imperativo um controle, mantendo os valores da vibração abaixo dos limites de danos, critérios C₄ e C₅.

Note-se que danos consideráveis ocorrem muitas vezes devidos a assentamentos decorrentes das escavações, danos que mais tarde são atribuídos às vibrações. Quando são interpostas acções judiciais, pode ser problemática a determinação da causa dos danos em questão, donde a necessidade de um controle da vibração decorrente da obra, como foi o caso do exemplo da figura 4.1.



Figura 4.1 – Escavação onde foram utilizados explosivos e máquinas de escavação/demolição

Este controle é particularmente importante quando se realiza desmonte de rocha com explosivos; outras acções também geradoras de vibrações impulsivas são a implosão de

edifícios, também com explosivos, ou a cravação de estacas, com bate estacas. Nestes casos o critério aplicável é a NP 2074, critério C₄.

4.2 O desmonte de rocha com explosivos

A utilização de explosivos é feita por pessoal habilitado e autorizado. Uma primeira estimativa da velocidade máxima (dita de pico) de vibração decorrente de um desmonte, é dada pela expressão (Medvedev):

$$v = k (d/w^a)^{-b} \quad (4.1)$$

onde v é a velocidade de pico, em mm/s, d a distância da pega ao local sob controle, w a massa de explosivo em kgm, detonado num único furo, em tempo separado de outras detonações de pelo menos 8 ms, a um expoente variando teoricamente entre 1/3 (onda esférica) e 1/2 (onda superficial), e b e k , parâmetros a ajustar à características locais (Moura Esteves, 1993, Schiappa, 2002).

Em coordenadas logarítmicas, com $a = 1/3$, a equação 4.1 fica:

$$\log(v) = \log(k) - b \log(d/w^{1/3}) = \log(k) - b \log(s) \quad (4.1b)$$

colocando, $s = d/w^{1/3}$

Uma previsão antes do início das explosões é feita usando $k = 1900$, e $b = 1,5$. Normalmente, as primeiras pegas são realizadas com menores cargas explosivas, e determina-se um chamado perfil sísmico, medindo a velocidade de vibração em diversos pontos. No decorrer da obra é possível ajustar e ir ajustando os coeficientes, $\log(k)$ e b , da recta $\log(v)$ vs $\log(s)$, 4.1b.

Os pontos de medição devem escolher-se ao nível do solo, junto às fundações, de edifícios de interesse, geralmente os mais sensíveis pelo seu tipo de construção e valor patrimonial (cultural e histórico).

4.3 O conceito de mapa de vibração

É corrente quando do desmonte de rocha com explosivos a ocorrência de reclamações dos habitantes e proprietários próximos, ou mesmo a interposição por estes de acções judiciais. É assim importante, partindo dos valores das medições, normalmente num reduzido número de pontos, e dos dados das pegas já ocorridas estimar os valores que terão ocorrido em toda a área circundante à obra. A figura 4.2 mostra no gráfico $\log(v)$ vs $\log(s)$ os resultados em duas obras diferentes, pontos a vermelho, ●, e a laranja, ●, comparados com a previsão de Medvedev (Moura Esteves, 1993). Para cada obra, faz-se o ajuste à fórmula 4.1b, no caso de escavação em túnel usando o parâmetro $a = 1/3$.

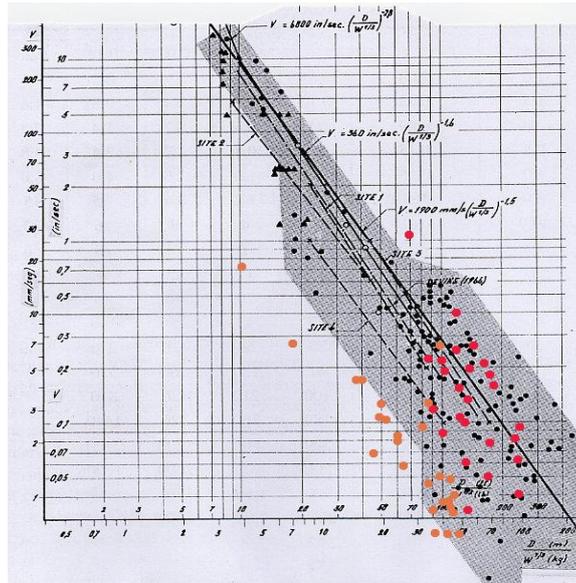


Figura 4.2 – Exemplo da relação, log(v) vs log(s)

Diferenciando 4.1:

$$\delta v = s^{-b} \delta k - b k s^{-b-1} \delta s - k s^{-b} \ln(s) \delta b \tag{4.2}$$

e desprezando o erro δw , $\delta s/s = \delta d/d$, e dividindo 4.2 por 4.1, obtém-se:

$$\delta v/v = \delta k/k - b \delta d/d - \ln(d/w^{1/3}) \delta b \tag{4.3}$$

Verifica-se assim que a distribuição de $\delta v/v$ é, para além da distribuição de $\delta k/k$ (justificável porque, de diferentes pegas para um mesmo ou para diferentes pontos, o percurso das ondas de vibração é diferente), afectado pelo erro relativo de d , menor para maiores distâncias, e pelo erro de b . Na obra representada a vermelho, \bullet , os valores de $\log_{10}(d/w^{1/3})$ variaram entre 1,16 e 1,88, a que correspondem valores Neperianos de 2,67 e 4,33, o que mostra a necessidade do ajuste o melhor possível do valor de b , na perspectiva de que b é constante, para o que é importante a utilização de um conjunto-amostra de pegas-medições mais vasto e significativo. Ignorando as duas últimas parcelas de 4.3, fica-se com:

$$\delta v/v = \delta k/k \tag{4.3b}$$

em que v é o valor de $v(s)$ dado pela curva ajustada.

Assumindo um carácter Gaussiano para estas variações relativas, calcula-se a variância σ da amostra dos valores $\Delta v_i/v$ medidos.

Invertendo 4.2 obtém-se:

$$d = (w)^{1/3} \cdot (v/k)^{(-1/b)} \quad (4.4)$$

Num mapa do local da obra, com centro nos furos das pegas a que correspondem as velocidades medidas, traçam-se circunferências com raio d obtido introduzindo-se em 4.4 os valores de velocidade admissíveis pela NP 2074, singelos (para uma confiança de 50%) ou divididos por $(1 + 3\sigma)$, se se quiser valores com muita confiança. Obtém-se, traçando a curva envolvente das circunferências, correspondentes a iguais valores admissíveis e confiança semelhante, isocinéticas fechadas, fora das quais, com a confiança escolhida, os valores da velocidade da vibração devida às explosões, não terão ultrapassado o valor da isocinética.

A figura 4.3 mostra um mapa de vibração, com as isocinéticas de $v = 5$, $-$, $= 10$ $-$, e $= 30$, $-$ mm/s, a traço interrompido $- - -$ as que definem as áreas exteriores de muita confiança, correspondentes à “impossibilidade”, associada ao intervalo de $+ 3\sigma$, de nessas áreas ter ocorrido um pico de velocidade igual (ou superior) ao valor da respectiva isocinética. Os valores obtidos de k , b e σ foram: $k = 468$, $b = 1,24$, e $\sigma = 0,35$ (Schiappa e Patrício, 2005).

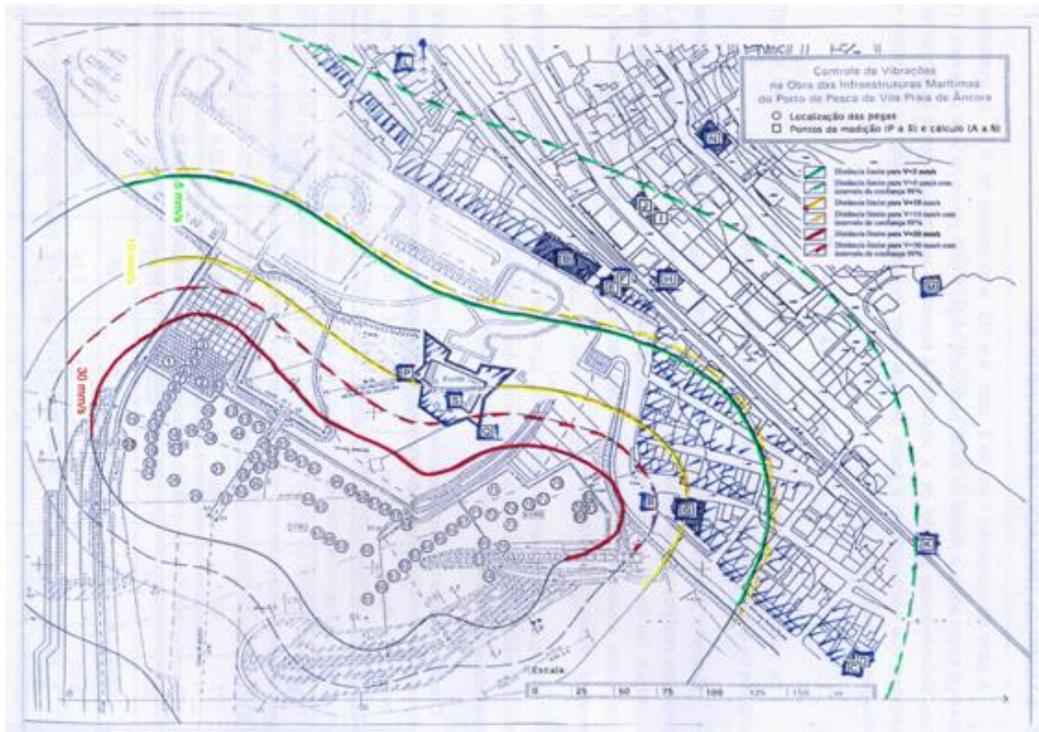


Figura 4.3 – Mapa de vibração: Planta do local da obra de escavação com explosivos, com a localização das pegas, O, dos pontos de medição, P a S, e locais de reclamação, A a M, □, e as isocinéticas correspondendo a $d(v_{adm})$, $- - -$ e a $d(v_{adm}/(1+3\sigma))$ $- \cdot - \cdot -$.

Note-se que o conceito de mapa de vibrações, o qual segue os mesmos princípios conceptuais dos mapas de ruído, pode ser concebido, não só para acções de carácter impulsivo (explosões e desmonte de rocha), mas também para vibrações continuadas devidas a explorações de vias.

5 CONCLUSÕES

A sustentabilidade das cidades, exigindo um melhor ambiente, mas também uma melhor mobilidade dos seus habitantes e visitantes, é viabilizada também pelo transporte ferroviário em túnel subterrâneo, invisível, imaterial e silencioso à superfície.

As composições ferroviárias, rodando sobre as vias, na fase de exploração, podem causar vibração incómoda nos edifícios sobrejacentes, assim como ruído aéreo emitido pelas paredes no domínio da audiodfrequência, vibração essa que na fase de projecto e construção pode e deve ser estimada, para implementação de soluções de minimização, se necessário. Esta estimativa deve ser verificada, com medições, na fase de exploração, no início e periodicamente, acompanhando um processo de monitorização.

Durante a obra de escavação e construção, com o uso de explosivos, e de máquinas de demolição e de perfuração, o controlo da velocidade de vibração na base das edificações é imperativo para lhes evitar danos. Em particular, quando do desmonte de rocha com explosivos, o mapa de vibração é um instrumento de estimativa dos valores ocorridos em locais onde não é possível ou viável efectuar medições.

Por último, o conceito de mapa de vibrações, a par com os conhecidos mapas de ruído, pode ser um instrumento de gestão e controlo de vibrações, com reflexos no interior dos edifícios em termos de incomodidade e ruído radiado, de significativa importância, devendo começar a ser adoptado como ferramenta legalmente consagrada.

6 REFERÊNCIAS

1. Grootenhuis, P. – Floating Track Slab Isolation for Railways, 1977. Journal of Sound and Vibration.
2. ISO 2631-2: 1989 et 2003 – Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)
3. Moura Esteves, Joaquim – Controlo das Vibrações Provocadas por Explosões na Indústria da Construção. 1993. LNEC, Lisboa.
4. NP 2074, de 1983 – Avaliação da Influência em Construções de Vibrações Causadas por Explosões ou Solicitações Similares.
5. Office of Railroad Development - Transit Noise and Vibration Impact Assessment. FTA-VA-90-1003-06. May 2006. Office of Planning and Environment. U. S. Department of Transportation. Federal Transit Administration.
6. Schiappa de Azevedo, Fernando – Vibrações Ambientais: Incomodidade nos Seres Humanos e Danos nas Edificações. 2002. LNEC, Lisboa.
7. Schiappa de Azevedo, Fernando; Domingues, Odete - High Speed Trains: Future Railway Nearby Vibration Prediction. Input and Transfer Function Estimates. (*In portuguese: Comboios de Alta Velocidade. Previsão de Vibrações Próximo de Futura Via. Estimativas da Solicitação e da Função de Transferência*). Congresso Acústica 2012, 1 – 3 Outubro. Évora, Portugal.
8. Schiappa de Azevedo, Fernando; Domingues, Odete; Castro, Joana – High Speed Trains in Portugal. Vibration Impact Assessment. (*In portuguese: Impacto dos Comboios de Alta Velocidade no Ambiente. Previsão das Vibrações*). Congresso Internoise 2010, 13-16 June 2010. Lisbon, Portugal.
9. Schiappa de Azevedo, Fernando; Patrício, Jorge – Measuring and Evaluating Vibrations in Buildings due to Blastings. Two Case Studies. 2005. In 12th ICSV, Lisboa, Portugal