



Medidas e Medições de Engenharia para Controle de Vibrações na Fonte

Gilmar Machado Ximenes^{1,2}, Fernando B. Mainier²

¹Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO

**²Escola de Engenharia - Universidade Federal Fluminense (UFF)
Niterói, RJ, Brasil**

gmximenes@inmetro.gov.br, mainier@nitnet.com.br

RESUMO

Assim como qualquer risco ocupacional a tecnologia de controle de vibrações deve concentrar-se na redução de vibração à níveis aceitáveis atuando no ambiente de trabalho, sendo que cada ação envolve a implementação de medidas e medições que reduzirá a vibração que está sendo gerada, e ou reduzirá a transmissão através da estrutura do local de trabalho, incluindo medidas como modificações da maquinaria, das operações no local de trabalho e no “layout” do posto de trabalho.

A melhor maneira para controlar risco de vibração no ambiente de trabalho é eliminar ou reduzir o risco da sua fonte de geração, também pela ação direta na fonte ou pelo seu isolamento.

Considerações práticas não devem ser desprezadas, nem todas às vezes são viáveis implementar um programa de controle global. Os problemas mais urgentes têm que ser resolvidos primeiro e as prioridades tem que ser definidas. Em certos casos, a solução deve ser encontrada em uma combinação de medições que por elas próprias não seriam suficientes, por exemplo, adicionar parte da redução requerida através de medidas ambientais e complementá-las com medidas de proteção pessoal

Este trabalho aborda alguns princípios de controle de vibrações na fonte, medições específicas de controle, estratégias de controle e controle de transmissão de vibrações.

Palavra Chave: Vibrações, Controle na Fonte e Transmissibilidade.

1. INTRODUÇÃO

A medida que as técnicas de isolamento e redução da vibração vão se tornando parte integrante do próprio projeto das máquinas, a necessidade de proceder uma medição e análise exata de vibração é cada vez maior.

O procedimento genérico para a avaliação das vibrações é similar à do ruído, conforme denominação a seguir:

1. Medir a aceleração em valores eficazes
2. Ponderar a aceleração em função das frequências, no sentido de tomar em consideração as características e reações do organismo humano e de outras estruturas
3. Considerar a exposição diária a que os trabalhadores estão sujeitos
4. Comparar os valores ponderados com os estabelecidos pelas normas e/ ou outros estudos cientificamente fundamentados

2. ESTRATÉGIA DE CONTROLE DE VIBRAÇÕES

Priorizar a seleção e projeto do controle de medição, fontes de vibrações devem ser identificadas e a vibração produzida deve ser cuidadosamente avaliada

Para definir adequadamente o problema de vibração e solucionar uma boa base para a estratégia de controle, os seguintes fatores devem ser considerados:

Tipo de Vibração;

Níveis de vibração e modelo de tempo;

Distribuição de frequência;

Fontes (localização, potência e diretividade);

Caminho da propagação da vibração através da estrutura ou corpo humano.

Na adição de outros fatores tem que ser considerado, por exemplo, números de trabalhadores expostos, tipo de trabalho, etc... Se um ou dois trabalhadores são expostos, medição de engenharia onerosa não deve ser a mais adequada solução e outras opções de controle devem ser consideradas como a combinação de proteção pessoal e limitação de exposição.

A necessidade para controle em uma situação particular é determinada pela avaliação dos níveis de vibração nos locais em uma finalidade onde envolve tempo pessoal. Se o total de tempo despendido neste local por trabalhadores individuais é uma fração do seu dia de trabalho, então a regulação local deve permitir um pequeno aumento no nível.

Normalmente o programa de controle de vibrações começa usando como base os níveis de exposição à vibrações recomendadas pelas normas I.S.O 2631e 2349 e os princípios de planejamento de controle de vibrações. A maneira mais correta é usar valores de emissão em frequência de banda de oitava.

2.1 INSTALAÇÕES EXISTENTES

Nas instalações existentes, quantificação de problema de vibrações envolve identificação de fonte ou fontes, determinação de transmissão das fontes para os receptores, ordem da faixa dos vários contribuidores do problema e finalmente determinação das soluções aceitáveis.

Para começar, níveis de vibrações devem ser medidos e determinados nos locais onde surgiram às reclamações.

Uma vez os níveis determinados a próxima etapa é aplicar os critérios dos níveis aceitáveis para cada locação e mais determinar as reduções de vibrações, geralmente como uma função de frequência de banda de oitava e ou de um terço de oitava. A etapa seguinte é a identificação e classificação das fontes responsáveis pelas vibrações excessivas.

Tendo identificado todas as fontes de energia e a sua intensidade, a próxima tarefa é determinar a importância em termos da contribuição de cada fonte para o nível em cada

local onde as medições foram excessivas e contribuíram para o problema de vibração ocupacional.

É também comum classificar essas fontes em relação as possibilidades de serem resolvidas mais fáceis e aquelas que afetam mais as pessoas e então decidir quais são as partes que devem ser tratadas prioritariamente.

Quando se tratar de novas instalações determine os critérios para locais sensíveis que devem incluir operadores de máquinas. Se os níveis de vibração de qualquer local exceder o critério estabelecido por normas, então o equipamento que contribuir mais para o excesso de níveis deve ser tratado por controle de vibrações para alcançar este critério. Neste caso devemos:

Especificar para os fabricantes equipamentos com baixos níveis de vibrações;

Incluir acessórios de controle de vibrações no projeto de fábrica;

Rearranjamento e planejamento cuidadoso de edificações e equipamentos.

3. CONTROLE DE VIBRAÇÕES NA FONTE

O controle de vibrações na origem é geralmente eficiente, mas pode não ser exequível se requerer novo desenho do equipamento ou uma modificação onerosa. A primeira providência em relação às vibrações é tentar reduzi-las junto à fonte, devendo ser estudada particularmente as vibrações que provocam ressonâncias.

Em outros casos, as vibrações também podem ser eliminadas por meio de lubrificações e manutenções periódicas das máquinas e equipamentos, ou colocando-se calços de borracha absorvedores de vibrações.

É necessário primeiro determinar a causa da vibração e depois decidir o que deve ser feito para reduzir. Modificação da fonte de energia para reduzir a vibração gerada frequentemente fornece o melhor meio de controle.

Quando uma escolha do processo mecânico é possível realizar uma dada tarefa, a melhor escolha do ponto de vista da mínima vibração, será o processo que minimiza a razão do tempo da mudança da força ou jerk (razão de tempo da mudança de aceleração).

Entre os fenômenos físicos que podem dar origem a vibração os seguintes podem ser mencionados:

- Choque mecânico entre sólidos
- Equipamento de rotação desbalanceado
- Fricção entre partes metálicas
- Grandes placas
- Fluxo de fluido irregular, etc

Nas tabelas abaixo são apresentadas algumas fontes normalmente encontradas e as especificações das ações recomendadas para controle de vibrações na origem e no caso de controle de vibrações através de projeto também são apresentadas medidas de controle para redução das vibrações na origem.

TABELA 1. CONTROLE DE VIBRAÇÕES NA FONTE.

Fontes	Especificações
Manutenção	Reposicionamento ou ajuste de partes ruins ou com folgas Balanceamento de equipamento Lubrificação de partes móveis Uso de ferramentas de corte deformadas e não afiadas
Substituição de material	Metal por plástico
Substituição de equipamento	Elétrico por pneumático (máquinas ferramentas) Prensas mecânicas por prensas hidráulicas Prensas por martelo Correia transportadora por rolamento
Substituição de partes de equipamento	Modificações de dentes de engrenagens Trocar extremidade de corte reta por espiral Engrenagens de transporte por correia de transporte Trocar engrenagem de metal por plástico
Mudança de métodos de trabalho	Na demolição de construção., trocar o uso de máquinas de bola, implosão com demolição seletiva Trocar ferramentas pneumáticas por mudanças de métodos de fabricação Usar controle remoto em equipamento como ferramentas pneumáticas Selecionar máquinas de velocidade mais lenta e grandes por máquinas pequenas e rápidas Minimize a largura de ferramentas em contato com as peças de trabalho Reduza as partes salientes das ferramentas de corte
Substituição de processos	Ejetores mecânicos por pneumáticos Trabalho a quente por frio Solda ou rebiteagem de aperto por rebiteagem de impacto Uso de corte com fluido nos processos Troca de ação de impacto por ação de pressão progressiva Trocar lâmina de serra circular com lamina amortecida
Substituição de mecanismos de geração e transmissão	Motores elétricos por motores de combustão ou turbina a gás Correias ou transmissão hidráulica por caixa de engrenagem
Recolocação de partes móveis	Trocar novos elementos girantes de mancal
Minimização de numero de máquinas operando ao mesmo tempo	

TABELA 2. CONTROLE DE VIBRAÇÕES NA FONTE POR PROJETO.

Redução	Controle
Choque mecânico entre partes	Modificar partes para evitar atrito Uso de um coletor com altura ajustável para partes em queda em um cesto Uso de correia com altura ajustável e borda de borracha para diminuir o impacto nas quedas

	Revestimento com material elástico ou visco elástico Uso de correias de transporte
Vibração resultante de desbalanceamento	Balanceamento das partes móveis Uso de absorvedores e amortecedores
Vibração resultante de fricção entre partes metálicas	Lubrificação ou uso de material elástico macio entre as partes
Vibração de grande estrutura	Verificar que a velocidade rotacional da máquina não coincide com a freqüência de ressonância da estrutura Redução da superfície vibrante Amortecimento de panel excitado mecanicamente Tratamento de amortecimento com camadas de materiais viscoelásticos Bloqueio da transmissão de vibração (adição de massa na estrutura) Isolamento da fonte de vibração da estrutura
Vibração resultante de fluxo de fluido	Velocidade de minimizada do fluxo do fluido Minimização da turbulência do fluido Isolamento da tubulação no suporte da estrutura Uso de conectores flexíveis no sistema de dutos

3.1 ISOLAMENTO DA FONTE DE VIBRAÇÕES

Quando não for possível eliminar a fonte, esta pode ser isolada, para que o trabalhador não entre em contacto direto com a vibração. Esse isolamento pode ser feito pela distância, afastando-se a fonte ou usando-se algum tipo de material isolante para enclausurar a fonte de vibrações. Uma forma parcial de isolar a fonte é conseguida evitando-se segurar de maneira muito apertadas a pega da ferramenta, sempre que não for necessário evitar transmitir força para as ferramentas manuais.

O isolamento das fontes de vibrações por separação física ou por uso de elementos isolantes leva em consideração os seguintes fatores (BIES AND HANSEN, 1996)

A **Freqüência de ressonância**, f_0 (Hz), associada com a rigidez da mola isolante k (Newtons/metro) e a massa suportada m (kg) e dada por $f_0 = [1 / (2 \pi)] \sqrt{k / m}$ Hz, deve estar bem abaixo (menor do que a metade) a freqüência mais baixa é que deve ser isolada. A freqüência de ressonância é calculada para conhecermos o quanto a mola comprime d (cm) sob o peso da máquina (deflexão estática); Isto é, $f_0 = 4,98 \sqrt{d}$ Hz.

A **Freqüência de excitação**, f (Hz), para uma maquina rotacional montada em um isolador é geralmente igual a velocidade rotacional, expressa em revoluções por segundo.

A **Transmissibilidade**, T , de um isolador é dado por

$$T = \sqrt{1 + (2\zeta X)^2 / (1 - X^2)^2 + (2\zeta X)^2} \quad (1)$$

Onde $X = f / f_0$ e ζ é a razão do amortecimento critico que é aproximadamente 0,005 para molas de aço, 0,05 para montagem de borracha, 0,12 a 0,15 para silicone ou baixo T elastômeros, 0,1 a 0,2 para fibra de vidro e 0,3 para material composto. O aumento do amortecimento reduz a amplitude de vibração do sistema isolado quando a freqüência passa pela ressonância (da maquina operando), mas decresce o isolamento quando a freqüência de excitação atinge valores acima da freqüência de ressonância.

A **Eficiência de isolamento**, η do isolador é relativo a transmissibilidade por ,

$\eta = (1 - T) \times 100\%$, geralmente o valor de η está entre 85 e 95 %.

Como os sistemas usam mais de isolador (normalmente 4 são usados para suportar a base do equipamento) então a frequência de ressonância associadas devem ser calculadas para verificar se estão abaixo da frequência de excitação.

Material elastômeros como a borracha é preferida em vez das molas de aço porque seu maior amortecimento reduz as grandes amplitudes de vibração que ocorrem quando uma grande excitação coincide com a ressonância do sistema de isolamento, também prevê a transmissão de vibração ao longo dos espirais das molas de aço. A desvantagem da borracha é a carência de tolerância para ambientes oleoso e exposto ao sol e isto deve ser considerado no programa de manutenção.

Se as **Molas de aço** são usadas, então borrachas devem ser inseridas entre a mola e a estrutura de suporte para prevenir a transmissão de vibração na faixa de media áudio-frequência;

Material isolante como a espuma, lã mineral e cortiça são usadas para equipamento pesado, mas torna-se pouco efetivo em um curto espaço de tempo devido a natureza elástica da deflexão do material mudar para deflexão permanente;

A dimensão da base de suporte do equipamento deve ser muito maior do que a altura do centro de gravidade do equipamento , para minimizar riscos do equipamento oscilar de forma instável quando a base está suportada por isoladores flexíveis.

Procedimento de seleção de isoladores:

Determine a mais baixa frequência contínua forçada da máquina para ser isolada;

Estabelecer a eficiência do isolamento desejado e então calcular a transmissibilidade exigida;

Uso da equação da transmissibilidade para determinar X , que junto com a mais baixa frequência contínua forçada deve ser usada para calcular a frequência de ressonância para o isolador (como $X = f / f_0$);

Uso da equação da deflexão estática com f_0 para calcular a deflexão estática do isolador;

Conhecimento do peso suportado por cada isolador, referente aos dados da deflexão de carga do fabricante, para selecionar o isolador mais adequado.

3.2 ISOLAMENTO ENTRE AS FERRAMENTAS

Introduzir material de amortecimento entre a ferramenta e a mão é um método efetivo de redução dos níveis de vibração de ferramenta manual e largamente usado. Este amortecimento pode ser introduzido por colocar material isolante entre a carcaça da ferramenta e a manopla (empunhadreira), revestir a manopla (empunhadreira) com borracha e usar luvas de borrachas para isolar a ferramenta.

Em geral borracha, e outros materiais visco-elástico comumente usado para este propósito, amortecem as altas frequências, mas não as baixas frequências de vibrações. De fato pode introduzir uma ressonância em baixa frequência. Ferramentas com partes operacionais rápidas, que produzem predominantemente vibrações de altas frequências, podem, portanto ser eficientemente amortecidas pelo uso de materiais viscos-elásticos, entretanto ferramentas produzem predominantemente vibrações de baixas frequências não são necessariamente amortecidas pela introdução de camadas de material visco-elástico entre a mão e a manopla.

4. CONTROLE DA TRANSMISSÃO DE VIBRAÇÕES

Para controlar a propagação da fonte para o receptor (geralmente o trabalhador) algumas ações necessitam ser considerada.

Quando não se pode agir sobre os esforços excitadores é necessário atuar sobre a transmissão.

A regra fundamental para o controle da transmissão das vibrações é combater prioritariamente o estado de ressonância

O controle de vibrações através de alterações no percurso da transmissão pode ser basicamente conseguido por 3 processos: redução das vibrações na origem; diminuição da transmissão de energia mecânica a superfícies potencialmente irradiantes e redução da amplitude de vibração das superfícies irradiantes antes referidas.

A primeira suprimindo o meio transmissor (e.x. separar uma cabina de uma estrutura vibrátil - anteriormente solidárias).

A redução da transmissão de energia vibratória realiza-se com montagens antivibratórias, através da introdução de elementos resilientes, tais como molas ou apoios em borracha (ou ainda em fibra de vidro ou cortiça); tratamento de amortecimento dos elementos estruturais que compõem o percurso de transmissão, de modo a absorver parte da energia vibratória produzida.

A redução da amplitude das vibrações de superfícies irradiantes consegue-se através da adição de massas a essas superfícies.

4.1 TESTE DE TRANSMISSÃO DE VIBRAÇÕES DE FERRAMENTAS E/OU LUVAS DE ANTIVIBRAÇÃO

O objetivo de realizar medições de vibração é para identificar a característica espectral de vibração de ferramentas de potência e/ou características de amortecimento de alternativa de uso de luvas de antivibração para quantificar riscos ou implementação de benefícios. A medição e avaliação são realizadas de acordo com as normas internacionais American National Standard: ANSI S3.34-1986 - Guia para a medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida a mão e Internacional Standard: ISO 10819-1996 - Método para a medição e avaliação da transmissibilidade da vibração de luvas na palma da mão.

Teste de Ferramentas de Vibração ao impacto ou choque é realizado para quantificar impacto ou os níveis de vibrações manuais imposto ao usuário. Vibração é quantificada em três direções usando montagem manual de acelerômetros localizados próximo à pega do usuário

Tanto as Ferramentas quanto as luvas são comparadas por cálculo da vibração global (ponderada ou não ponderada), cálculo percentual da transmissibilidade de vibração e plotagem da vibração **rms**.

5. CONCLUSÃO

Se as providências anteriores não forem suficientes, pode-se proteger o trabalhador individual com certos equipamentos como botas e luvas, que ajudam a absorver as vibrações. O uso desses equipamentos de proteção individual deve ser cuidadosamente considerado, pois a maioria dos trabalhadores não gosta de usá-los e eles costumam ser eficientes apenas em determinadas frequências de vibrações.

O mais efetivo, mais infelizmente o mais caro método de amortecimento é a operação de ferramentas e equipamentos por controle remoto. O controle automático possibilita normalmente mais eficiência, mais precisão e mais segurança do que a operação manual.

Entretanto as ferramentas e equipamentos controlados são mais especializados e mais complicados do que aqueles equivalentes, mas operadas manualmente.

6. REFERÊNCIAS

BIES, D. A.; HANSEN, C.H. (1996). *Engineering noise and vibration control: theory and practice*. London: E & FN Spon.

Bruel & Kjaer (B&K). (1988)*Human Vibration*, Denmark.

International Labour Office. (1977) *Protection of workers against noise and vibration in the working environment. ILO Code of Practice*, ILO, Geneva, revised 1997

International Organisation for Standardisation, ISO 2631-1:1997, *Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration, Part 1, General Requirements*, ISO, Switzerland, 1997

International Organisation for Standardisation, ISO 5349 - 1986, *Mechanical Vibration and Shock – Hand-Arm Vibration - Method for the Measurement and evaluation of the vibration transmissibility of gloves at the palm of the hand*, ISO, Switzerland

International Organisation for Standardisation, ISO 10819 - 1996, *Mechanical Vibration and Shock - Guidelines for the Measurement and the Assessment of Human Exposure to Hand-Arm Vibration*, ISO, Switzerland, 1986

Weiden T. C. J., and Van Der Raemaekers C. A. M.(1989), *Handbook For The Measurement Of Vibration At The Workplace*, Health and Safety Executive, Denmark.