

## VIBRAÇÕES OCUPACIONAIS

Antonio Carlos Vendrame

### UM POUCO DE HISTÓRIA...

Maurice Raynaud, médico francês, foi o primeiro a descrever em 1862, os distúrbios vasculares observados em indivíduos expostos a vibrações de mãos e braços<sup>1</sup>, em sua tese intitulada *Local asphyxia and symmetrical gangrene of the extremities*<sup>2</sup>.

Desde o trabalho pioneiro iniciado em 1911 por Loriga, pesquisador italiano que descreveu a síndrome da vibração nos trabalhadores que operavam martelões em pedreiras, correlacionando com o fenômeno de Raynaud, muitos pesquisadores têm estudado o assunto, o que resultou em milhares de artigos científicos a respeito das vibrações transmitidas às mãos e braços.

Em 1918, Alice Hamilton estudou os mineiros utilizando martelões em pedreiras em Bedford, Indiana e descreveu uma anemia das mãos. Nos anos 60 e 70, a síndrome da vibração foi associada com a gasolina utilizada nas motosserras no trabalho florestal.

Várias conferências internacionais (Dundee em 1972, Cincinnati em 1975, Ottawa em 1981, Helsinki em 1985, Kanazawa em 1989, Bonn em 1992, Praga em 1995, Umea em 1998, Nancy em 2001 e Las Vegas em 2004) têm contribuído eficientemente para desenvolver a pesquisa e aplicação do conhecimento.

### GENERALIDADES EM VIBRAÇÕES

Um corpo está em vibração quando descreve um movimento oscilatório em torno de um ponto fixo. O número de vezes em que o ciclo completo do movimento se repete durante o período de um segundo é chamado de frequência e, é medido em ciclos por segundo ou Hertz [Hz].

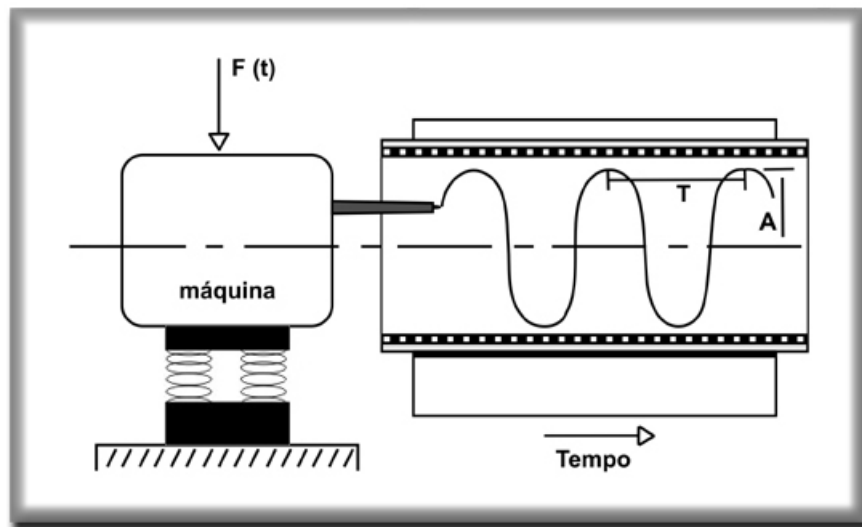
O movimento vibratório pode ser visualizado através de um pêndulo, corda de instrumento musical, corpo em movimento e até mesmo do átomo. Na indústria, a vibração é encontrada nas máquinas girantes.

O modelo vibratório é caracterizado pelo deslocamento ao longo do tempo, com o intercâmbio de energia potencial por cinética e vice-versa, resultando em movimento oscilatório.

---

<sup>1</sup> Neste texto, segundo as várias nomenclaturas internacionais existentes, estarão sendo utilizados como sinônimos os termos: vibração de mãos e braços, vibração segmental, vibração de extremidades e vibração localizada, para fazer referência à exposição dos membros superiores dos trabalhadores à vibração.

<sup>2</sup> Asfíxia local e gangrena simétrica das extremidades.

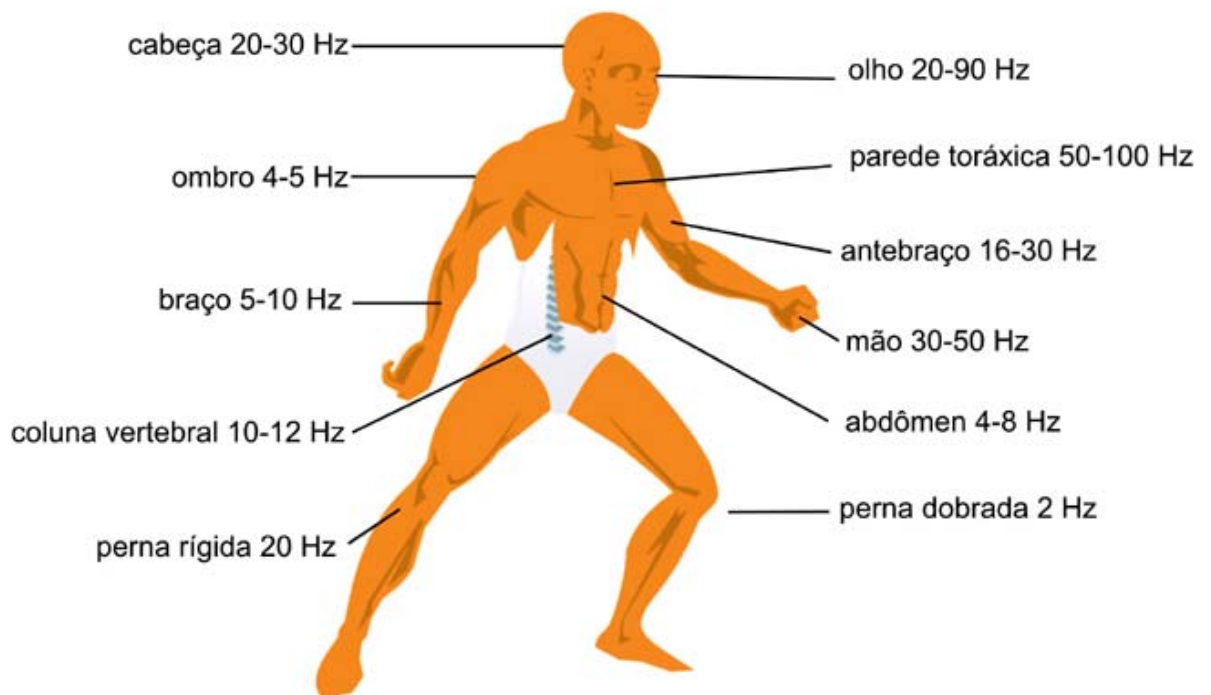


O movimento pode consistir de um simples componente ocorrendo em uma única freqüência, a exemplo de um diapasão; ou vários componentes ocorrendo em diferentes freqüências simultaneamente, como por exemplo, o movimento de um pistão de um motor de combustão interna.

## VIBRAÇÕES OCUPACIONAIS

Ao contrário de outros agentes, onde o trabalhador é sujeito passivo, expondo-se aos riscos, no caso das vibrações, deve haver, caracteristicamente, o contato entre o trabalhador e o equipamento ou máquina que transmite a vibração.

A vibração consiste em movimento inerente aos corpos dotados de massa e elasticidade. O corpo humano possui uma vibração natural. Se uma freqüência externa coincide com a freqüência natural do sistema, ocorre a ressonância, que implica em amplificação do movimento. A energia vibratória é absorvida pelo corpo, como consequência da atenuação promovida pelos tecidos e órgãos. O corpo humano possui diferentes freqüências de ressonância, conforme figura a seguir:



O corpo humano reage às vibrações de formas diferentes. A sensibilidade às vibrações longitudinais (ao longo do eixo z, da coluna vertebral) é distinta da sensibilidade transversal (eixos x ou y, ao longo dos braços ou através do tórax). Em cada direção, a sensibilidade também varia com a frequência, eis que, para determinada frequência, a aceleração tolerável é diferente daquela em outra frequência.

Existem vários efeitos catalogados, sendo que os principais e mais danosos são:

- perda do equilíbrio, simulando uma labirintite, além de lentidão de reflexos;
- manifestação de alteração no sistema cardíaco, com aumento da frequência de batimento do coração;
- efeitos psicológicos, tal como a falta de concentração para o trabalho;
- apresentação de distúrbios visuais, como visão turva;
- efeitos no sistema gastrointestinal, com sintomas desde enjôo até gastrites e ulcerações;
- manifestação do mal do movimento (cinetose), que ocorre no mar, em aeronaves ou veículos terrestres, com sintomas de náuseas, vômitos e mal estar geral;
- comprometimento, inclusive permanente, de determinados órgãos do corpo;
- degeneração gradativa do tecido muscular e nervoso, especialmente para os submetidos a vibrações localizadas, apresentando a patologia, popularmente conhecida como dedo branco, causando perda da capacidade manipulativa e o tato nas mãos e dedos, dificultando o controle motor.

As vibrações transmitidas ao corpo humano podem ser classificadas em dois tipos, de acordo com a região do corpo atingida:

- vibrações de corpo inteiro: são de baixa frequência e alta amplitude, situam-se na faixa de 1 a 80 Hz, mais especificamente 1 a 20 Hz. Estas vibrações são específicas para atividades de transporte e são afetadas à norma ISO 2631.
- vibrações de extremidades (também conhecidas como segmentais, localizadas ou de mãos e braços): são as mais estudadas, situam-se na faixa de 6,3 a 1250 Hz, ocorrendo nos trabalhos com ferramentas manuais e normatizadas pela ISO 5349.

## AVALIANDO AS VIBRAÇÕES

A vibração pode ser caracterizada pelo deslocamento, velocidade ou aceleração, ou ainda, em decibéis; no entanto, a aceleração tem sido extensivamente utilizada como unidade em vibrações. Os valores de referências, em cada unidade de medida são:

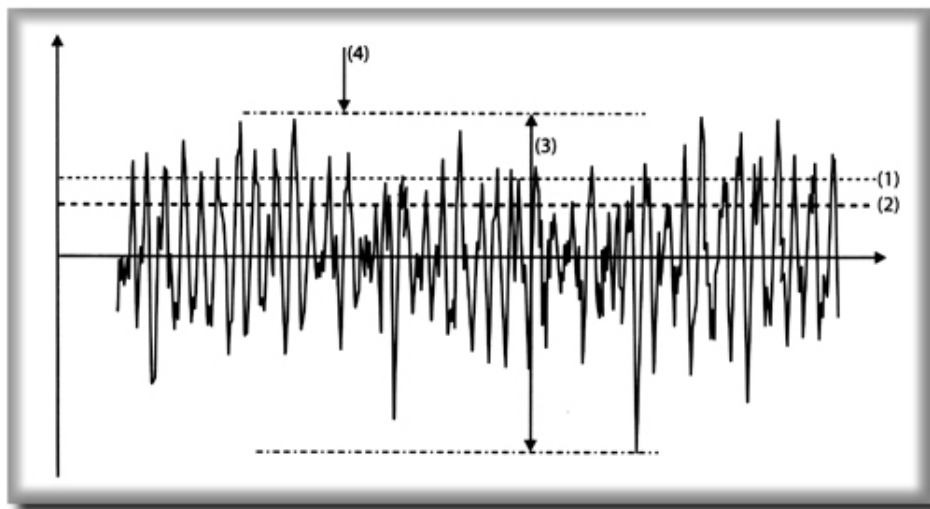
<b>Unidade</b>	<b>Comum</b>	<b>dB</b>
aceleração	$10^{-6}$ m/s <sup>2</sup>	$10^{-5}$ m/s <sup>2</sup>
velocidade	$10^{-9}$ m/s	$10^{-8}$ m/s
deslocamento	$10^{-12}$ m	$10^{-11}$ m

Para se avaliar um sinal vibratório devem ser conhecidas algumas medidas:

- os valores de pico, que indicam os valores máximos, mas não trazem qualquer informação acerca da duração ou tempo de movimento, é particularmente usado na indicação de níveis de impacto de curta duração;
- os valores médios, que indicam apenas a média da exposição sem qualquer relação com a realidade do movimento, é usado quando se quer se levar em conta um valor da quantidade física da amplitude em um determinado tempo;
- o valor da raiz média quadrática (rms) ou valor eficaz, que é a raiz quadrada dos valores quadrados médios dos movimentos, é a mais importante medida da amplitude porque ele mostra a média da energia contida no movimento vibratório. Portanto, mostra o potencial destrutivo da vibração;
- o fator de forma e o fator de crista permitem conhecer a homogeneidade do fenômeno em estudo ao longo do período. Valores de fator de forma próximos de  $\sqrt{2}$  indicam fenômeno do tipo senoidal;

- o fator de crista e o fator de forma permitem conhecer a homogeneidade do fenômeno em estudo ao longo do período. Grandes valores para o fator de crista indicam a presença de algum pico destacado, provavelmente resultante de fenômenos repetitivos a intervalos regulares;
- O valor pico-a-pico indica a máxima amplitude da onda e é usado, por exemplo, onde o deslocamento vibratório da máquina é parte crítica na tensão máxima de elementos de máquina.

No quadro seguinte a legenda (1) indica o valor rms, (2) indica o nível médio, (3) indica o valor de pico a pico e (4) indica o valor de pico.



As medidas são realizadas na interface entre a pele e a fonte de vibração. Há dois tipos de sensores de vibração: os sem contato (capacitivo e indutivo) e os com contato (eletromagnético e piezoelétrico); enquanto aqueles permitem a medição fora do sistema vibratório, estes são obrigatoriamente fixados no sistema vibratório. Métodos sem contato, por exemplo, laser, a princípio, são preferidos, mas não são comumente utilizados em avaliações ocupacionais.

O sistema básico para medição de vibrações é composto por sensor de vibração (transdutor), amplificador e um integrador ou diferenciador que permite a transformação da medida em sinal elétrico; o sistema ainda pode ser dotado de filtro de bandas para selecionar frequências específicas.

Cada segmento do corpo humano possui resposta específica à vibração, em função da frequência, além do que, raramente é unidirecional, daí porque a necessidade de estabelecimento de eixos para mensurar a exposição. Para vibração de corpo inteiro, o sistema de coordenadas tem centro no tronco; para a vibração de mãos e braços há dois sistemas:

- o basicêntrico, localizado na interface entre a manopla e a mão;
- o biodinâmico, com centro no terceiro osso metacarpiano da mão.

Na prática o sistema basicêntrico é utilizado para avaliar a vibração no equipamento e,

o sistema biodinâmico, cuja avaliação é realizada no 3º metacarpiano da mão, considera o efeito final no membro.

## NORMA ISO 2631

A norma ISO 2631 de 1978 apresentava três limites distintos:

- conforto reduzido;
- proficiência reduzida pela fadiga;
- limite de exposição compatível com a saúde.

Atualmente, a nova ISO 2631, de 1997, não apresenta limites de exposição à vibração, limitando-se a definir um método para a avaliação de exposição à vibração de corpo inteiro, bem como indicar os principais fatores relacionados para se determinar o nível exposição à vibração que seja aceitável.

Uma síntese de seus aspectos gerais são:

- ausência de limites de exposição à vibração;
- fornece guias para a verificação de possíveis efeitos da vibração na saúde, conforto e percepção;
- estabelece que a vibração será medida de acordo com um sistema de coordenadas que se origina no ponto onde a vibração se incorpora ao corpo humano;
- determina que os transdutores serão posicionados na interface entre o corpo humano e a fonte de vibração;
- o método básico utilizado é da aceleração ponderada que é expressa em  $m/s^2$ ;
- o valor total da aceleração ponderada da vibração nas coordenadas ortogonais é calculado pela fórmula:

$$a_v = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2}$$

Onde:

$a_{wx}$ ,  $a_{wy}$ ,  $a_{wz}$  são as acelerações ponderadas dos respectivos eixos ortogonais x, y e z, respectivamente

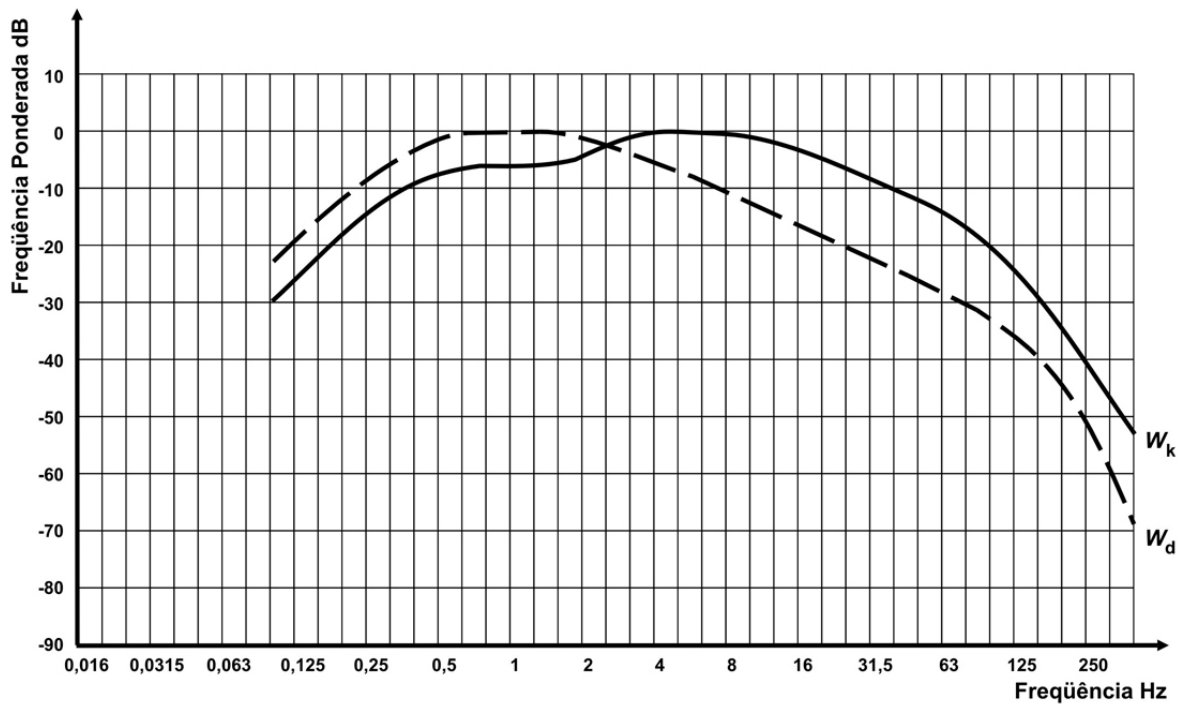
$k_x$ ,  $k_y$ ,  $k_z$  são fatores multiplicadores ( $k_x$  e  $k_y = 1,4$  e  $k_z = 1,0$ )

Assim, A aceleração combinada dos três eixos é dada por:

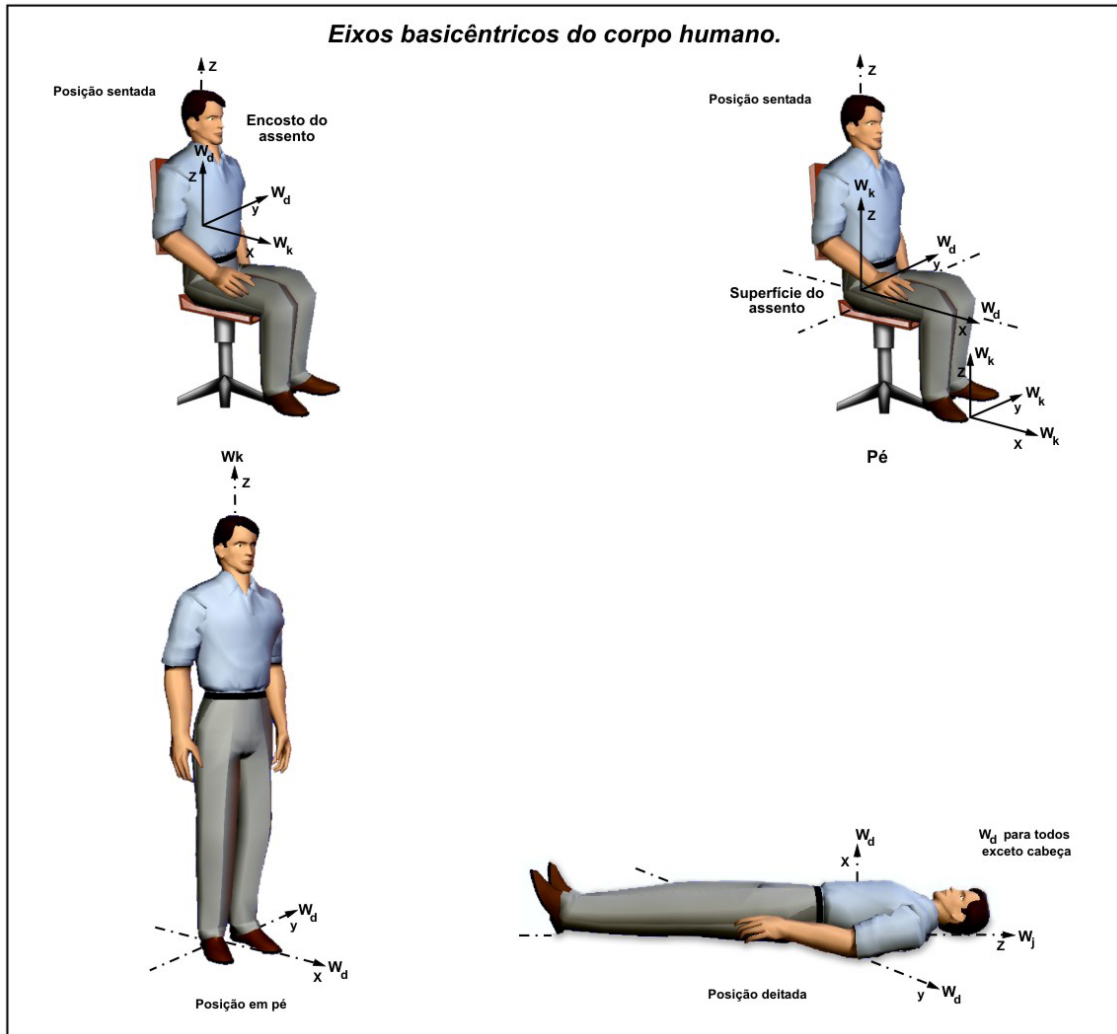
$$a = \sqrt{1,4a_x^2 + 1,4a_y^2 + a_z^2}$$

A maneira pela qual as vibrações afetam a saúde, conforto, percepção e enjôo é dependente da frequência. Há diferentes frequências para diferentes eixos. As curvas de frequência utilizadas são:

- $W_k$  para o eixo z;
- $W_d$  para os eixos x e y.

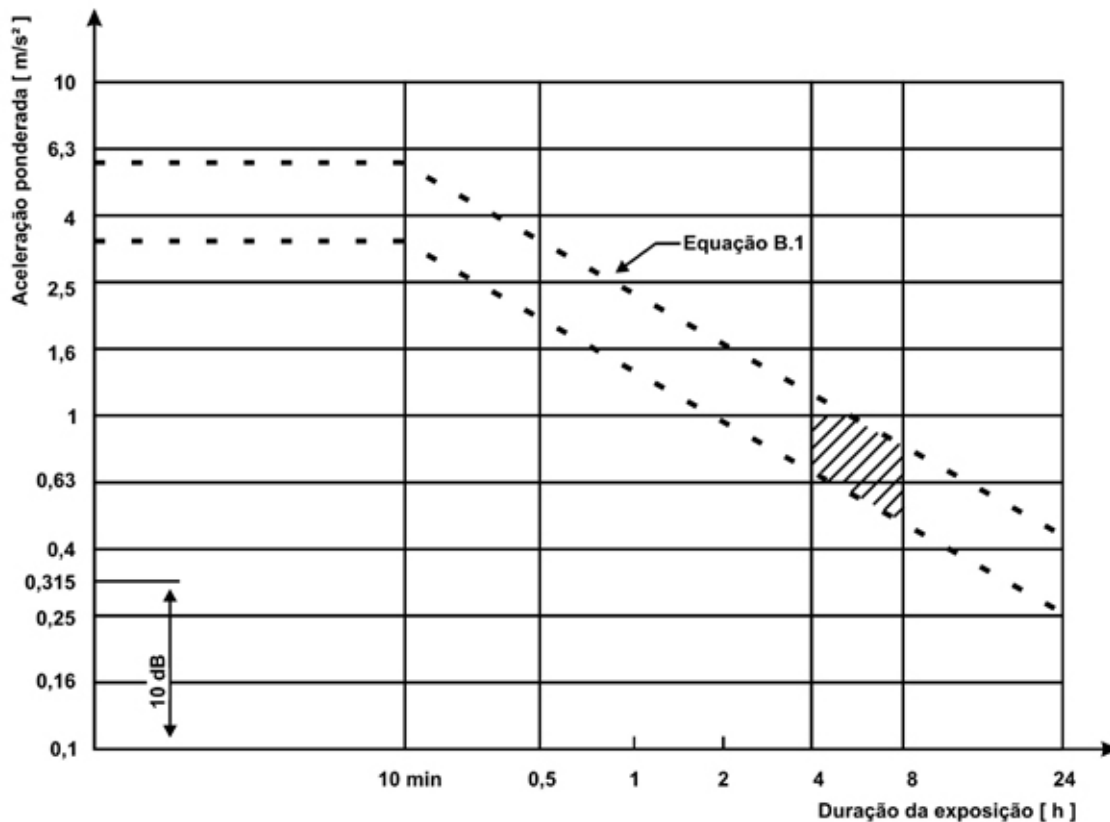


O sistema de coordenadas basicêntricos para as vibrações de corpo inteiro está representado na figura a seguir:



Os valores obtidos na avaliação devem ser comparados com o guia à saúde – zonas de precaução, contido no Anexo B da ISO 2631/97, reproduzido abaixo:





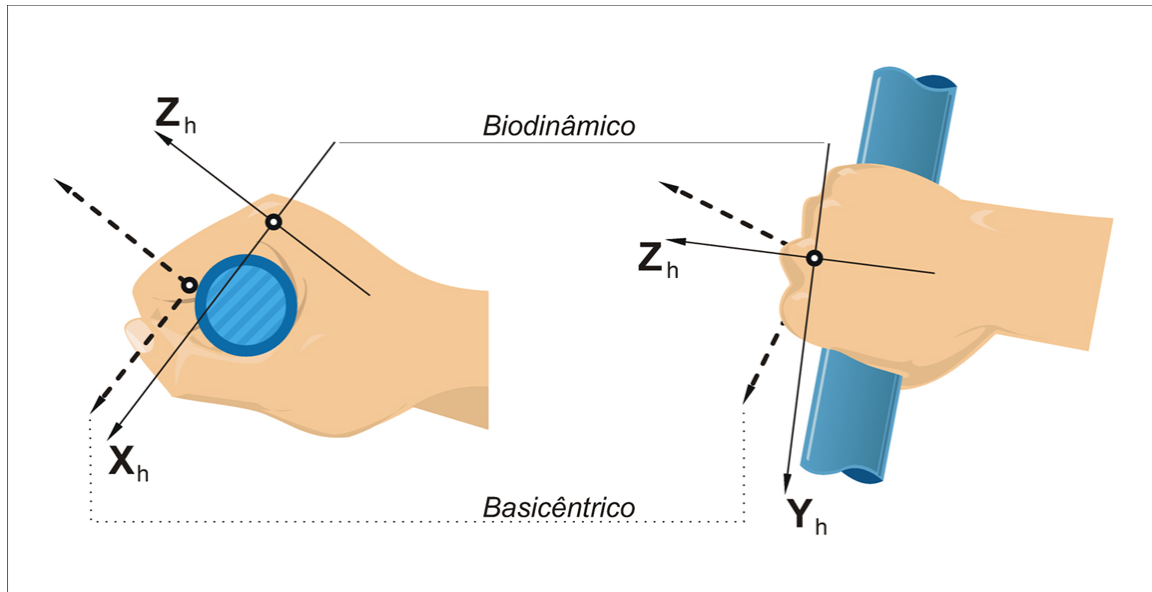
A zona hachurada indica o potencial de risco à saúde. Para exposições abaixo da zona hachurada, os efeitos à saúde não foram claramente documentados e/ou observados objetivamente. Acima da zona hachurada indica prováveis riscos à saúde.

#### NORMA ISO 5349

A metodologia especificada na ISO 5349 enumera os fatores que influenciam os efeitos da exposição às vibrações transmitidas aos membros superiores, quais sejam:

- o espectro da frequência da vibração;
- a magnitude da vibração;
- a duração da exposição no período de trabalho;
- a exposição acumulada até a data.

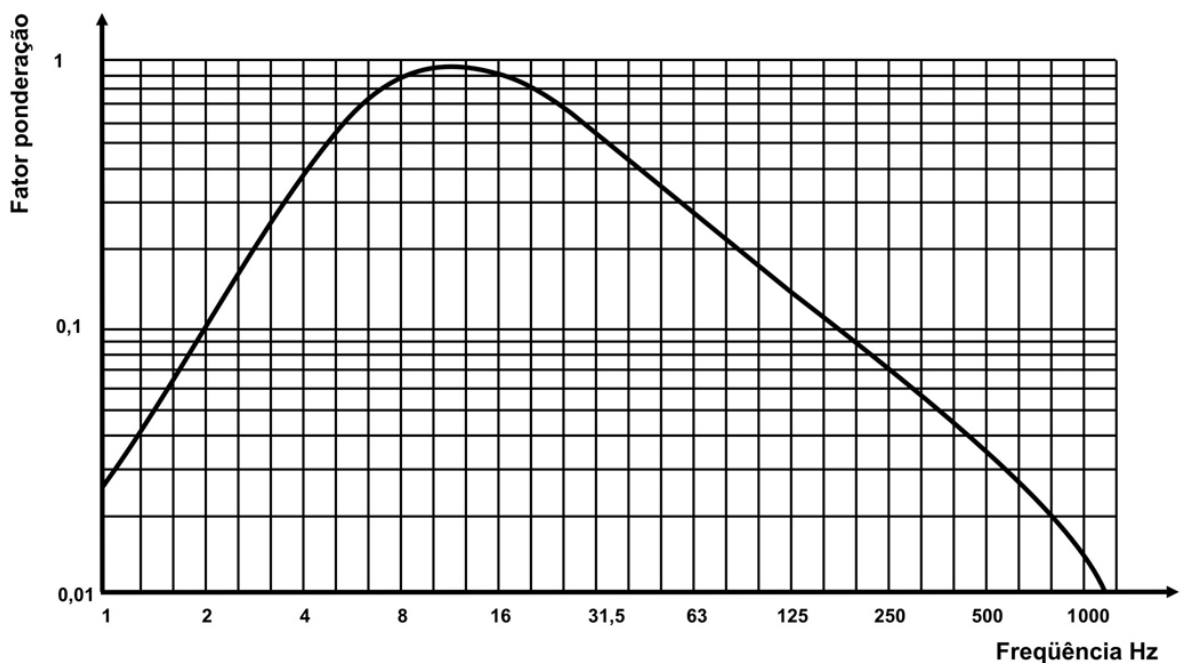
A vibração transmitida para as mãos será medida e reportada para as três direções do sistema ortogonal de coordenadas definidos conforme figura abaixo:



A vibração nas três direções será medida preferencialmente simultaneamente. Medições realizadas seqüencialmente ao longo de cada eixo será aceitável, desde que a condição de operação seja similar para todos as três medições. A medição será realizada na superfície vibrante tão perto quanto possível do centro da zona vibratória da máquina, ferramenta ou peça de trabalho.

O acelerômetro deve ser fixado na empunhadura do equipamento, muito próximo da mão do operador, em condições de operação. Deve ser fixado de maneira a não influenciar a preensão e trabalho normais do operador.

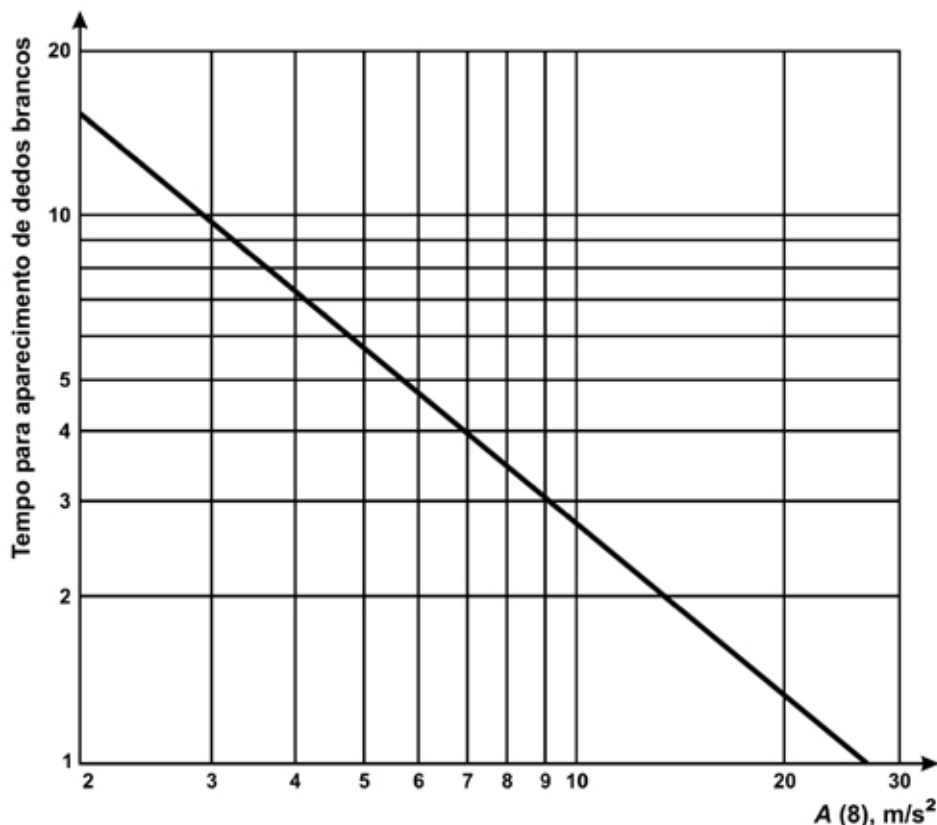
A medição da aceleração em frequência média ponderada requer a aplicação de uma frequência ponderada e filtro de banda. A frequência ponderada  $W_h$  reflete a suposta importância das diferentes frequências em causar danos às mãos.



A avaliação da exposição à vibração é baseada na quantidade combinada dos três eixos. Isto é, o valor total da vibração,  $a_{hv}$ , é definida pela raiz média quadrática dos três valores componentes.

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2}$$

Os valores obtidos da avaliação, devem ser plotados no gráfico a seguir, pelo eixo das abscisas até alcançar a reta do 10º percentil e, rebatidos para o eixo das ordenadas obtendo-se finalmente a estimativa em anos para o aparecimento dos dedos brancos.



Os estudos sugerem que os sintomas das vibrações de mãos e braços são raros em indivíduos expostos a  $A(8) < 2\text{m/s}^2$  e sem registro para  $A(8) < 1\text{m/s}^2$ .

### OS LIMITES DA ACGIH PARA VIBRAÇÕES DE MÃOS E BRAÇOS

A avaliação das vibrações de mãos e braços deve ser realizada com base nos critérios da ISO 5349 de 1986. A mensuração deve ser realizada para cada eixo ( $x$ ,  $y$  e  $z$ ), por meio da aceleração ponderada, rms, correspondente ao eixo dominante. Inobstante a nova versão da ISO 5349 de 2001, a ACGIH ainda utiliza em sua norma a ponderação em frequência da ISO 5349 de 1986. Além do que, a relação dose resposta contida no anexo C é consistente com relação à dose resposta da norma anterior.

Os limites de tolerância da ACGIH, para vibrações localizadas, reproduzidos a seguir, referem-se aos níveis e tempos de exposição para os quais se acredita que a maioria dos

trabalhadores possa ser repetidamente exposta, dia após dia, sem evoluir para além do primeiro estágio da Classificação de Estocolmo para o aparecimento dos dedos brancos induzidos por vibrações.

Duração total da exposição diária	valores do componente de aceleração dominante em rms, frequência ponderada, que não devem ser excedidos	
	m/s <sup>2</sup>	g
4 horas e menos de 8	4	0,40
2 horas e menos de 4	6	0,61
1 hora e menos de 2	8	0,81
menos de 1 hora	12	1,22

## OS LIMITES DA ACGIH PARA VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO

Para a vibração de corpo inteiro, a ACGIH utiliza como base a norma ISO 2631 de 1985 e não a última versão de 1997. Na versão de 1985 a norma definia três tipos de limites, os quais foram excluídos na versão atual. Porém, no prefácio da norma atual é citado que os limites anteriores eram seguros e preveniam efeitos indesejáveis.

Para estabelecer seu limite de tolerância, a ACGIH utilizou a experiência de vários estudos, chegando à conclusão de que os limites da ISO 2631 não eram suficientemente seguros; assim, optou por adotar os limites de proficiência reduzida por fadiga, que equivale à metade do limite de exposição.

Os valores obtidos, em cada eixo, devem sofrer uma análise espectral de Fourier, em bandas de terços de oitava. FFT é a sigla de “Fast Fourier Transform”, ou Transformada Rápida de Fourier. FFT é um método numérico que possibilita transformar uma onda no domínio do tempo (Tempo X Amplitude) em um espectro, ou seja, um gráfico no domínio da frequência (Frequência X Amplitude).

Os limites de tolerância da ACGIH, para vibrações de corpo inteiro, referem-se aos níveis e tempos de exposição para os quais se acredita que a maioria dos trabalhadores possa ser repetidamente exposta, com o risco mínimo de dores ou efeitos adversos nas costas, ou incapacidade para operar adequadamente veículos terrestres.

## A DIRETIVA 2002/44/EC DA COMUNIDADE EUROPÉIA

A Diretiva 2002/44/EC estipula os níveis de ação e limites de exposição para vibrações de corpo inteiro e de mãos e braços, segundo quadro abaixo:

	Nível de ação	Limite de exposição
Mãos e braços	2,5 m/s <sup>2</sup> A(8)	5,0 m/s <sup>2</sup> A(8)
Corpo inteiro	0,5 m/s <sup>2</sup> A(8) ou 9,1 VDV	1,15 m/s <sup>2</sup> A(8) ou 21 VDV

## EQUIPAMENTOS

No Brasil, o contratante de serviços de avaliação de vibrações deve ter um cuidado especial, eis que muitas empresas estão avaliando vibrações ocupacionais com equipamentos destinados a avaliar vibração em equipamentos, com finalidades de manutenção preditiva.

Outras empresas possuem equipamento para avaliação de vibrações com enfoque ocupacional; no entanto, tais equipamentos estão defasados, pois seguem as normas ISO 5349 e 2631 antigas. Tais equipamentos não contemplam as novas curvas de ponderação previstas nas novas normas.

A Vendrame Consultores, dando mais um passo à frente de seu tempo, recentemente adquiriu o que de mais moderno há em termos de avaliação de vibrações, o equipamento HAV Pro da Quest Technologies, que inclui todas as inovações das versões atuais das normas ISO 5349 e 2631.

## CONCLUSÃO

As vibrações de corpo inteiro têm despertado pouco interesse, inclusive em nível internacional. No entanto, as vibrações de mãos e braços têm sido exaustivamente pesquisadas. Prova do interesse mundial no assunto é a 10<sup>o</sup> edição da Conferência Internacional de Vibração de Mãos e Braços, realizada recentemente, entre 7 e 11 de junho, em Nevada, nos Estados Unidos, da qual o Prof<sup>o</sup> Vendrame participou como único representante da América Latina.

A questão ainda é um tanto nebulosa quando se trata de definir limites de tolerâncias, já que, por exemplo no caso das vibrações de mãos e braços estão envolvidos vários efeitos, tais como o vascular, o neurológico e o musculoesquelético.

Na Europa está sendo realizada uma mega pesquisa com a participação de seis países (França, Alemanha, Itália, Suécia, Holanda e Inglaterra), batizada de “VIBRISKS”, iniciada em 2003, com finalidade de realizar diversos epidemiológicos.

A pesquisa avança no estudo da transmissão de vibração; no entanto, a tecnologia deve buscar alternativas para reduzir a vibração, inclusive por meio de soluções ergonômicas. Quiçá pudéssemos no futuro adquirir ferramentas ou equipamentos com baixos níveis de vibração, preservando a saúde do trabalhador.