

Condicionamento antivibratório de edifícios – análise de caso

Alfredo Rodrigues, P. Martins da Silva^a

^a *Engenharia de Acústica e Ambiente, Lda, Rua Aristides de Sousa Mendes, n.º 4-C Escr.3 ,
1600-413 Lisboa, Portugal, geral@acusticaeambiente.pt*

RESUMO: A ocorrência de vibrações em edifícios, quando solicitados por fontes externas, pode ter origens diversas, podendo considerar-se com relevância particular as circulações rodoviária e ferroviária, de superfície e subterrânea. As solicitações mecânicas são transmitidas através de cadeias constituídas pelas vias de circulação, o solo e os elementos estruturais dos edifícios, determinando estados de vibrações que são essencialmente apercebidos pelos ocupantes do edifício sob a forma de ruído, dado que os órgãos da audição apresentam sensibilidade mais elevada que os terminais nervosos que poderiam proporcionar a percepção táctil das vibrações.

No sentido de obviar à percepção deste tipo de ruídos, particularmente incómodos, deve proceder-se ao estabelecimento de “cortes” na cadeia de transmissão, podendo actuar-se na fonte ou, caso tal não seja possível, no edifício, sendo aqui apresentadas apenas soluções deste último tipo de acção.

É referida análise de edifício em Lisboa, na proximidade imediata de túnel do Metropolitano de Lisboa.

ABSTRACT: There are various sources of vibration in buildings, with relevant position in urban areas to road traffic and underground railways. Mechanical stimulus are transmitted through structures of buildings and are perceived eventually as noises, on account of the human greater sensivity to acoustic stimulation. The mechanical solicitations are transmitted through the chaines constituted by the ground and the structural elements of the buildings, determining states of vibration that are perceived essentially as noises.

In order to prevent the perception of this kind of noises, particularly disturbing, it is necessary to establish “cuts” in the chaines of transmission; the problem is generally analysed and referred to the application in a hotel in Lisboa.

1. APRESENTAÇÃO

São várias as fontes que podem determinar a ocorrência de vibrações em edifícios, podendo interessar a segurança destes mas que, em grande parte dos casos, assumem importância por determinarem estados de incomodidade para os ocupantes, seja por se tornarem preceptivos os estados de vibração seja em consequência da emissão de ruído pelos elementos estruturais; em meio urbano, as circulações ferroviária e rodoviária constituem fontes relevantes de vibrações.

Em perspectiva de síntese, podem distinguir-se como origens das vibrações devidas a circulação rodoviária e ferroviária, as três situações seguintes:

- Circulação ferroviária e rodoviária em túnel.
- Circulação ferroviária ou rodoviária à superfície – caso exemplar o de edifícios apoiados sobre gares de vias para circulação ferroviária;
- Estacionamento automóvel em zonas subterrâneas.

É bem patente que, subjacentes a todas as origens apontadas, estão os constrangimentos de espaços que se verificam nos aglomerados urbanos.

Os efeitos das vibrações podem ser de ordem diversa, podendo, em termos modelares, classificar-se como segue:

- Danificação de estruturas e edificações, particularmente em monumentos ou edifícios antigos, embora se deva apontar algumas situações que se revestem de acuidade marcada como seja o caso de estruturas muito esbeltas e de grande altura (por exemplo, antenas);
- Alterações do funcionamento de equipamentos delicados, em que existam órgãos sensíveis às vibrações;
- Incomodidade para pessoas (e, eventualmente, para animais), seja pela percepção directa dos estados de vibração, seja em consequência do ruído provocado pela vibração de elementos de construção, a situação aqui considerada.

A percepção do ruído pode induzir receios relativamente a aspectos ligados à estabilidade estrutural, se bem que as vibrações tornadas perceptíveis apenas por via auditiva apresentem intensidades muito inferiores aos limiares de risco para as construções.

Sublinhe-se que o conceito de incomodidade é relativamente vago, traduzindo essencialmente uma posição de rejeição em resposta a consequências diversas determinadas pelo facto de incomodidade, de que podem apontar-se, a título exemplificativo, as seguintes:

- Alterações do estado de saúde, o que, no domínio em referência, se coloca quase exclusivamente em relação a trabalhadores utilizando ferramentas vibratórias;
- Afecção da eficácia ou do rendimento no desempenho de actividades laborais;
- Afecção sensível da situação de bem-estar, particularmente na habitação ou em locais de lazer ou repouso, seja pelas vibrações apercebidas como tal ou em consequência do ruído a que poderão dar origem, como se sublinhou.

É bem conhecida a preocupação generalizada com a afectação das condições ambientais resultante de ruídos e vibrações provenientes das estruturas de transportes. No que respeita às linhas de circulação ferroviária (essencialmente de “metropolitanos”), a questão coloca-se em relação a vibrações e ruído em edifícios situados em condições que facilitem a estimulação transmitida como consequência da circulação das composições.

Com efeito o sistema ferroviário baseia-se na sujeição passiva do veículo a uma trajectória realizada mediante o par rodado-carril. Esta sujeição, relativamente frouxa no plano transversal (dado o jogo necessário entre os rebordos dos rodados e os carris para manter a estabilidade do sistema), implica, pelo contrário, uma ligação firme no plano vertical, onde o contacto rodado-carril, deve ser mantido em permanência. Esse contacto está na origem de esforços que constituem a fonte de vibrações transmitidas ao meio onde se apoia o carril: os rodados e os carris apresentam irregularidades que dão origem a esforços, determinando vibrações de componentes particularmente intensas até 200 Hz, para valores correntes da velocidade.

Para que se limitem os ruídos inerentes ao contacto rodado-carril, nas condições de sujeição referidas, a infra-estrutura deve ser dotada de elasticidade, que vai estabelecer um efeito de filtragem na transmissão dos estímulos ao solo.

Em termos de percepção por parte dos ocupantes de edifícios a cujas estruturas ocorra transmissão de vibrações, esta verifica-se, normalmente, primeiro em relação ao ruído resultante da radiação por parte dos elementos excitados do que, propriamente, em relação às vibrações, dado que o ouvido constitui um captor muito mais sensível que os terminais nervosos que tornam possível uma percepção táctil das vibrações.

A análise dos sistemas de circulação ferroviária torna aparentes alguns factores importantes para a compreensão das características das vibrações que podem ocorrer em estruturas vizinhas:

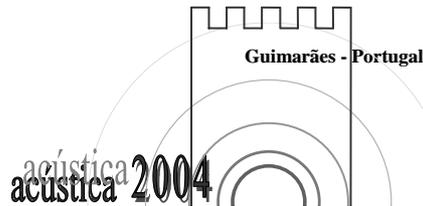
- Valor elevado das massas em jogo, sendo portanto elevadas as potências armazenadas que serão transmitidas à infra-estrutura;
- Carácter determinístico, resultante do facto dos rodados reproduzirem ciclicamente as excitações devidas a defeitos próprios, para além de que as composições integram carruagens o que determina praticamente uma “repetição” da aplicação das estimulações;
- Carácter, em regra marcadamente heterogéneo e não linear, dos meios em que ocorre a transmissão, implicando uma dificuldade grande em modelar o comportamento respectivo.

A origem das vibrações devidas à circulação ferroviária localiza-se, como referido, no contacto roda/carril, todavia, para a quase totalidade dos problemas nesta área, a “solução” vai encontrar-se na via ou no espaço onde se propaga o estímulo até ao local onde a acção nociva se faz sentir. Com efeito, a complexidade da estrutura do material rolante leva a que as intervenções nele sejam difíceis e de uma eficácia não estimável com fiabilidade. Acentue-se, todavia, que, em termos de ruído aéreo radiado pela circulação das composições, algumas alterações introduzidas nestas conduziram a reduções bastante sensíveis da potência sonora radiada, embora se afigure que, com os sistemas clássicos de *bogies*, se chegou actualmente a uma situação limite, em termos de atenuações desta potência sonora.

Para velocidades reduzidas de circulação, como é o caso dos metropolitanos, a intensidade do ruído aéreo radiado depende essencialmente das condições de rolamento, o que coloca com acuidade particular a correcção dos perfis dos rodados, eliminando sectores planificados em consequência de desgaste por escorregamento, bem como o desgaste ondulado; acentue-se que se trata de operações de custos sensíveis cuja frequência não se pode aumentar muito.

Pode assim considerar-se, especificamente para os metropolitanos, o material circulante como uma “constante” e não uma “variável” no que respeita a ruído aéreos e a vibrações. Como excepção pode apontar-se apenas o ruído com origem em passagens em curvas de raio reduzido ($R < 100$ m), onde se afigura ser mais eficaz, globalmente, o condicionamento a nível dos rodados do que das vias. Com efeito, o procedimento habitual de actuação na via, para atenuar a intensidade das emissões sonoras nas condições referidas, consiste em injectar água aquando da passagem das composições, sendo difícil manter diversas instalações desta natureza ao longo de uma rede complexa.

A origem de vibrações reside nas irregularidades, mesmo que muito reduzidas no contacto dos rodados com o carril, que se transmitem à estruturas dos túneis, propagando-se até aos edifícios.



O condicionamento na fonte, isto é, apontando no sentido de reduzir a potência das estimulações transmitidas às estruturas dos túneis, implica actuações nos rodados ou estabelecendo mecanismos de atenuação entre os carris e as estruturas dos túneis.

O estabelecimento de atenuação no solo através do qual ocorre a propagação dos estímulos é praticamente impossível de realizar com eficácia. Resta assim, como medida de protecção mais comum, a actuação nas estruturas dos edifícios potencialmente afectados, levada a cabo no sentido de reduzir de modo adequado as intensidades dos estímulos propagados a partir das fundações até aos locais onde poderão afectar os ocupantes desses edifícios. De entre as soluções possíveis de serem adoptadas, analisa-se o caso do isolamento na base dos edifícios.

2. REFERÊNCIA TEÓRICA DE BASE

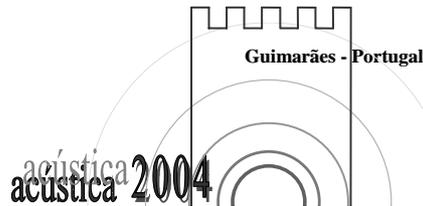
O isolamento de base é uma forma de protecção que consiste em reduzir as intensidades dos esforços nas estruturas, sem que ocorram deformações nestas, as quais são concentradas nos apoios instalados.

A propriedade base do isolamento de base consiste em baixar a frequência fundamental da estrutura apoiada nos elementos atenuadores, fazendo com que esta frequência fique fora da gama com interesse. Dado estar em causa a percepção de ruídos resultantes dos estados de vibração, como se referiu, a gama de frequências em causa é a gama do audível, que se admite, em posição de segurança, ter início na banda de frequência central 35 Hz.

Faz-se notar que as vibrações com origem na circulação rodoviária e ferroviária apresentam as componentes de maior interesse segundo a vertical. É viável – e de importância particular no nosso país, com zonas de sismicidade importante – conjugar a protecção em causa com a protecção anti-sísmica, aqui a tomar em consideração esforços horizontais e de frequências predominantes entre 1 e 5 Hz.

Sublinha-se que a adopção de protecção anti-sísmica de base, de modo diferente da concepção sismo-resistente aceite genericamente, permite a redução de esforços na estrutura, sem que nela ocorram deformações inelásticas, susceptíveis de, não sendo embora em risco o equilíbrio da estrutura, poderem causar danos significativos nos elementos não estruturais, como sejam as instalações de águas, esgotos e eléctricas, por exemplo. É desnecessário sublinhar a importância deste facto, por exemplo em relação a uma construção hospitalar, cujo funcionamento se pode tornar particularmente necessário após um acidente sísmico. A título informativo, refere-se que está em construção em Lisboa um edifício hospitalar onde, com colaboração dos autores, é posta em prática a conjugação de protecções referida, já que o complexo se situa em parte sobre túneis do Metropolitano de Lisboa.

Há diversas técnicas de modelação para estimar a resposta das estruturas com isolamento na base, sendo corrente a utilização da que se baseia no conceito da oscilador equivalente e admite que toda a estrutura se comporta como um corpo rígido, aproximação esta particularmente fiável por estarem em causa deslocamentos de amplitudes muito reduzidas, como é característico do tipo de situação em análise, em que os estados de vibração não se consideram perceptíveis como tal mas, sim, mediante os ruídos radiados.



A carga, que é habitualmente considerada para estudos em que estejam em causa protecções no domínio acústico (e que, por tal facto, se refere, por vezes, como “carga acústica”), obtém-se adicionando a carga estática com um terço da carga dinâmica em causa.

3. ANÁLISE DE CASO

Refere-se situação paradigmática resultante de obra de ampliação de uma unidade hoteleira na baixa lisboeta, ampliação que se pretendia desenvolver de modo que a sua envolvente se localizaria na vizinhança imediata de túnel do Metropolitano de Lisboa (Linha Verde). A volumetria do edifício, com dois pisos abaixo da cota do solo, permitiu criar “caixa”, sendo instalados apoios resilientes nas bases dos pilares e criando linhas de apoio resilientes desenvolvendo-se ao longo da envolvente exterior e paralelamente ao plano da base, de modo a estabelecer mecanismos de travamento para deslocamentos segundo a horizontal, isto para além dos travamentos nas bases dos pilares – ver figuras 1 e 2.

Os apoios foram calculados para ser de cerca de 9 Hz a frequência fundamental de oscilação vertical da estrutura, tendo-se escolhido materiais (CDM 83.050 e CDM 82.050), susceptíveis de assegurar atenuações de cerca de 20 dB para frequências a partir de 50 Hz.

Faz-se notar que a configuração do edifício, com parte desenvolvendo-se em consola, obrigou a desenvolver soluções que, em caso de ocorrência de solicitações sísmicas, impedissem que se verificassem movimentos de rotação, na medida em que, sob os efeitos de tais solicitações, alguns pilares deixariam de funcionar à compressão.

Apresentam-se algumas fotografias obtidas no decurso da obra (figuras 3, 4, 5 e 6).

AGRADECIMENTOS

Ao Sr. Engenheiro Paulo Pinto, Director da CDM Portugal, pela cedência das fotografias que ilustram a comunicação.

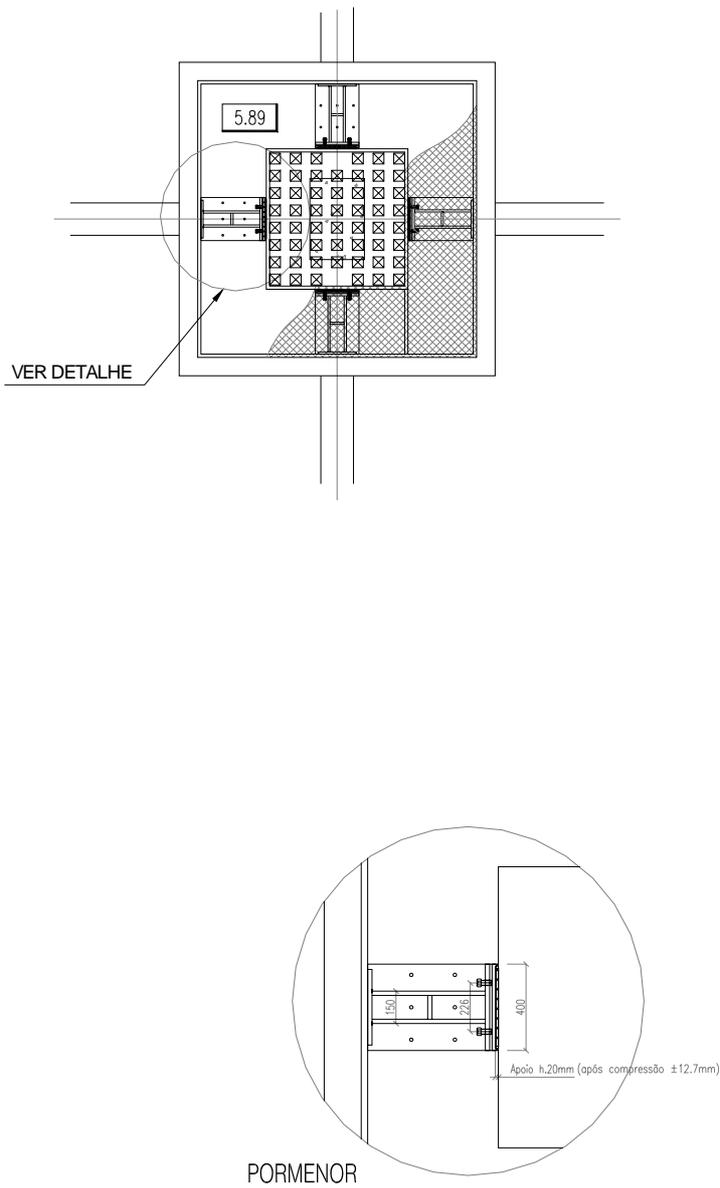


Figura 1 – Base de pilar (planta)

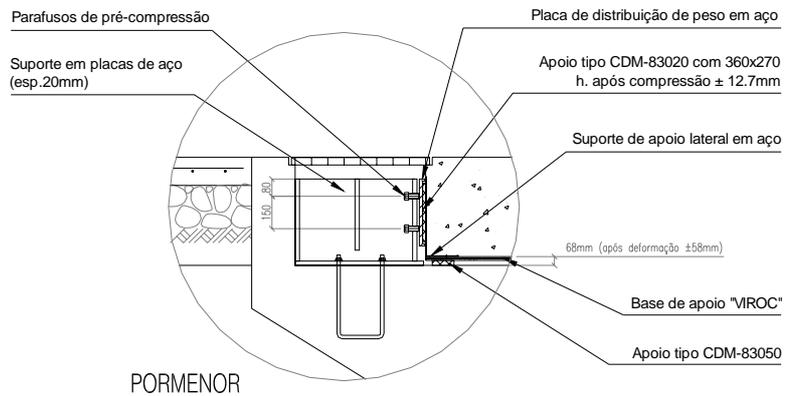
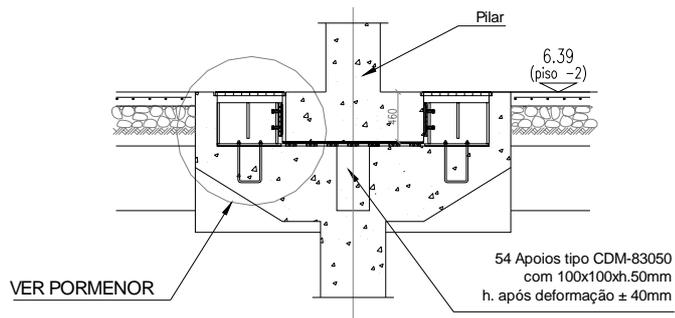


Figura 2 – Base de pilar (corte)



Figura 3 – Apoios resilientes prontos para aplicação



Figura 4 – Cofragem de base de pilar



Figura 5 – Base de pilar



Figura 6 – Pilar assente sobre apoios resilientes