

# Vibrações: têm elas importância para nós?

► **Víctor A. Mirol**  
v.mirol@uol.com.br

Sem dúvida têm, e muita. O problema é, no entanto, mais complexo do que somente essa enunciação. De fato, é difícil saber quais delas estão agindo, em que plano de vibração e em qual frequência. É mais importante considerar as vibrações produzidas pelo próprio componente, ou as provindas de fora (do ambiente)? Se forem as do ambiente, por onde elas chegam? Pelo ar, pelo chão, pela estrutura da sala? Se forem as do componente (discos, transformadores, mecanismos, etc), será que o fabricante as levou em conta quando projetou o invólucro e os mecanismos internos de compensação? Se agirmos intempestivamente, poderíamos estar prejudicando essa interação do fabricante.

Grande parte das dúvidas persistirá, mas, de qualquer forma, vale a pena estudar o assunto.

Uma vibração é uma oscilação das moléculas ou de todo um objeto. Dependendo da rigidez e do tamanho da substância da qual este é composto, as diversas partes poderão oscilar em sincronia ou não. Quando essa vibração é anárquica – isto é, composta de frequências pobremente relacionadas – podemos considerá-la como ruído. Quando é fundamentalmente composta de frequências relacionadas, estamos na presença do som propriamente dito. Portanto, a divisão entre vibração e som pode ser muito tênue.

O único que sabemos positivamente é que quanto mais estáveis – ou seja, sem vibrações – forem as condições de

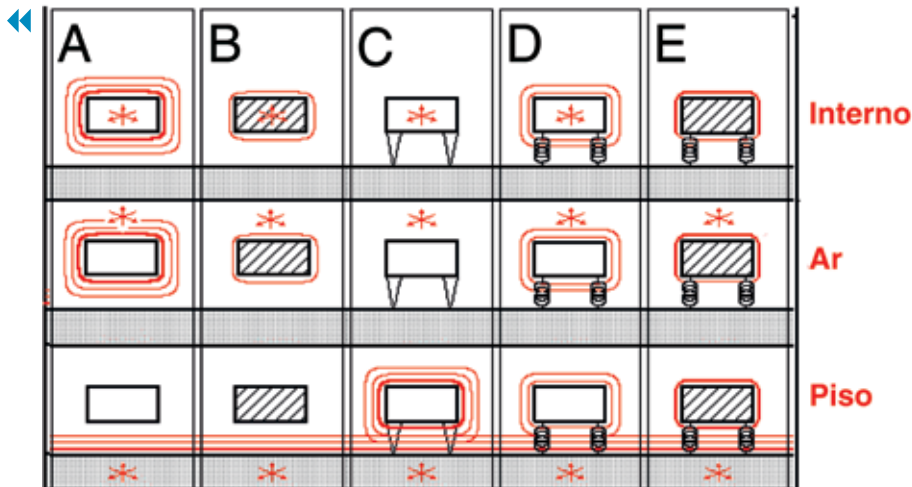
trabalho de um componente eletrônico ou eletromecânico, menor interferência haverá sobre os sinais que passam através dele.

Lembremos que vibrações do ambiente podem vir por três caminhos: pelo ar, pelo chão ou por contigüidade. No primeiro caso, estão ruídos diversos de dentro ou fora da sala e – não podemos esquecer – o próprio som provindo dos alto-falantes, tanto direto, como refletido por superfícies que podem vibrar predominantemente em determinadas frequências com muita intensidade. Estes sons "musicais" agem por retro-alimentação: o sinal sonoro faz vibrar o componente, introduzindo uma modulação que estará atrasada no tempo com o sinal eletrônico passando por ele e pode estar em relações de fase variadas, resultando em distorção. Os outros induzem movimento vibrátil por acoplamento do ar com a estrutura mecânica do componente, tanto mais quanto maior sua área e menor seu peso. Os ruídos transmitidos pelo chão chegam ao componente por acoplamento direto, ou através dos pés de borracha que possam existir, e que modificam – para melhor ou pior – o efeito resultante. Com exceção de vibrações próprias do planeta (sísmicas) e de acoplamento de elementos vibráteis com o chão ou paredes do prédio (motores, condicionadores de ar, trânsito), outros ruídos que chegam pelo chão são originados no ar (aviões, helicópteros, trânsito, alto-falantes). Estas vibrações agirão diferentemente de acordo com

a massa e a rigidez do chão (que para este fim, é a superfície sobre a qual está apoiado o componente, seja o chão mesmo, ou uma estante ou outro suporte). Por exemplo, um chão de madeira solta irá vibrar com a sonoridade dos falantes e transmitir essa vibração para um componente nela apoiado, somando-se àquela que chegar diretamente pelo ar. Em todo caso, interessa determinar, para cada componente, qual o caminho de entrada da vibração (ar, chão) e, no caso das vibrações internas do componente, se sua atenuação está prevista no projeto do fabricante.

Diversos componentes vibram – ou são sensíveis a vibrações. Vejamos alguns exemplos. Entre parênteses, está mencionado o caminho da vibração preponderante, o mais importante primeiro.

Toca-discos (terrestre, aéreo). Os discos em rotação – como qualquer outro objeto girando – geram oscilações basicamente no plano horizontal. No caso dos LPs, por volta dos 0,5 Hz e seus harmônicos. Também ondulações na sua superfície fazem o braço subir e descer e, portanto, criar oscilações de baixa frequência que influem no posicionamento da agulha dentro do conjunto magnético da cápsula. O motor também gera vibrações e, por isso, está geralmente isolado da bandeja por suspensões internas. No caso das **Rega**, o recurso foi motores de muito baixa vibração. Todas estas vibrações afetam o posicionamento da agulha e criam sinais ►►



que modulam o sinal impresso no disco.

São, porém, as vibrações externas – providas do ambiente – as que criam mais preocupação. Estas são causadas por passos, golpes e outras fontes na sala ou seus exteriores e, também, vibrações causadas pela própria música emanada dos alto-falantes. As vibrações aéreas acoplam-se facilmente pela ampla superfície e pouca massa da tampa do toca-disco e do próprio LP.

Transportes e CD players (interno, terrestre, aéreo). Estes dispositivos geram múltiplas freqüências vibratórias por causa da elevada velocidade de giro dos CDs (500 RPM). Estas vibrações agem em diversos planos e são agravadas pelo diminuto peso que muitos aparelhos têm, o que facilita sua disseminação dentro deles. O feixe de laser pode ter dificuldades na leitura e perder *bits* de informação, o que não percebemos por causa dos sistemas de correção incorporados na eletrônica (padrões de correção de acordo ao *red book*). Perda de alguns *bits* são sempre inevitáveis (riscos ou manchas na superfície, erros mecânicos, erros de leitura dos trilhos de fendas do disco, e outras), mas temos que fazer com que sejam somente “poucos” *bits*. Quanto menos o sistema de correção entrar em ação, melhor a qualidade musical que iremos experimentar.

Pré-amplificadores (terrestre, aéreo).

Como nos casos anteriores, o nível de sinal muito baixo – especialmente quando existe circuito de *phono* – é o que os faz sensíveis a vibrações, tanto as externas, como a microfonia (válvulas e alguns componentes passivos). Quando estão incorporados a amplificadores – amplificadores integrados – a vibração do transformador da fonte de alimentação pode, também, ser um problema. As válvulas podem ser muito sensíveis a vibrações – característica chamada de microfonia: a capacidade de gerar correntes quando submetidas à vibração em forma análoga a como reage um microfone. Naturalmente, estes sinais modularão qualquer sinal que estiver passando nesse momento, tanto mais quanto mais tênues eles forem. Em especial, pentodos de alto *mu* em configurações de alto ganho (EF86, por exemplo). A causa disso é mecânica: a distância entre cátodo, grelha e placa muda em forma diminuta com a vibração, causando alteração nas tensões – ou capacitâncias – entre elas e, conseqüentemente, na corrente passante. Os componentes passivos – em especial capacitores ou condutores imersos em campos magnéticos – também são sensíveis, às vezes, às mesmas vibrações.

Amplificadores. Os transformadores, em especial os de grande potência, podem causar vibrações que podem ser transmitidas a componentes de baixo

sinal circundante, quando apoiados em superfícies leves e comuns. Os integrados, se de alto ganho, assemelham-se aos pré-amplificadores.

Alto-falantes. A situação aqui é complexa. Eles causam intensa agitação molecular no ar – ou seja, o som que ouvimos – e esta interfere com os componentes de baixo nível de sinal e, em especial, com transdutores: toca-discos, CD *players* e transportes. Além do som emitido diretamente pelos cones dos alto-falantes, as paredes da caixa, que recebem a onda posterior dos *drivers*, vibram e transmitem essa vibração ao ar, enfatizando certas freqüências. A própria caixa como um todo, reagindo em oposição ao impulso dado à bobina móvel e ao cone do falante pelo sinal provindo do amplificador, oscila mais ou menos intensamente (lembramos que o cone do falante só irá para frente – com violência, no caso de um golpe de bumbo – ao sofrer aceleração causada pelo campo magnético da bobina móvel, se a massa e rigidez da caixa permitir, de acordo à lei da ação e reação. A caixa tende a oscilar em sentido contrário ao cone). Apesar do cuidado do fabricante, estas vibrações podem ter modos muito pronunciados, que são projetados para o exterior e que agem também retornando sobre o próprio *driver*!. Temos que lembrar que, similarmente ao que acontece em cápsulas de toca-discos, o movimento do cone sempre é relativo ao campo magnético do imã e, se este vibra, o sinal será modulado – *ergo*, distorcido. Daí a necessidade da caixa estar muito firmemente fincada no chão?

Condicionadores de sinal podem originar vibrações causadas por indutores que serão transmitidas ao entorno, via planos de apoio. Fontes de alimentação podem, também, agir da mesma forma.

Nos casos de equipamentos leves, o

◀ efeito de qualquer tipo de vibração é sempre mais nocivo e cobra dimensões mais preocupantes.

Consideremos agora a forma como uma vibração é transmitida a um objeto e como o influencia.

Digamos que temos uma massa sólida qualquer. Podemos considerar quatro possibilidades, ilustradas esquematicamente na figura número 1: a massa isolada no ar3 (colunas "A" e "B"), a massa apoiada firmemente num piso sólido (coluna "C") e a massa apoiada nesse mesmo piso através de molas ou outro elemento elástico (colunas "D" e "E").

Essa massa está submetida a vibrações que podem provir dela mesma (caso rotulado "Interno") ou do exterior, seja através do ar (casos rotulados "Ar") ou do chão (casos rotulados "Piso"). As colunas "A" e "D" representam casos de componentes de pouca massa (ou peso). As colunas "B" e "E" representam os casos de componentes mais pesados. Naturalmente, as colunas "A" e "B" são meramente ilustrativas, já que nunca teríamos um componente flutuando no ar...

No caso de vibrações originadas no próprio componente (toca-discos, etc) nós vemos que o simples aumento da massa limita a perturbação induzida no componente ("Interno" "A" e "B"). Já com o componente apoiado firmemente no chão, as vibrações deixam de agir sobre ele devido ao efeito de "aumento" da massa causado pelo acoplamento com a terra, sendo que a massa em si, agora pouco importa ("Interno" "C"). Quando o componente é suspenso sobre molas – ou elásticos – novamente

a massa cobra importância, pois abaixa a frequência de ressonância natural do conjunto, colocando as vibrações fora (abaixo) – total ou parcialmente – do espectro audível ("Interno" "D" e "E"). Quero lembrar que o efeito limitante somente acontecerá para vibrações cujas frequências estiverem abaixo da frequência de ressonância (ver artigo da página 32 da edição 97 da Revista e seu complemento no *site* [www.clubedoaudio.com.br](http://www.clubedoaudio.com.br)).

Já as exteriores terão um efeito que será tanto maior quanto menor a massa e maior a sua superfície. Com efeito, as vibrações do ar que incidem no corpo exercerão uma força sobre ele que é função direta da sua superfície e inversa da massa. Quanto maior a superfície, mais moléculas exercerão pressão sobre ela. E quanto maior a massa, menor o movimento (aceleração) que ela irá sofrer quando sujeita a essa força (efeito de inércia).

Vamos lembrar, já que mencionamos força e pressão, a diferença entre elas. Força é definida como a magnitude que, aplicada a uma massa, imprime a ela uma aceleração – faz com que ela se mova no sentido da força impulsora, aumentando a sua velocidade com o tempo de aplicação, a uma taxa constante. Dito de outra forma, para expressá-lo em unidades concretas, um kgF é aquela que faz com que uma massa de 1 kg seja acelerada a 1m/s<sup>2</sup>. A importância desta divagação teórica vem a seguir: dada uma força qualquer (a da vibração, por exemplo), a resposta – aceleração – da massa afetada será inversa à sua massa, já que  $a = f / m$ . Daí que uma

primeira medida de defesa contra uma vibração seria a de **aumentar a massa do componente**. Como não podemos aumentar essa massa diretamente, o que fazemos é **apoiar solidamente o componente sobre uma massa maior**. Por isso é que um componente mais pesado será menos sensível a vibrações, e que um componente – leve ou pesado – apoiado rigidamente sobre uma massa maior também o será. Por isso, na coluna B vemos os componentes vibrando menos que nos casos da coluna A (casos de vibrações internas e aéreas: nas terrestres não haverá, logicamente, nenhuma vibração do componente). Também por isso é que, na coluna C, os mesmos componentes, apoiados sobre uma massa muito maior que eles – no caso, o chão – ficam quase isentos de vibrações (naturalmente, no caso das vibrações terrestres, o componente solidamente fixado ao chão – terceira linha – vibrará tanto quanto ele). Por último, nas colunas D e E temos o caso de um apoio por intermédio de molas. Aqui, as vibrações serão maiores ou menores, dependendo da frequência natural de vibração do conjunto massa-molas, segundo a

fórmula 
$$fn = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$
 (que já vimos em artigo anterior, ver número 32 da Revista e, também, [http://www.clubedoaudio.com.br/S\\_Vt%20MovHarm.xls](http://www.clubedoaudio.com.br/S_Vt%20MovHarm.xls) (cálculo), <http://www.clubedoaudio.com.br/porque.htm> (complemento ao artigo) e <http://www.clubedoaudio.com.br/explicacao.htm>, (explicação do uso da planilha de cálculo). Neste caso vemos que

- 1 O impulso induzido sobre o conjunto bobina móvel-cone do falante pelo sinal recebido interagindo com campo magnético do imã, faz com que a caixa seja empurrada em sentido oposto com igual força. A diferença de massa entre ela e o cone, assim como a sua relação de aspecto e correta fixação ao chão, determinarão o seu movimento reativo. O movimento total do cone – e, portanto, a intensidade e forma da onda sonora emitida – será igual à força impulsora do sinal menos o movimento instantâneo da caixa.
- 2 Mesmo assim, ultimamente têm sido relatados bons resultados com um acoplamento frágil entre a caixa e o chão.
- 3 Este caso é ilustrado meramente para facilitar a compreensão, já que dificilmente haverá um componente nessa situação, puramente teórica.



◀ quanto maior a raiz de massa (" $m$ "), menor a  $fn$  e quanto maior a rigidez das molas (" $k$ ") maior esta será. Ocorre que nestes casos, o efeito da vibração sobre a massa suspensa será diferente: a) quando a frequência da vibração é menor (pouca modificação), b) igual (grande transferência da vibração para o corpo suspenso) ou c) maior (atenuação da vibração transmitida, tanto mais, quanto maior a frequência desta). Podemos dizer, então, que desde que a relação de frequências seja favorável, a vibração será amortecida, tanto mais quanto maior for a massa (do componente ou da base na qual está apoiado solidamente) e quanto menor for a rigidez das molas.

Podemos, numa primeira olhada à figura, inferir que os melhores casos serão os da coluna **C** (para vibrações internas e aéreas) e da **E** (para vibrações do chão). Isto, se nós soubermos exatamente a origem das vibrações, o que raramente é o caso, pois numa situação real elas têm inúmeras fontes e vias de transmissão.

Consideremos, agora, as frequências envolvidas.

Em primeiro lugar, diremos que as frequências compreendidas no espectro de percepção sonora humana, ou seja, entre 10 e 20.000 Hz não são equivalentes em termos de vibrações. Aquelas com as quais deveremos ter maior cuidado são as que incluem os graves e os médios baixos. Porém, devemos considerar que uma vibração dificilmente vem sozinha, dançando em uma frequência única. Geralmente vem acompanhada por harmônicos, ou seja, frequências que são múltiplos da frequência básica. Isto quer dizer que uma vibração de 15 Hz, por exemplo, se fará sentir também a 30, 45, 60 Hz e assim por diante. Então, não seria uma solução total pensar em um sistema de filtro em 20 Hz. Melhor e mais prudente seria

pensar em frequências mais baixas, da ordem de 4 Hz ou similar. Como vimos em artigo anterior, essas frequências só podem ser obtidas, na prática, com sistemas de molas. O uso de elastômeros (cuja máxima vantagem seria a sua capacidade de mostrar amortecimento resistivo) pode criar problemas imprevistos, pois suas elasticidades costumam ser limitadas. Se somarmos a isso o uso de componentes de baixa massa (ou sem um suporte pesado), poderíamos estar favorecendo frequências ressonantes altas e perceptíveis. O seu componente resistivo pode atenuar esse efeito em parte. O resultado final dependerá de fatores, alguns mencionados, como: tipo, forma e volume do elastômero, peso do componente/base, tipo e frequências vibráveis existentes no ambiente e banda passante do sistema. Uma consideração adicional seria a de que para ressonâncias em baixas frequências transmitidas pelo ar, às vezes uma mudança de local do componente pode amenizar o seu efeito deletério, devido à diferente pressão sonora em diferentes locais da sala de audição.

Casos especialmente desfavoráveis a considerar são: 1) toca-discos leves apoiados sobre tip-toes, em chão com muita vibração (madeira solta, por exemplo) ou sobre elastômeros, se situado muito perto de alto-falantes de boa extensão e volume de baixos, 2) caixa acústica leve apoiada sobre bases elásticas.

#### **Os sistemas comumente utilizados e suas aplicações.**

A diversidade de origem (do exterior, do próprio componente), de frequência (desde 0,5 Hz de um LP até toda a faixa média de áudio emitida por alto-falantes, incluído aí o grupo de vibrações externas de baixa frequência, em geral), de planos de vibração (horizontal em discos, vertical e oblíqua em CDs, e diversa em motores

de toca-discos, múltipla no caso de transformadores) faz com que diversas soluções tenham sido encontradas para combatê-las. Temos pés de borracha, tip-toes, caixas de areia, bolas de tênis, Shindos e tantos outros. Também muito diversos são os materiais de construção desses dispositivos.

Indo por partes, poderemos tentar analisar cada grupo deles.

#### **Tip\_Toos**

Em primeiro lugar, os tip-toes. Colocados no mercado há muitos anos, eles provêm – como mostra a coluna **C** – acoplamento rígido entre o componente e o chão, criando um aumento virtual da massa do componente. São às vezes chamados de diodos mecânicos, porque transmitiram vibrações do componente para o chão e não o inverso, o qual é particularmente verdadeiro quando se trata de pisos de madeira. De fato, foram muito úteis no caso de toca-discos e de alto-falantes colocados em pisos com carpetes, por permitir o contato direto com o piso subjacente.

Para que estes dispositivos cumpram o objetivo a que se propõem, é necessário observar alguns preceitos. Em primeiro lugar, eles devem ser três, que é o único número que permite um apoio estável de todos no chão. Quatro já poderia fazer com que um deles se apoiasse com menor força ou ficasse no ar, com o que o toca-discos ficaria instável e parcialmente no ar, configurando a situação da coluna **A** (!). Alguns vêm com mecanismo de ajuste para evitar esse problema quando usados quatro ou mais, mas não é tão confiável como usar três cones. O componente deve se apoiar nos cones em pontos fortes da estrutura. Estes costumam ser os locais onde estão situados os pés que o fabricante colocou originalmente, que deveriam ser retirados e substituídos pelos cones. O problema, normalmente, é que os



« toca-discos vêm com quatro suportes, geralmente de borracha. Necessariamente, um dos cones teria que ser colocado em um ponto da estrutura que poderia não ser devidamente reforçado. Por isso, um exame da estrutura do chassi do toca-discos é obrigatório para escolher o lugar do terceiro cone, geralmente colocado atrás. Outra consideração é a de tratar de manter uma estabilidade adequada do toca-discos, e isso requer levar em conta a situação do seu centro de gravidade, que deveria ficar no centro geométrico do triângulo de cones. Deve, naturalmente, ser evitado colocar material elástico entre o toca-discos e os cones, como borrachas, elastômeros ou os próprios pés originais do toca-discos porque isso anularia a vantagem do acoplamento rígido (ou, no mínimo, criaria uma situação difícil de calcular). Também deve ser seriamente considerado o plano sobre o qual apoiar o conjunto, já que, para que seja útil, deve ser sólido, estável e de alta massa. Por isso, bandejas de madeira, estantes, ou suportes de parede, devem ser analisados com cuidado e, em todo caso, usar bandejas de suporte de granito bem pesadas para obter a massa amortecedora que procuramos debaixo dos cones. Uma outra consideração a ser feita é o caso dos toca-discos com suspensão interna. Muitas vezes o fabricante incorpora essa suspensão (Linn, por exemplo) calculada para amortecer as vibrações do motor e externas. Como o sistema disco-cápsula está contido nesse sistema interno, mesmo acoplando o toca-discos com o chão por meio de cones, deixaríamos o prato e a cápsula abertos a vibrações providas dos alto-falantes. Nestes casos, provavelmente, os tip-toes poderiam ser menos efetivos que no caso das bandejas sem suspensão.

No caso dos CD *players*, o uso de tip-toes é difícil de analisar e deve ser considerado arriscado. Acontece que,

muitas vezes, o fabricante, em especial em equipamentos leves, já considerou algum amortecimento das vibrações internas por meio de sistemas internos e dos pés do aparelho. Se colocarmos cones no seu lugar, poderíamos aumentar o risco de vibrações internas ou seus harmônicos. Use o recurso com precaução e faça sempre uma comparação auditiva antes de prosseguir.

Alto-falantes em chão acarpetado constituem sua mais clássica aplicação: eles fixam a caixa diretamente no piso, sem permitir sua oscilação reativa ao movimento do cone dos falantes e ajudando a dissipar as vibrações das paredes.

#### Suportes Flexíveis (Elastômeros)

Construídos em sorbothane, navcom e similares, consistem em suportes para serem colocados embaixo dos equipamentos. De diversas formas e tamanhos, têm como característica comum a elasticidade combinada com amortecimento, próprio desses tipos de borrachas. Quando carregados com o peso dos componentes, confirmam um sistema ressonante cuja massa é a do componente e a elasticidade é a dos suportes. O problema, às vezes não considerado suficientemente, é que os elastômeros não possuem suficiente flexibilidade para ressoar a uma frequência suficientemente baixa quando combinados com as massas pequenas dos componentes e que, quando usados pesos grandes, sua capacidade de deformação é excedida. Uma solução é usar entre eles e os componentes, bases de granito pesadas, mas – como acabamos de dizer – o risco é o de esmagar as borrachas até o ponto em que não sejam mais elásticas. Colocar mais suportes não resolve, pois a elasticidade do conjunto diminui (os elementos elásticos em paralelo se combinam como resistências em paralelo e o valor total é menor que o menor deles) e, calculado

$$\frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n}}$$

como

a frequência natural de ressonância aumentar. Funciona, porém, em alguns casos, dependendo das frequências (ou harmônicos) envolvidas e do peso do componente.

Podemos usá-los embaixo dos suportes originais do componente, pois, embora isso aumente a incerteza, de todas as maneiras não temos uma forma fácil de medir seu comportamento. Se quisermos, podemos, com paciência e observação cuidadosa, medir o seu  $k$  (coeficiente de elasticidade) com o método descrito no artigo da página 32 edição 97 ou no *site*. Precisaríamos de um calibre com vernier para maior precisão. Mesmo assim, é quase impossível medir o coeficiente de amortecimento, e isso faria com que o cálculo de comportamento e de atenuação seja necessariamente só uma aproximação. O recurso é o mais famoso em áudio: colocá-los e ouvir o resultado com paciência e com diferentes tipos de música.

Existem também em forma de lâminas de elastômero de alguns milímetros de espessura.

#### Esferas Deslizantes (Shindo, Pulsar Points, Daruma etc)

Sistemas que funcionam como acoplamento rígido para esforços simétricos no eixo vertical, e como sistemas oscilantes para vibrações laterais ou assimétricas.

Consistem em uma base côncava no centro e uma cobertura, também côncava, entre as quais existe uma esfera metálica que permite que a base e a cobertura deslizem entre si, aumentando a sua energia potencial na medida em que se afastam do centro de equilíbrio (nesse sentido agindo como molas). Quando três ou mais destes dispositivos são colocados como



◀ suporte de um componente, este pode oscilar lateralmente. O movimento lateral terá um efeito de retorno, já que as esferas, ao deslizar lateralmente, também o fazem em sentido ascendente devido à curvatura da concavidade, adquirindo energia potencial. Dependendo do acabamento das pistas de rolagem, esse movimento de vai e vem será amortecido mais ou menos rapidamente. Por ser um movimento complexo, existe mais de um grau de liberdade no sistema, embora, quando considerado um único elemento, se equivalente é o de um sistema de molas com eixo horizontal, plano no qual são eficientes para limitar vibrações (como muitas das providas do terreno, de vibrações de estantes ou de vibrações internas). Para funcionar adequadamente, requerem um ótimo acabamento das superfícies côncavas e um material de alta dureza (nas pistas e nas esferas) para manter durabilidade e uniformidade de movimento. Combinados com elastômeros brindam elasticidade e amortecimento em todos os sentidos. Se isto é eficaz, dependerá do tipo de vibração perturbadora e do peso apoiado. Têm sido relatados bons resultados como suporte de alto-falantes, embora teoricamente não deveria ser assim.

Existem alguns outros tipos de sistemas de amortecimento ou isolamento de vibrações que combinam um, dois ou mais dos tipos mencionados.

Devido à dificuldade em determinar uma frequência de ressonância, é difícil prever o seu resultado em cada tipo de aplicação, em especial os elastômeros e as esferas deslizantes. A audição ou a aplicação em componentes de peso e características similares àqueles onde se pretende usá-los é a única forma de avaliá-los. Em geral, os diversos tipos de elastômeros ressoam em frequências bem dentro da faixa de áudio e, por isso, podem dar resultados em alguns

componentes e não em outros.

### Sistemas com Molas de Compressão ou de Suspensão

Estes sistemas permitem ser calculados (ao menos no modo de liberdade correspondente ao  $k$  – coeficiente de elasticidade – conhecido das molas) com mais previsibilidade e, quando bem desenhados para a aplicação pretendida, costumam dar resultados consistentes.

#### Alguns casos específicos

Toca-discos: Quando se pode dispor de uma base sólida e maciça, os cones (tip-toes) são confiáveis como acopladores de massa. Se a base não for confiável (quando ela pode ser origem de vibrações), não são uma boa escolha. Mesmo assim, o uso de elastômeros poderia ser pior, pois podem ser excitadas ressonâncias em frequências audíveis que piorem a situação. Sem dúvida, um sistema com molas e massa suspensa é o melhor.

CD-players e transportes. Quando de boa qualidade e pesados, os pés com que o fabricante os entrega têm alguma chance de serem adequados para seu componente específico. Se essa for a suposição, é melhor usá-los e não substituí-los, pois correremos o risco de excitar frequências audíveis. Se esse não for o caso, usar elastômeros poderia ser uma solução, embora seja conveniente experimentar com vários. Se o componente for muito leve, conviria experimentar com uma base de granito ou aço apoiada nos elastômeros. Pode ser usado algum tipo de peso acima do componente, porém, estamos em uma situação similar, pois não podemos saber qual frequência final de ressonância iremos obter. Se a base de suporte for confiável e o componente não muito leve, tip-toes ou sistemas de esferas poderiam ser úteis.

Alto-falantes. Tip-toes ajudam a estabelecer um contato sólido com o chão, o que permite que o cone siga mais adequadamente a curva de

corrente que chega à bobina móvel. A caixa tende a oscilar em forma reativa ao impulso do sinal sobre o cone, e isto é distorção e, provavelmente, piora nas baixas frequências. O apoio sem os cones dificilmente é estável e bem distribuído, em especial se houver um carpete embaixo. Os cones irão danificar o chão e podem ser usadas moedas de metal mole para evitar riscos.

Consideremos agora o caso de uma laje flutuante destinada a conter grande parte dos componentes, como é o caso da que construí na minha sala. Lembremos que esta consta de uma laje de concreto de 1700 kg, aproximadamente, acrescida de 300 kg de mármore de recobrimento, totalizando 2000 kg. Um toca-discos apoiado rigidamente nela seria igual a um toca-discos pesando 2000 kg! Dizendo isso, expressamos que uma onda provida do ar teria que ter uma tremenda pressão para fazê-la vibrar, pois teria que fazer vibrar, também, toda a laje (ou fazer com que o toca-discos escorregasse sobre ela...).

Pela constante de elasticidade das quatro molas (290 N/m), a laje vibra naturalmente a 4 Hz. Ou seja, toda frequência maior que 5,6 Hz será atenuada, tanto mais quanto mais alta ela for. Isto se aplica a vibrações providas do chão, como também a vibrações dos próprios aparelhos colocados sobre ela sem intermediários elásticos. Lembro isto porque é importante destacar que se usarmos elastômeros como suportes entre os componentes e a laje, anularíamos a vantagem dela ao estarmos criando um outro sistema ressonante, seguramente de frequência muito mais alta, permitindo que o componente vibrasse "por sua conta", mesmo que a laje ficasse estável como pedra. Em outras palavras, fariamos com que o componente fosse "independente" da laje, sem acoplamento



◀ de massa (lembrem-se da coluna "C", "interno" e "ar"). Porém, no caso de um componente gerador de vibrações a situação é outra. Por estar apoiado diretamente na laje, transmite para ela – e os outros componentes – essas vibrações.

É por isso que o condicionador de força foi colocado no chão, pois ele gera vibrações que são transmitidas por contato, mais que pelo ar (o som por ele emitido é pequeno nas frequências audíveis, embora possa chegar a 30 ou 40 dBA em 120 Hz.). É um detalhe, porém importante para entender o conceito. As vibrações de um aparelho de – digamos – 50 kg de massa serão transmitidas à laje de 2000 kg com grande perda, só para simplificar, 40 vezes menos pela relação de massas (o cálculo não é exatamente esse...). No entanto, se colocado no chão, a vibração terá que ser transmitida para uma massa muito maior, que é o chão, para depois serem transmitidas à laje através das molas, e somente aí chegar aos componentes, após nova grande atenuação.

Os amplificadores estão sobre a laje, embora poderiam, da mesma forma, estar no chão, já que são pesados, pouco susceptíveis a vibrações providas do ar. E, provavelmente, aquelas providas do chão pouco os afetariam já que por eles transitam sinais elevados. De todas maneiras, é um compromisso: no chão estão sujeitos a vibrações terrestres e na laje sujeitos a emitir vibrações próprias para a laje – e, portanto, para os outros componentes. Por enquanto, estão sobre ela, mesmo porque com isso diminuo o comprimento dos cabos de interconexão.

Inicialmente, todos os componentes estavam apoiados diretamente na laje, o que tornava incomodo trocar LPs ou CDs. Agora, o toca-discos está colocado sobre uma base que consiste em duas placas (30 cm x 30 cm) unidas por

um tubo (15 cm de diâmetro) cheio de areia seca misturada com bolinhas de chumbo compactadas. O material é ferro de 6 mm de grossura e o peso de cada base é de uns 50 kg e estão apoiados solidamente na laje, como se fosse uma extensão dela. O toca-discos se apóia sobre essa base por meio de três tip-toes, o que configura uma conexão sólida com a laje em si. Portanto, para que uma vibração provinda do chão faça vibrar o toca-discos, teria antes que fazer vibrar a base. Provinda do ar teria, também, que fazer vibrar a laje toda, que, com os equipamentos, pesa mais de 2.200 kg. Novamente temos aplicado o conceito de acoplamento de massas.

O CD *player* e o DVD *player* estão apoiados solidamente sobre outra base idêntica. O pré-amplificador **McIntosh C200** diretamente sobre a laje, junto com os amplificadores **McIntosh** monoblocks, e **McCormack DNA-1** modificado, o pré-amplificador multicanal de fabricação própria e a fonte de alimentação do toca-discos **Rega Planar 9**. A fonte de alimentação do pré multicanal está no chão, fora da laje.

Uma precaução que foi adotada foi a de fazer com que os cabos que são de componentes no chão (falantes, fontes, força, etc) fossem os imprescindíveis, para não criar uma conexão entre a laje e a parede fora das molas. Isto poderia fazer um curto circuito para as vibrações providas do chão. Para isso usei régua de tomadas de força múltiplas que evitam que cada tomada de força de componente seja conectada diretamente ao condicionador no chão, e os dois cabos de força que dele vem para a laje estão suportados de maneira de fazer *loops* de alta flexibilidade. O objetivo é o de evitar conexões rígidas de qualquer natureza entre a laje e o chão, que anulariam, mesmo que parcialmente, o acionar das molas.

Também as conexões entre componentes sobre a laje estão sendo agora acondicionado sobre suportes que evitam o cruzamento de cabos de força com cabos de sinal, exceto em ângulo reto e com boa distância entre eles. Lembramos que toda a sala está rodeada de uma gaiola de Faraday aterrada e que, por isso, as únicas interferências eletromagnéticas provém, agora, dos cabos de força e das emissões de alta frequência dos próprios DACs dos CD *players* e do DVD *player*.

Como podemos ver, o resultado de um sistema qualquer de atenuação de vibrações dependerá da previsibilidade do seu comportamento e do conhecimento que tenhamos do tipo de vibração existente no local e das características de cada sistema, em especial da frequência de ressonância nos sistemas elásticos envolvidos.