

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO

**ESTUDO SOBRE OS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO TRANSMITIDOS AO USUÁRIO DE
MARRETAS.**

Carlos Dreyer Neto

Porto Alegre, agosto de 2009

Carlos Dreyer Neto

**ESTUDO SOBRE OS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO TRANSMITIDOS AO USUÁRIO DE
MARRETAS.**

Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS como Requisito parcial à obtenção de título de Especialista em Engenharia de Segurança no Trabalho.

Orientador: Prof. Dr. Herbert Martins Gomes

Porto Alegre, agosto de 2009.

Esta monografia foi analisada e julgada adequada para a obtenção do título de Especialista em Engenharia de Segurança no Trabalho e aprovada em sua forma final pelo orientador e pelo Coordenador do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho.

Prof. Herbert Martins Gomes, Doutor
Orientador DEMEC/UFRGS

Prof. Sérgio Möller, Doutor
Coordenador do Curso de Especialização em
Engenharia de Segurança do Trabalho

RESUMO

Este trabalho trata da análise e medição experimental das vibrações experimentada por usuários de ferramentas de mão tipo marretas. Foi feito um estudo onde se focou na caracterização das vibrações recebidas pelos operadores referentes ao segmento mão-braço. A motivação para o trabalho surgiu com a necessidade de verificar o nível de conforto/segurança de usuários de novos modelos de marretas fabricadas, as quais possuem cabos de materiais diferentes assim como diferentes pesos. O estudo faz a análise no que se refere à vibração transmitida ao usuário pelo cabo da marreta seguindo-se limites e indicações constantes na ISO-5349 e Diretiva Européia 202/44/EC. Foi construído um protótipo de dispositivo para padronizar ensaios comparativos entre as diversas marretas analisadas através de ensaios de queda livre e impacto sobre bigorna. O equipamento utilizado nas medições foi o VI-400PRO da Quest Technologies. Foram tomadas medições de aceleração nos três eixos referenciadas à posição mais próxima da empunhadura da marreta. Resultados referentes a medições em três tipos de marretas distintas são apresentados, incluindo análises referentes ao nível de vibração medido e limites de segurança à saúde. Dos resultados apresentados verificou-se que a marreta com cabo aço e alma de borracha tem uma capacidade muito maior de absorver o impacto que as demais marretas analisadas.

ABSTRACT

This work is concerned with the analysis and experimental measurements of hand-arm vibrations received by users of Impact Hammers. It was made a study that was focused on the characterization of the vibrations received by the hand-arm of the operators. The motivation for the work starts with the need to verify the comfort/safety levels of new manufactured impact hammer models, which have different types of material handles and different weights as well. The study analyzes the vibration transmitted to the user by the impact hammer's handle according to Standard limits indicated by ISO-5349 and European Directive 202/44/EC. A prototype device was built to standardize the comparative tests among several impact hammers. The device was conceived to work as a free-fall impact tester against a standard anvil. The equipment used in the measurements was the VI-400PRO by Quest Technologies with the software Quest Suite Pro. It is presented some results regarding measurements of three different types of hammers, including analyses of the measured vibration levels and health risk limits. Related to the presented results, it was verified that the hammer with steel cable and rubber kernel presented the best performance related to impact absorption when compared with other types of tested hammers.

LISTA DE SÍMBOLOS

HAV	<i>Hand-Arm Vibratrion</i>
ISO	International Standardization Organization
NR	Normas Regulamentadoras
RMS	<i>root-mean-square</i>
STC	Síndrome do Túnel do Carpo
VDV	Valor da Dose de Vibração
VWF	<i>Vibration White Finger</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Parâmetros característicos de um movimento senoidal	14
Figura 2: Ilustração conceitual da relação dos fatores causa/efeito da vibração transmitida pelas mãos.	17
Figura 3: Sistema de coordenadas ISO 5349	18
Figura 4: Nível de ação e exposição máxima conforme Diretiva 2002/44/EC	19
Figura 5: Valor Dose de Vibração e RMS.	21
Figura 6: Vaso espasmo	27
Figura 7: Acelerômetro piezoelétrico.....	31
Figura 8: Esquema do protótipo de dispositivo para padronização dos impactos.	35
Figura 9: Foto do esquema de montagem dos acelerômetros no cabo da marreta e sistema de medição no protótipo de dispositivo para ensaio de impacto.....	36
Figura 10: Dados do Acelerômetro triaxial Dytran MODEL3023A2 utilizado nas medições.	47
Figura 11: Especificações técnicas do VI-400PRO (Quest Technologies).....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fatores que influenciam o efeito de vibração na mão.....	16
Tabela 2: Comparação das características fundamentais VDV e A(8).....	21
Tabela 3: Níveis de ação e limites de exposição conforme diretiva europeia.....	22
Tabela 4a: Estágios neuro-sensoriais da Escala de Stockholm para a síndrome de vibração mão-braço.....	24
Tabela 4b: Estágios do distúrbio dos dedos brancos (Raynaulds).....	27
Tabela 5: Marretas analisadas.....	34
Tabela 6: Resultados do teste de marreta com cabo de madeira.....	38
Tabela 7: Marreta com cabo de madeira: tempo para atingir valores de exposição.....	38
Tabela 8: Resultados do teste de marreta com cabo de fibra.....	39
Tabela 9: Marreta com cabo de fibra: tempo para atingir valores de exposição.....	39
Tabela 10: Resultados do teste de marreta com cabo de aço e borracha.....	40
Tabela 11: Marreta com cabo aço e borracha: tempo para atingir valores de exposição.....	40
Tabela 12: Aceleração RMS média dos três experimentos.....	41
Tabela 13: Tempo médio dos três experimentos para atingir valores (de ação e aceitável) de exposição.....	42
Tabela 14: Lista de doenças relacionadas ao trabalho.....	46

ÍNDICE

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE SÍMBOLOS	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	v
ÍNDICE	vi
1. INTRODUÇÃO	7
1.1. Situação problema	8
1.1.1. Tema	8
1.1.2. Delimitação do tema	8
1.1.3. Definição do problema	8
1.2. Objetivos	9
1.2.1. Objetivo Geral	9
1.2.2. Objetivos Específicos	9
1.3. Justificativa	9
1.4. Estrutura do trabalho	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1. Quantificação da Vibração	11
2.2. ISO 2631 e ISO 5349	14
2.3. Vibração no segmento mão braço	15
2.4. Métodos de avaliação da exposição da vibração	18
2.5. Efeitos da exposição à vibrações	22
2.5.1. Desconforto Subjetivo	22
2.5.2. Desconforto Subjetivo	23
2.5.3. Efeitos não vasculares	23
2.5.4. Desordens Vasculares (Fenômeno de Raynaud)	25
2.5.5. Outras Desordens	28
3. METODOLOGIA	29
4. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	31
4.1. Caracterização dos equipamentos utilizados	31
4.2. Caracterização das marretas analisadas	33
5. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	35
6. RESULTADOS	37
7. CONCLUSÕES	41
7.1. Sugestão para futuras pesquisas	43
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
ANEXOS	46

1. INTRODUÇÃO

Em virtude do interesse cada vez maior de empregadores e do governo no bem estar e segurança de seus colaboradores faz-se cada vez mais importante a observação às normas vigentes referentes ao assunto.

Segundo a NR-15, anexo 8, toda a atividade e/ou operação que venha a expor trabalhadores sem proteção adequada a vibrações localizadas ou de corpo inteiro é passível de ser caracterizada como insalubre.

Para caracterizar uma atividade como insalubre se faz necessária uma perícia. Esta deverá ser discriminada no laudo o critério adotado, o instrumentos utilizados, a metodologia de avaliação, a descrição das condições de trabalho e o tempo de exposição, bem como os resultados quantitativos encontrados e as medidas a serem adotadas para eliminar ou minimizar a insalubridade se a mesma existir. Segundo a norma em questão, os limites de tolerâncias que deverão servir para nortear a avaliação são os definidos pelas normas ISO 2631 e ISO /DIS 5349 ou suas substitutas.

Segundo o anexo 8, a insalubridade quando constatada, neste caso, é de grau médio. Conforme NR-15, insalubridade de grau médio assegura ao trabalhador adicional de 20% sobre o salário mínimo da região.

Inúmeras são as doenças do sistema circulatório e do sistema osteo-muscular e do tecido conjuntivo que segundo a lista de doenças ocupacionais do Ministério da Saúde podem estar relacionadas a vibrações localizadas (veja ANEXO I). Por esses motivos o Ministério da Previdência e Assistência Social através do INSS exige, através das Instruções Normativas 99 e 100 de 2004, que as empresas emitam laudos das condições de ambiente de trabalho (LTCAT) das atividades nas quais o funcionário possa estar exposto a vibrações elevadas. A não existência dos documentos acarreta em multa e denúncia da empresa ao Ministério Público.

Doenças ocupacionais devido à exposição a agentes físicos, químicos ou biológicos são consideradas acidente de trabalho e por sua vez podem acarretar em várias conseqüências jurídicas ao empregador, resultando, inclusive, em indenizações ou, até mesmo, numa ação criminal.

As normas regulamentadoras (NR) relativas à segurança e medicina do trabalho, como a própria disposição geral diz que (NR-1): “são de observância obrigatória pelas empresas privadas e públicas e pelos órgãos públicos de administração direta e indireta, bem como pelos órgãos dos poderes legislativo e judiciário, que possuam empregados regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT)”.

Além disto, como citado no artigo 1.2 da NR-1: “a observância das Normas Regulamentadoras – NR não desobriga as empresas do cumprimento de outras disposições que, com relação à matéria, sejam incluídas em códigos de obras ou regulamentos sanitários dos Estados ou Municípios, e outras, oriundas de convenções e acordos coletivos de trabalho”.

Cabe também ao empregador, conforme NR-1, além de cumprir as exigências das normas vigentes, fazer com que as mesmas sejam cumpridas, prevenindo os atos inseguros. Também cabe a elas divulgar as obrigações e proibições aos empregados, orientando e punindo os colaboradores pelo descumprimento das ordens, bem como adotar medidas que visem eliminar ou reduzir a insalubridade e as condições inseguras de trabalho.

O não cumprimento das normas vigentes além de colocar a vidas dos trabalhadores em risco pode em alguns casos acarretar em penalidades como embargo ou interdição, bem como em passivos trabalhistas. Dentro deste contexto, pode-se afirmar que acatar as obrigações especificadas para o empregador nas Normas Regulamentadoras relativas à medicina e segurança do trabalho é hoje de suma importância para a continuidade de uma empresa.

1.1. Situação problema

1.1.1. Tema

Estudo dos níveis de vibração transmitidos ao segmento mão braço de usuários de marretas.

1.1.2. Delimitação do tema

O estudo está delimitado a análise comparativa da vibração transmitida a usuários de marretas com cabo de madeira, fibra de vidro e borracha com alma de aço.

1.1.3. Definição do problema

Qual o modelo de marreta entre as analisadas que transmite menos vibração ao usuário?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar de forma quantitativa a vibração transmitida a usuários, de forma a identificar o modelo de marreta que transmite menos vibração ao usuário e, conseqüentemente, o modelo que menos influencia de forma negativa a saúde de quem a usa.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Quantificar os níveis de vibração transmitidos a um usuário em determinada situação através da medição da aceleração em valor eficaz.
2. Avaliar o tempo máximo de exposição permitido ao usuário devido aos níveis encontrados.
3. Comparar os resultados encontrados a fim de indicar qual o modelo que tem maior absorção da vibração e conseqüentemente seja o mais indicado para a atividade.

1.3. Justificativa

O risco de vibrações no segmento mão-braço cada dia mais afeta diversas pessoas nas mais diferentes atividades. Os riscos são bastante aumentados com o uso de equipamentos de alta vibração, assim como o uso regular e prolongado de tais equipamentos. Entretanto, investigações têm demonstrado que os danos causados por vibração podem ser controlados e os riscos reduzidos, se boas práticas de utilização forem adotadas ou se os níveis de vibração forem gerenciados. Estes estudos têm mostrado também que o custo de tais controles não precisam ser alto e podem usualmente ser diluídos pelos benefícios de se manter os trabalhadores saudáveis. Adicionalmente, medidas de controle de vibração podem, em muitos casos, levar a um aumento de eficiência através da diminuição da fadiga.

O propósito da avaliação do risco na vibração transmitida ao segmento mão braço é o de possibilitar a tomada de decisões válidas sobre as medidas necessárias para prevenir ou controlar adequadamente os riscos da exposição de trabalhadores acerca da vibração do segmento mão-braço.

Neste caso em particular, vibração transmitida a usuários de marreta, não foi encontrada literatura específica que pudesse vir a auxiliar na tomada de decisão.

1.4. Estrutura do trabalho

O capítulo um deste trabalho traz uma breve introdução do assunto e apresenta o objetivo e a delimitação do mesmo. O presente trabalho também é justificado neste capítulo.

O segundo capítulo apresenta embasamentos teóricos envolvendo o tema escolhido, que são necessários ao desenvolvimento deste trabalho. Neste capítulo serão revisados na literatura diversos assuntos pertinentes ao tema.

Já o terceiro capítulo descreve a metodologia de pesquisa que será utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, bem como para a formação de conclusões.

Os quarto e quinto capítulos indicam os equipamentos utilizados bem como os procedimentos empregados para a obtenção dos resultados.

O sexto capítulo descreve os resultados obtidos nas medidas em cada uma das marretas estudadas.

O sétimo capítulo descreve as conclusões a que se chegou através da análise dos resultados do capítulo anterior e por fim traz sugestões para a elaboração de pesquisas posteriores a respeito do tema.

No oitavo capítulo são listadas as referências bibliográficas utilizadas e citadas neste trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Quantificação da Vibração

A vibração é um movimento periódico, ou aleatório, de um elemento, que é causado por uma excitação interna ou externa. Segundo Thomson, 1978, *Apud* Ximenes 2006, “vibração é o termo que descreve um movimento oscilatório de um sistema mecânico em relação a uma condição de equilíbrio tomada como referência.”

Do mesmo jeito que a vibração pode danificar máquinas e estruturas, e por isto mesmo deve ser controlada e/ou isolada. Segundo Regazzi, 2009, da mesma forma o corpo humano também pode ser afetado e por isso existe a necessidade de medir e estabelecer limites para a vibração, como agente de insalubridade no trabalho.

Cada deslocamento do sistema mecânico de um extremo ao outro retornando a posição de origem é conhecido como ciclo, sendo o número de ciclos por unidade de tempo definido como frequência. O deslocamento extremo em relação à posição de origem é conhecido como amplitude.

Os três componentes essenciais de um sistema vibrante são a massa, a rigidez e o amortecimento. A energia cinética de um sistema que esteja vibrando é função da massa e do movimento do sistema. A energia potencial do sistema é função da massa e da rigidez do sistema. Quando um sistema vibra, a energia do sistema alternadamente muda entre energia cinética e energia potencial. A ausência de qualquer mecanismo que dissipe esta energia faria, teoricamente, o sistema vibrar para sempre. O amortecimento, que sempre de uma forma ou de outra, está presente nos sistemas é o mecanismo responsável por esta dissipação através da transformação da energia em, por exemplo, calor, som, etc., através do atrito. O sistema mão-braço humano possui massa, rigidez e amortecimento e, portanto pode ser visualizado como um sistema de massa, conectadas com rigidez e amortecimentos.

O movimento associado à vibração é de natureza oscilatória. Tal movimento é chamado de harmônico e é associado com o movimento ao redor de algum ponto de equilíbrio. O deslocamento refere-se à posição do objeto, que vibra com respeito à sua posição de repouso. Os quatro parâmetros primários relacionados à vibração: frequência, aceleração, velocidade e deslocamento, estão inter-relacionados. Quando os valores de quaisquer dois parâmetros são conhecidos para qualquer frequência, os valores dos outros dois podem ser calculados. Quando o movimento é harmônico e em uma única direção, o deslocamento vem dado por:

$$X(t) = X \sin(\omega t) \quad (1.1)$$

Onde X é o deslocamento de pico, ω é a frequência de vibração em rad/s e t é o tempo em s.

A frequência angular pode ser expressa como:

$$\omega = 2\pi f \quad \text{ou} \quad f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (1.2)$$

Onde π é a constante 3,1415 e f é frequência em Hz.

A frequência f representa o número de ciclos completos de oscilação que faz o objeto em 1 segundo. Por exemplo, se um objeto completa 10 ciclos de movimento em 1 segundo, então ele vibra a uma frequência de 10 Hz. O período de oscilação é dado por:

$$t = \frac{1}{f} \quad (1.3)$$

onde t é o período em segundos.

A velocidade de um objeto refere-se à taxa no tempo de mudança de seu deslocamento e representa a primeira derivada da função de deslocamento (dada pela equação anterior). Ela pode ser expressa, no caso de sistema com uma direção apenas de vibração, como:

$$v = \frac{d x(t)}{dt} = \omega X \cos(\omega t) \quad (1.4)$$

Onde $\omega X = v_{\text{máx}}$ em m/s. A velocidade também pode ser escrita como:

$$v = \omega X \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (1.5)$$

Indicando que a velocidade está com diferença de fase com o deslocamento de 90° .

A aceleração de um objeto refere-se à taxa no tempo que ele altera sua velocidade e representa a segunda derivada do deslocamento com respeito ao tempo. Pode ser expressa como:

$$a(t) = \frac{d^2 x(t)}{dt^2} = \frac{d v(t)}{dt} = -\omega^2 X \sin(\omega t) \quad (1.6)$$

Onde $\omega^2 X = a_{\text{máx}}$ representa a amplitude máxima de aceleração em m/s^2 . Ela também pode ser escrita como:

$$a(t) = \omega^2 X \sin(\omega t + \pi) \quad (1.7)$$

Isso indica que ela está com diferença de fase de 90^0 com a velocidade e 180^0 com o deslocamento.

No caso da vibração livre, o sistema vibra a sua frequência natural, já na vibração forçada o sistema vibra com a frequência da força de excitação. Sob certas frequências de vibração forçada, as vibrações impostas pelas forças de excitação podem ser amplificadas pelo fenômeno da ressonância. No caso do sistema mão-braço, estas frequências se situam na faixa da ordem de 100-200 Hz.

Conforme Regazzi, o valor **eficaz** (RMS) é a medida mais importante de amplitude, porque leva em conta tanto a cronologia da onda, como também considera o valor de amplitude. Este valor está diretamente ligado à energia contida na onda e é o valor requerido pelas normas de avaliação da exposição à vibração do ser humano.

Este valor pode ser avaliado pela equação:

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a(t)^2 dt} \quad (1.8)$$

onde $a(t)$ é a aceleração medida em m/s^2 .

Segundo Ximenes, 2006:

“O valor pico, que indica o valor máximo, mas não traz qualquer informação acerca da duração ou tempo de movimento, é particularmente usado na indicação de níveis de impacto de curta duração; 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 e a mais utilizada medida da amplitude por que mostra a média da energia contida no movimento vibratório. Portanto, indica o potencial destrutivo da vibração...”

A figura 1 mostra a relação entre nível pico-a-pico, nível pico, nível médio e nível *rms* de um sinal.

O valor pico-a-pico indica a máxima amplitude da onda e é normalmente usado onde o deslocamento vibratório é parte crítica na tensão máxima de elementos do sistema.

O valor médio, por outro lado, é usado quando se quer se levar em conta um valor da quantidade física da amplitude em um determinado tempo.

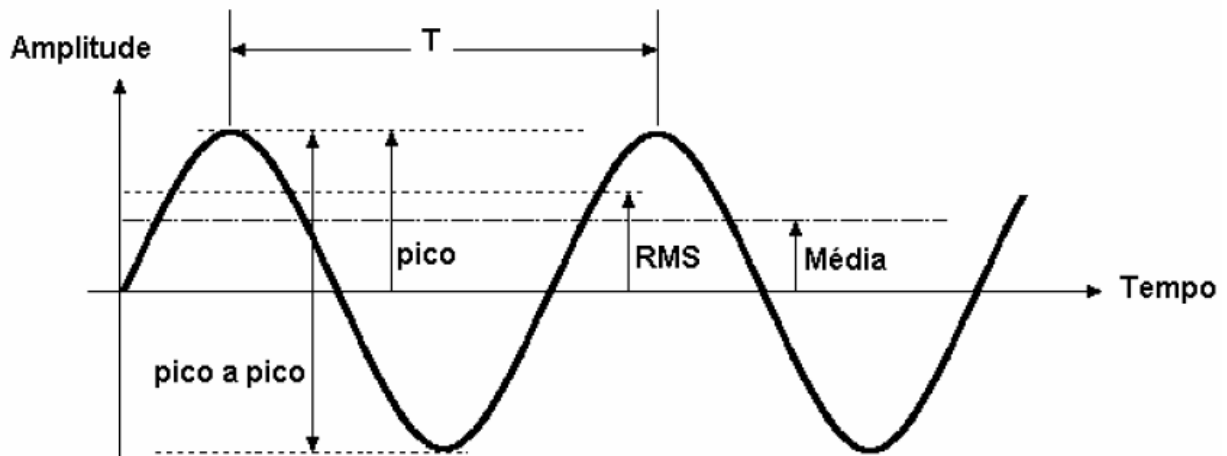


Figura 1: Parâmetros característicos de um movimento senoidal

(Fonte: B&K 1988 *Apud* Ximenes, 2006).

Para determinar a vibração diária, à qual o usuário de marretas está exposto, é necessário, inicialmente, que se conheça o tempo de exposição do usuário à vibração. No caso da exposição à vibração não ser contínua, deve-se multiplicar o tempo de duração de cada evento que transmita vibração pelo número de vezes que ele é reproduzido no dia.

A severidade da vibração é determinada pela sua magnitude, frequência, duração e direção. A magnitude é medida em termos da aceleração das partículas oscilantes e é mais convenientemente expressa em termos do seu valor *RMS* (*root-mean-square*), com unidade de m/s^2 . Cada parte do corpo humano tem sua própria frequência natural de vibração, portanto, a extensão pela qual o corpo humano é afetado depende da frequência de vibração, à qual ele é exposto. A duração define a quantidade de tempo que a pessoa está em contato com (exposto) ao objeto que vibra e a resposta humana a esta exposição aumenta com o aumento da duração da exposição.

A vibração é normalmente medida em termos da aceleração em três eixos ortogonais, x, y e z, pois o corpo reage diferentemente a cada uma destas direções. ,

2.2. ISO 2631 e ISO 5349

Conforme a norma ISO 2631, existem três tipos de exposição humana à vibração: Vibrações transmitidas simultaneamente à superfície total do corpo e/ou a partes substanciais dele, Vibrações transmitidas ao corpo através de superfícies de sustentação e Vibrações aplicadas a partes específicas do corpo, como cabeças e membros.

As vibrações podem também ser classificadas como:

- Vibrações Contínuas: com amplitude e frequência bem definidas e constantes
- Vibrações Aleatórias ou Multifrequências (banda larga): comportamento aleatório da frequência e da amplitude
- Vibrações Intermitentes: mantêm determinado nível de vibração por determinado número de ciclos, um decaimento transiente e subsequente repetição do evento; podem ser excitações de apenas alguns segundos.
- Choque impulsivo: excitação caracterizada por uma rápida subida para um valor de pico seguido de um decaimento.

A Norma ISO 2631 está relacionada às vibrações transmitidas ao corpo inteiro. Estas, por sua vez, são de baixa frequência e grande amplitude, situando-se na faixa de 1 a 80 Hz, mais especificamente 1 a 20 Hz.

Já as vibrações localizadas (normatizadas pela ISO 5349), situam-se na faixa de 6,3 a 1250 Hz. Ocorrem principalmente nos trabalhos de escavação, na construção de galerias, pedreiras e madeiras.

Segundo Regazzi, os equipamentos de medição de vibração geralmente são combinações entre transdutores, amplificadores, e detector-indicador de sinal com características metrológicas controladas. Estes sistemas têm de estar calibrados e ajustados para medirem as referidas vibrações nas diversas orientações em que elas ocorrem evitando problemas com ruídos interferente. Também devem adquirir estes dados com taxas de aquisição suficientes para os níveis de frequência das vibrações a serem medidas evitando problemas de instrumentação de subamostragem como o *aliasing*. Sendo que a calibração destes sistemas deve ser realizada em conjunto e as tolerâncias que são especificadas na norma ISO 8041.

2.3. Vibração no segmento mão braço

Vibração localizada é aquela na qual um ou mais membros, ou cabeça, estão em contato com uma superfície vibratória, sendo a mais conhecida a vibração transmitida através da palma das mãos e dedos (Griffin, 1990).

Conforme Griffin (1990) as principais causas de altos níveis de vibrações no segmento mão braço são normalmente ferramentas e processos industriais, rurais, de mineração, no qual mãos seguram ou pressionam objetos vibrantes.

Ximenes, 2006, elencou os principais fatores físicos, biodinâmicos e individuais que influenciam o efeito de vibração humana (Tabela 1).

Tabela 1: Fatores que influenciam o efeito de vibração na mão.

Fonte: Ximenes, 2006

FATORES QUE INFLUENCIAM O EFEITO DE VIBRAÇÃO HUMANA		
Fatores Físicos	Fatores Biodinâmicos	Fatores Individuais
Aceleração de vibração; Intensidade da vibração	Força de aperto - a firmeza com que o trabalhador segura o equipamento vibrante.	Controle do operador de ferramentas; Grau de experiência
Frequência de vibração; Espectro de frequências; Direção do movimento	Área de superfície, localização, e massa de partes da mão em contato com a fonte de vibração.	Taxa de trabalho da máquina; método de trabalho , operações continua ou intermitente
Duração de exposição de cada dia de trabalho	Dureza do material que esta em contato com as ferramentas manuais, por exemplo, metal em desgaste.	Habilidade e produtividade; Postura em que realiza as tarefas; Tensão e esforço que mantém no trabalho
Histórico profissional referente a anos de emprego envolvendo exposição à vibração	Posição da mão e braço relativos ao corpo	Susceptibilidade individual à vibração; Predisposição a patologias relacionadas com o sistema nervoso e circulatório
Estado das ferramentas de manutenção; características das ferramentas (peso, possibilidade de apoio, balanceada etc)	Textura da manivela – macia e flexível versus material rígido.	Hábitos: Fumo e uso de drogas. Exposição a outros agentes físicos e químicos, como fatores ambientais (umidade, temperatura, ruído etc)
Possibilidades de uso equipamentos de proteção incluindo luvas, botas e etc . Práticas de períodos de descanso do trabalho.	Histórico médico com relação ao organismo e principalmente aos danos nos dedos e mãos, particularmente ulceração	Doença ou dano anterior ao corpo e aos dedos e mãos. Constituição física (peso, altura, etc)

O Modelo apresentado por Griffin, 1990 (Figura 2), mostra um pouco da complexa relação entre as muitas variáveis que estão relacionadas aos efeitos da HAV (*Hand –Arm Vibration*). Além das características da vibração, aspectos da resposta dinâmica do sistema como um todo, propriedades do ambiente, e suscetibilidade do individuo são fatores que irão determinar os efeitos causados ao indivíduo.

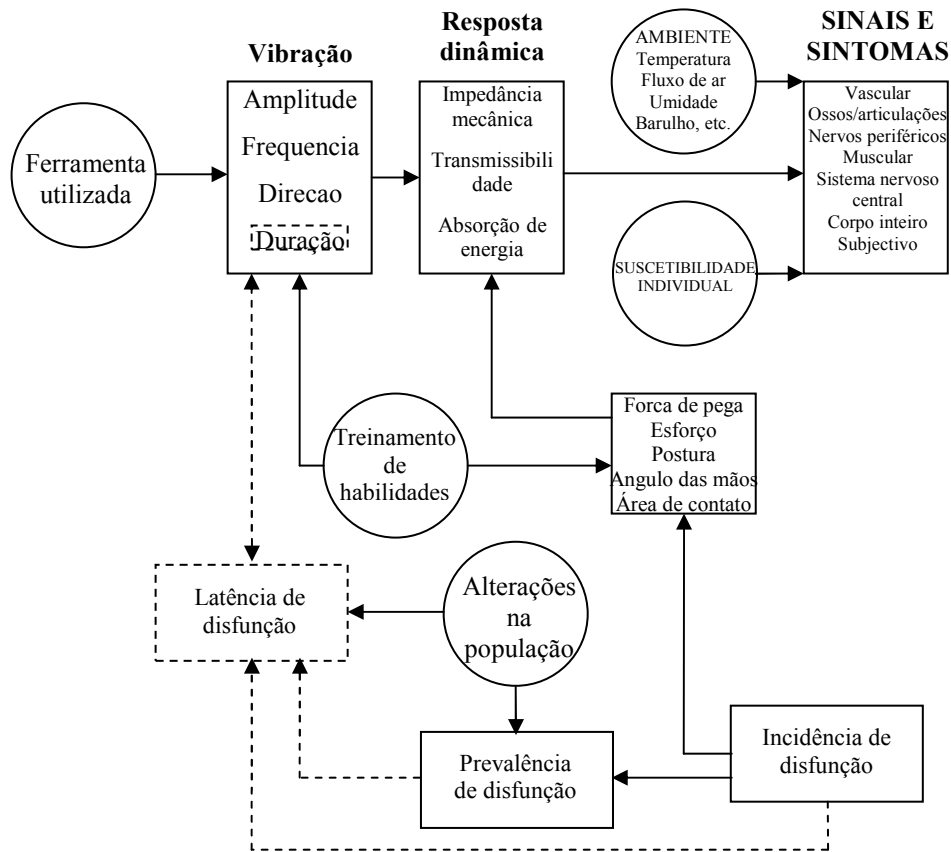


Figura 2: Ilustração conceitual da relação dos fatores causa/efeito da vibração transmitida pelas mãos.

Fonte: Griffin, 1990.

Quantificar a exposição do sistema mão-braço à vibração é uma tarefa complexa por ocorrer simultaneamente em três eixos e por variar ao longo da área de contato e ao longo do tempo.

Segundo Regazzi, para medir a vibração no corpo humano necessitamos conhecer a direção de atuação: **x, y e z**, **a freqüência** e **a intensidade do sinal de excitação**.

Uma vez que as acelerações, e conseqüentemente as vibrações, são grandezas vetoriais, faz-se necessário a definição do sistema de coordenadas para a medição das acelerações envolvidas. Conforme definição da norma ISO 5349, o sistema de coordenadas a ser adotado para o HAV é o apresentado na figura abaixo. A vibração deverá ser medida simultaneamente nos três eixos e o mais próximo possível da região de empunhadura da máquina, ferramenta ou equipamento.

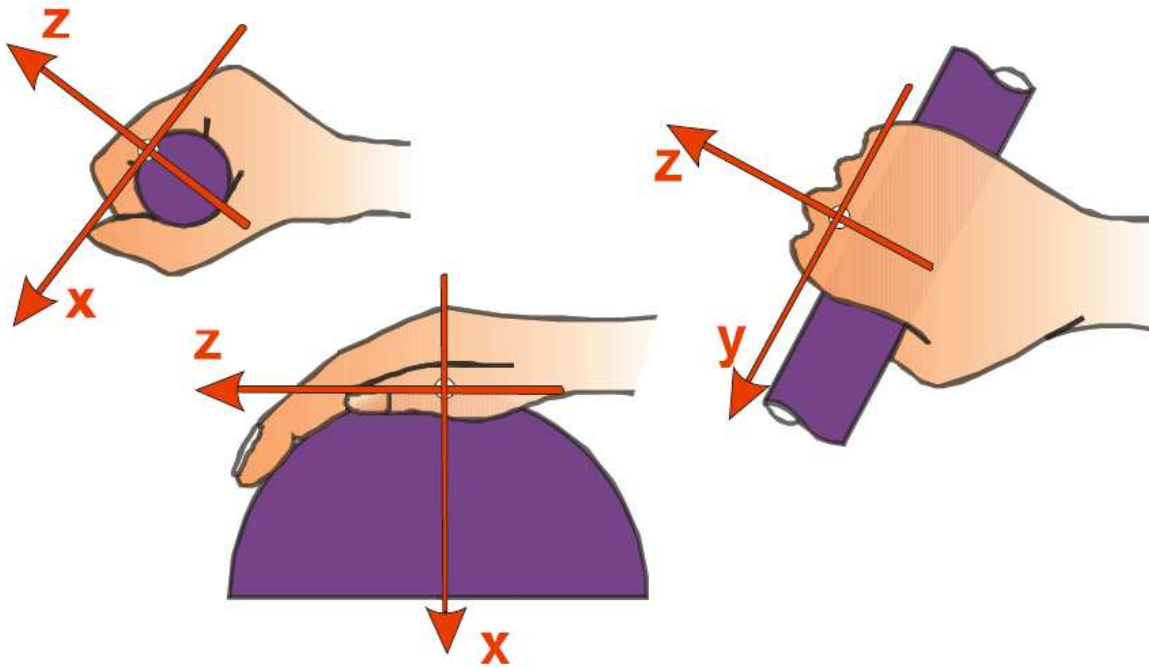


Figura 3: Sistema de coordenadas ISO 5349

2.4. Métodos de avaliação da exposição da vibração

Conforme normas vigentes, ISO 2631, ISO5349 e diretiva Européia, podem ser mencionados dois métodos para a avaliação da vibração.

O primeiro método, o R.M.S. ou A(8) indicado pela diretiva Européia, leva em consideração choques ocasionais e vibrações transientes usando um tempo constante curto de integração (Ximenes,2006). O Valor medido em m/s^2 é normalizado para 8 horas, ou seja, representa uma exposição cumulativa através de uma aceleração média ajustada. A aceleração ponderada é calculada da equação 1.9.

$$a_p(t_0) = \left[\frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau}^{t_0} (a_p(t))^2 dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.9)$$

- Onde: $a_p(t)$ aceleração ponderada em frequência instantânea
 τ tempo de integração (recomenda-se 1 segundo)
 t tempo (variável de integração)
 t_0 tempo de observação (tempo instantâneo)

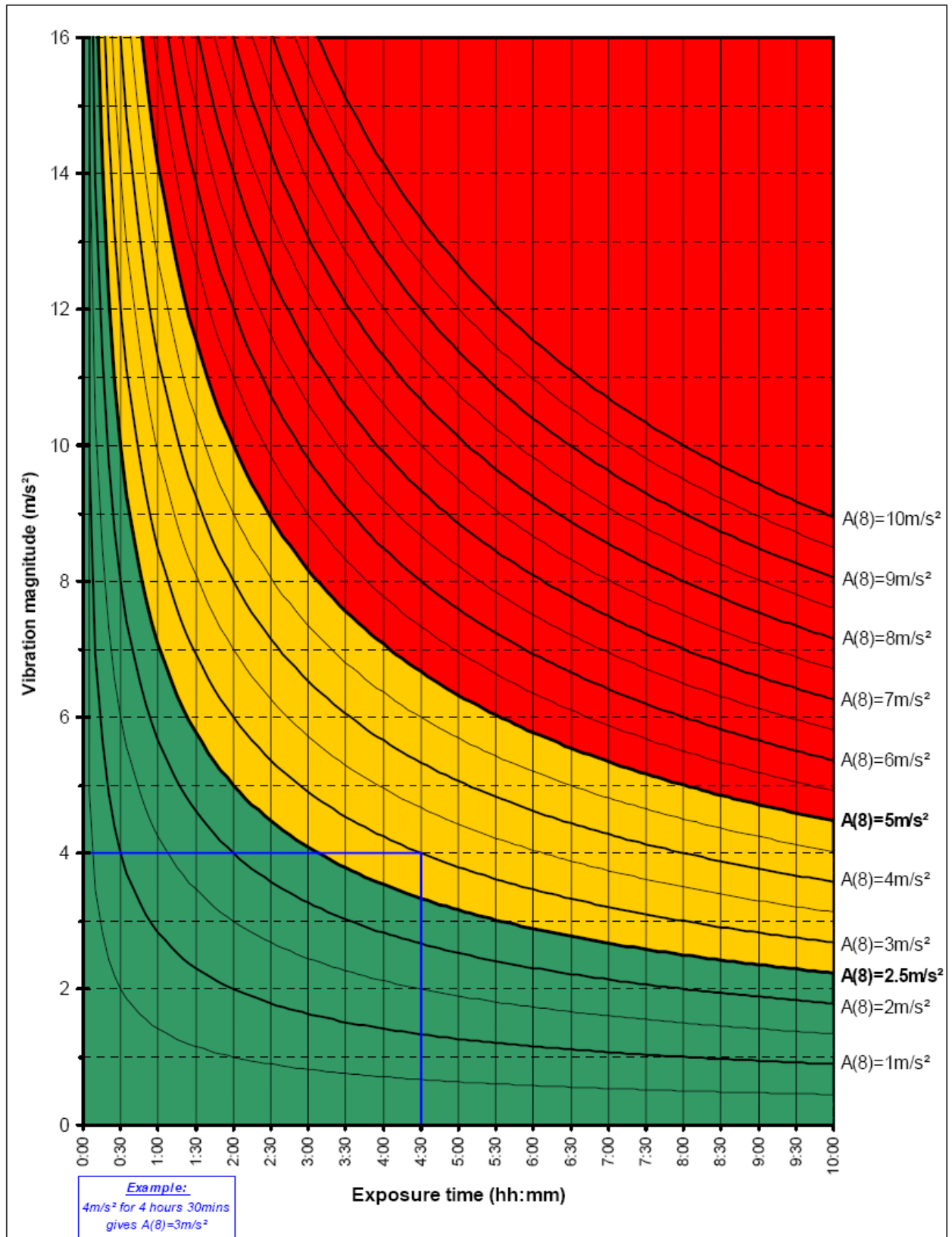


Figura 4: Nível de ação e exposição máxima conforme Diretiva 2002/44/EC

Fonte: Guide to good practice on Hand-Arm Vibration.

Já o método da dose de vibração (VDV), utiliza a quarta potência do histórico da aceleração ao invés da segunda como é feito no método R.M.S. O valor da dose de vibração é calculado como segue (Equação 1.10):

$$VDV = \left\{ \int_0^T [a_p(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}} \quad (1.10)$$

Onde: VDV valor dose de vibração
 $a_p(t)$ aceleração ponderada em frequência instantânea
T duração da medida
t tempo (variável de integração)
 \int_0^T integral de zero para T segundos.

Quando a exposição for composta por dois ou mais episódios o valor deverá ser calculado como segue:

$$VDV_{total} = \left(\sum (VDV_i)^4 \right)^{\frac{1}{4}} \quad (1.11)$$

Segundo Souza (2002) a literatura descreve várias técnicas que são utilizadas com o intuito de estudar as situações de impacto. Entre elas pode-se citar a medida da força de reação, medida das acelerações, dinâmica inversa e simulação através de modelos biomecânicos.

De acordo com Ximenes, 2006, em situações nas quais a vibração é passageira, ou seja, de curta duração e causada por choques, o valor RMS subestima a vibração e, neste caso, é utilizada a relação do valor de pico máximo dividido pelo RMS. Esta relação, denominada fator de crista, dá uma noção de quanto impulsivo é um sinal e descreve melhor a vibração.

A comparação entre os dois métodos pode ser visualizada na tabela abaixo (Tabela 2)

Tabela 2: Comparação das características fundamentais VDV e A(8)

VDV	A(8)
<ul style="list-style-type: none"> Dá um nível cumulativo 	<ul style="list-style-type: none"> Dá um nível médio
<ul style="list-style-type: none"> Sensível para choque e abalos 	<ul style="list-style-type: none"> Insensível para choque e abalos
<ul style="list-style-type: none"> Melhor medição disponível para comparar risco de veículos potencialmente satisfatórios 	<ul style="list-style-type: none"> Inadequado para comparações de risco de veículo quanto a choque e abalos
<ul style="list-style-type: none"> Pouco conhecido em vibração de mão-braço 	<ul style="list-style-type: none"> De uso familiar em vibração de mão-braço
<ul style="list-style-type: none"> Não experimentado em relação à dose de resposta. 	<ul style="list-style-type: none"> Não é ideal para realizar relação de dose de resposta.
<ul style="list-style-type: none"> Não experimentado em relação à dose de resposta 	<ul style="list-style-type: none"> Não é ideal para realizar relação de dose de resposta
<ul style="list-style-type: none"> Boa correlação com conforto subjetivo 	<ul style="list-style-type: none"> Pode ser um guia para conforto subjetivo
<ul style="list-style-type: none"> VDV mínimo facilmente estimado de dados de padrão de trabalho e dados de vibração fornecidos pelos fabricantes é representativo das condições do local de trabalho. Mas o VDV será mais alto se medição de precisão é requerida, que será necessária quando houver choques e abalos 	<ul style="list-style-type: none"> Calculado prontamente de dados do padrão de trabalho e dados de fabricantes, e é representativo das condições do local de trabalho
<ul style="list-style-type: none"> Escolha rápida de instrumentos disponível para medições 	<ul style="list-style-type: none"> Alguma demora na escolha de instrumentos disponível para medições

Fonte: HSE *Apud* Ximenes, 2006.

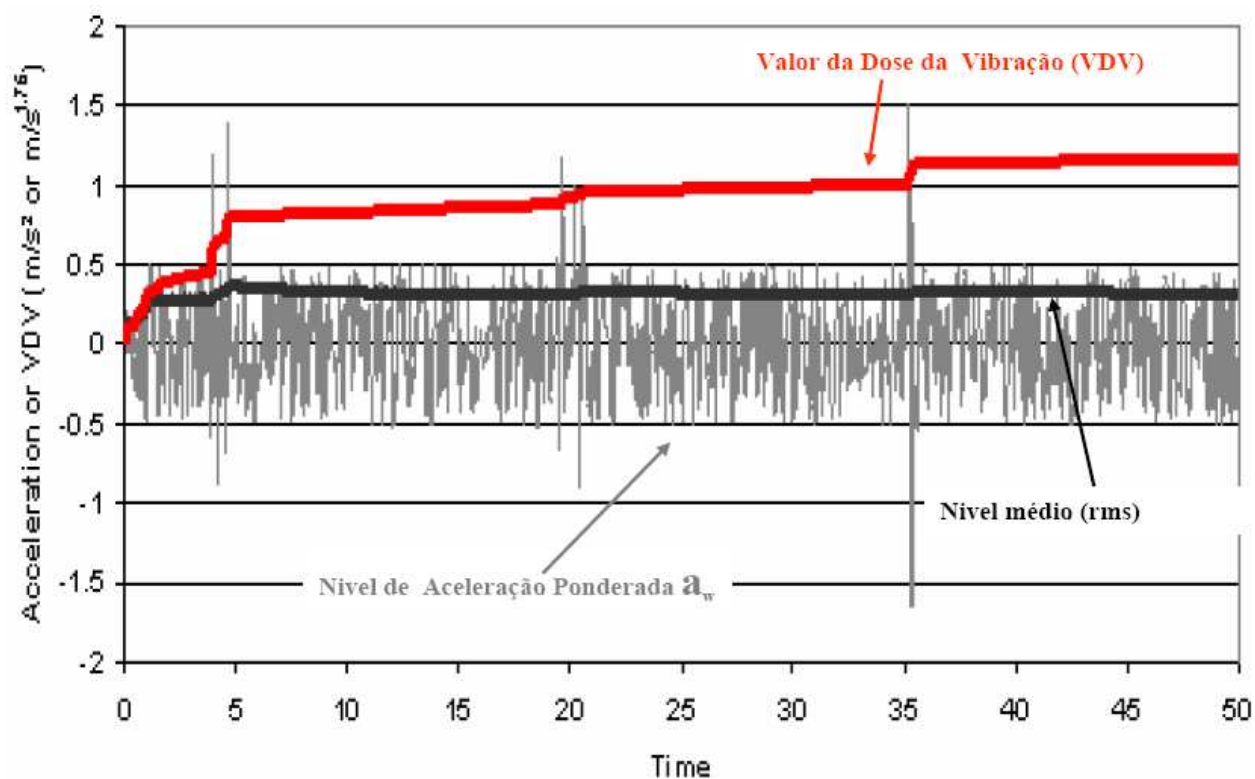


Figura 5: Valor Dose de Vibração e RMS.

Fonte: Vendrame

Como pode ser observado na tabela em questão e na figura X, o VDV, ao contrário do A(8), é mais sensível para choques e abalos e apresenta boa correlação com o conforto subjetivo, mas é indicado somente para vibrações de corpo inteiro.

Conforme a diretiva Européia 202/44/EC, os níveis de ação e limites de exposição para vibrações de corpo inteiro e do segmento mão braço são:

Tabela 3: Níveis de ação e limites de exposição conforme diretiva européia.

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

2.5. Efeitos da exposição à vibrações

A exposição de braços e mãos a uma vibração intensa pode causar um problema denominado Síndrome da Vibração das Mãos e Braços (HAVS, *Hand Arm Vibration Syndrome*). A síndrome é causada por uma anormalidade da circulação sangüínea, diminuição dos vasos periféricos e artérias, denominada dedo branco de vibração (VWF, *Vibration White Finger*), cujos sintomas são o empaldecimento da pele das extremidades e períodos de intensas dores (Pelmeir, 1998).

2.5.1. Desconforto Subjetivo

Segundo Bovenzi Apud Stellman (1998), A vibração é sentida por vários receptores mecânicos na pele, os quais estão localizados na epiderme e tecidos subcutâneos. Eles são classificados em dois tipos segundo sua velocidade de adaptação às condições ambientais a que são expostos em de adaptação rápida e adaptação lenta. Os discos de Merkel e terminais de Ruffini são classificados como receptores de adaptação lenta os quais respondem pela pressão estática sobre a pele e a lentas mudanças de pressão e freqüências de excitação baixa (<16Hz). Receptores de adaptação rápida são aqueles que respondem a rápidas mudanças nos estímulos e são responsáveis pela sensação de vibração nos limites de freqüência de 8 a 400 Hz. Se enquadram neste grupo os corpúsculos de Meissner e Pacini.

Segundo o mesmo autor, a resposta subjetiva à vibração transmitida à mão tem sido usada em diversos estudos para obter limiares e curvas de igual sensação, desconforto ou mesmo

limites de tolerância ao estímulo da vibração a diferentes frequências (Griffin 1990). Resultados experimentais indicam que a sensibilidade humana a vibração diminui com o aumento da frequência tanto para conforto quanto níveis de vibração para desconforto. A vibração vertical parece ser a causa de mais desconforto que vibração em outras direções. O desconforto subjetivo tem sido também relatado como sendo função de um espectro de frequências, na força de agarramento nos pontos de sustentação dos equipamentos.

2.5.2. Desconforto Subjetivo

A exposição severa a vibração transmitidas à mão pode causar aumento temporário aos limites vibro-tácteis devido à diminuição da excitabilidade dos receptores da pele. A magnitude dos limites temporários podem deslocar-se assim como o tempo para recuperação destes limites pode ser influenciado por uma série de fatores como características do estímulo (frequência, amplitude e duração), temperatura, idade do trabalhador e exposição anterior à vibração. Exposição ao frio agrava a diminuição táctil induzida pela vibração, isto porque baixas temperaturas causam o efeito vaso constrictor na circulação digital e reduz a temperatura da pele. Em trabalhadores expostos à vibração que operam em ambientes frios, episódios repetitivos de perda aguda da sensibilidade táctil pode levar a redução permanente na percepção e perda de destreza manual, a qual, por sua vez, pode interferir na atividade do trabalhador aumentando o risco de acidentes graves.

2.5.3. Efeitos não vasculares

2.5.3.1 Ósseos

Danos a ossos e juntas induzidos por vibração são um assunto ainda controverso. Vários autores consideram que danos em ossos e juntas em trabalhadores que usem ferramentas manuais vibrantes não são similares àquelas devido ao processo de envelhecimento e a danos causados por trabalho pesado em geral. Por outro lado, alguns investigadores têm reportado que as mudanças das características esqueléticas das mãos, pulso e cotovelos podem resultar da exposição prolongada à vibração transmitida à mão. Inicialmente investigações com raios-x revelaram uma alta prevalência de vacúolos e cistos nos ossos da mão e pulso de trabalhadores expostos à vibração, entretanto recentemente, estudos têm demonstrado nenhum aumento significativo com respeito aos grupos de controle de trabalhadores manuais. Prevalência de osteoartrose de pulso e cotovelo assim como osteofitoses têm sido reportadas em mineiros de carvão, trabalhadores de construção rodoviária e operadores da indústria de forjaria expostos a

choques e vibrações de baixa frequência mas alta amplitude com ferramentas pneumáticas de percussão. Por outro lado, há pouca evidência de um aumento na prevalência de degeneração de ossos e juntas nos membros superiores de trabalhadores expostos a frequências médias e altas provenientes de serras ou esmeris. Dor local, inchaço e rigidez das juntas e deformidades podem estar associadas com descobertas radiológicas de degeneração de ossos e juntas. Em poucos países (incluindo França, Alemanha e Itália) desordens dos ossos e juntas ocorrendo em trabalhadores usando ferramentas vibrantes manuais são consideradas uma doença ocupacional, e os trabalhadores afetados são compensados por esta exposição.

2.5.3.2 *Neurológicos*

Trabalhadores que operam ferramentas vibrantes manuais podem experimentar perda de sensibilidade nos seus dedos e mãos. Se a exposição à vibração se prolonga, estes sintomas tendem a piorar e podem interferir com a capacidade do trabalhador e suas atividades diárias. Os trabalhadores expostos à vibração podem exibir aumento nos limiares vibratórios, térmicos e tácteis. Tem sido sugerido que a vibração contínua pode não somente diminuir a excitabilidade dos receptores da pele, mas também induzir mudanças patológicas nos nervos dos dedos assim como edema perineural, seguido de fibrose e perda de fibras nervosas. Pesquisas epidemiológicas em trabalhadores expostos à vibração mostram que a prevalência de desordens neurológicas variam de poucos por cento a mais de 80 por cento, e que a perda sensorial afeta usuários de uma grande gama de tipos de ferramentas. Parece que a neuropatia neurológica desenvolve-se independentemente de outras desordens induzidas pela vibração. Uma escala para mensurar o componente neurológico para a síndrome devido a HAV, segundo Bovenzi Apud Stellman (1998), foi proposta no Workshop 86 em Stockholm consistindo de três estágios de acordo com os sintomas e os resultados de exames clínicos e testes objetivos.

Tabela 4a: Estágios neuro-sensoriais da Escala de Stockholm para a síndrome de vibração mão-braço.

Estágio	Sinais e Sintomas
0SN	Exposto a vibrações mas sem sintomas
1SN	Entorpecimento intermitente, mas sem perda de sensibilidade
2SN	Entorpecimento intermitente ou persistente, reduzida percepção sensorial
3SN	Entorpecimento intermitente ou persistente, reduzida discriminação táctil e/ou destreza manual

Um diagnóstico diferencial cuidadoso é sempre requerido para distinguir entre uma neuropatia devido à vibração de neuropatias adquiridas como síndrome do túnel do carpo (STC), uma desordem devido à compressão do nervo mediano que passa através do túnel da anatomia do pulso. STC parece ser uma desordem comum em certos grupos ocupacionais que utilizam ferramentas de vibração, tais como perfuradores de rocha e trabalhadores da indústria florestal. Acredita-se que tensões ergonômicas atuando na mão e pulso (movimentos repetitivos, empunhaduras com força e posturas difíceis de se manter), somadas à vibração, podem causar STC em trabalhadores que operem tais ferramentas manuais. Eletromiografias que meçam as velocidades de respostas dos nervos motores e sensoriais têm sido úteis em diferenciar a STC de outros tipos de desordens.

2.5.3.3 Muscular

Trabalhadores expostos à vibração podem queixar-se de fraqueza muscular e dor nas mãos e nos braços. Em alguns indivíduos, a fadiga muscular pode causar perda de habilidade. Uma diminuição na força para segurar as ferramentas tem sido reportada seguidamente em estudos referentes a lenhadores. Danos mecânicos diretos ou danos aos nervos periféricos têm sido sugeridos como possíveis fatores etológicos para os sintomas dos músculos. Outras desordens relacionadas ao trabalho têm sido reportadas em trabalhadores expostos a este tipo de vibração tais como tendinites, tenosinovites dos membros superiores e contratura de Dupuytren, uma doença do tecido facial da palma da mão. Estas desordens parecem estar relacionadas a fatores de estresse ergonômico oriundos de trabalhos manuais pesados e a sua associação com a vibração transmitida à mão ainda não é conclusiva.

2.5.4. Desordens Vasculares (Fenômeno de Raynauld)

Segundo Bovenzi Apud Stellman (1998), Giovanni Loriga, um médico Italiano, reportou primeiramente em 1911 que trabalhadores de pedreiras usando martelos pneumáticos em blocos de pedra e mármore em áreas de Roma, sofriam de ataques de dores nos dedos, lembrando a resposta vasoconstrictora associada ao frio ou estresse emocional descrito por Maurice Raynauld em 1862. Observações similares foram feitas por Alice Hamilton Apud Stellmann (1998) entre trabalhadores de pedreiras nos Estados Unidos, e mais tarde por diversos outros investigadores. Na literatura, vários sintomas e nomes tem sido usados para descrever as desordens vasculares induzidas por vibração: dedos brancos, síndrome de Raynauld de origem ocupacional, doença traumática vasopástica, e mas recentemente tem recebido o nome de Síndrome do dedos brancos

induzida por vibração. Clinicamente ela é caracterizada por episódios de dedos pálidos e brancos causados pelo fechamento das artérias dos dedos. Os ataques são usualmente iniciados pelo frio e duram de 5 a 40 min. Uma perda completa da sensibilidade pode ser experimentada durante o ataque. Na fase de recuperação, comumente acelerada pelo aquecimento ou massagem local, rubor pode aparecer nos dedos afetados como resultado do aumento de circulação de sangue nos vasos cutâneos. Em casos raros avançados, repetidos e severos ataques vasopásticos podem levar a mudanças tróficas (ulcerações ou gangrena) na pele das pontas dos dedos. Para explicar a Síndrome de Raynaud induzida pelo frio em trabalhadores expostos à vibração, alguns pesquisadores indicam um reflexo simpático exagerado vaso constritor causado pela exposição prolongada à vibração danosa. Outros pesquisadores tendem a enfatizar o papel das mudanças locais induzidas pela vibração nos vasos dos dedos (por exemplo, afinamento das paredes dos músculos, dano endotelial, mudanças funcionais nos receptores). Uma escala gradual de classificação da Síndrome dos dedos brancos, segundo Bovenzi Apud Stellman (1998), foi proposta no Workshop em Stockholm em 86.

Um sistema numérico foi desenvolvido por Griffin (1990) para classificar os sintomas e baseado numa pontuação de esbranquiçamento nas diferentes falanges. Diversos testes laboratoriais são usados para diagnosticar a Síndrome dos dedos brancos. Especificamente, a maioria destes testes é baseada no frio provocado e medições da temperatura da pele dos dedos, ou da circulação sanguínea, e pressão antes e depois do resfriamento dos dedos e das mãos. Estudos epidemiológicos têm apontado que a prevalência de Síndrome dos dedos brancos é muito abrangente, podendo variar de menos de 1% até 100%. Ela tem sido associada ao uso de ferramentas de percussão pneumáticas, outras ferramentas rotativas, martelos de percussão, e brocas usadas em escavação. Esta síndrome é reconhecida como doença em diversos países. Desde 1975 um decréscimo na incidência de novos casos desta síndrome tem sido reportado entre trabalhadores da indústria florestal tanto na Europa quanto Japão após a introdução de serras anti-vibração e da tomada de medidas administrativas quanto ao tempo de uso de tais serras.

Tabela 4b: Estágios do distúrbio dos dedos brancos (Raynaulds).

Estágio	Condições dos dedos	Prejuízos sociais e ocupacionais
0	Nenhuma descoloração nos dedos	Nenhum
OT ON	Formigamento intermitente, entorpecimento intermitente ou ambos	Nenhuma interferência nas atividades
1	Descoloração de um ou mais dedos com ou sem formigamento e dormência	Nenhuma interferência nas atividades
2	Descoloração de um ou mais dedos com dormência, usualmente expostos ao inverno	Pequena interferência em casa e nas atividades sociais; nenhuma interferência no trabalho
3	Descoloração extensiva, episódios freqüentes no verão e no inverno	Interferência definitiva no trabalho, em casa e nas atividades sociais
4	Descoloração extensiva, vários dedos, episódios freqüentes no verão e no inverno	Mudanças ocupacionais para evitar futuras exposições à vibração em função da severidade dos sintomas e sinais

Fonte: (Pelmear, 1998).

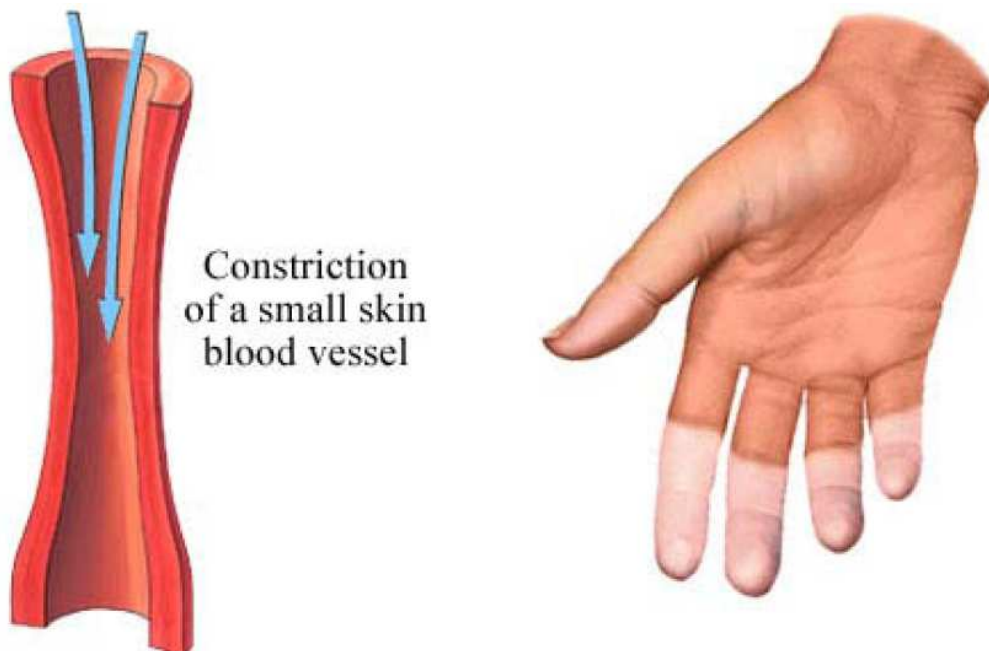


Figura 6: Vaso espasmo

Fonte: Apresentação Vibrações Vendrame Consultores e Associados

Os vasos espasmos causados pela vibração, como o mostrado na figura acima, reduzem o diâmetro das artérias até a completa obstrução, impedindo o fluxo sanguíneo e, com isso, causando um visível branqueamento destas regiões.

A exposição a vibrações localizadas pode também acarretar doenças do sistema osteomuscular e do tecido conjuntivo causando sintomas como dormência, formigamento, perda do tato, perda da força de agarramento e dificuldade para executar determinadas tarefas.

2.5.5. Outras Desordens

Alguns estudos indicam que nos trabalhadores afetados pela doença dos dedos brancos, a perda auditiva é maior que a esperada com base no envelhecimento natural e exposição ao uso de ferramentas que vibrem. Tem sido sugerido que a doença dos dedos brancos em trabalhadores pode ter um risco adicional a danos na audição devido ao reflexo simpático induzido de vasoconstrição nos vasos que fornecem sangue ao ouvido interno. Além de desordens periféricas, outros efeitos adversos à saúde envolvendo o sistema endócrino e nervoso central foram reportados em escolas de medicina ocupacional Russas e Japonesas (Griffin 1990). O quadro clínico chamado de “doença vibracional” inclui sinais e sintomas relacionados à disfunção dos centros autônomos do cérebro (por exemplo, fadiga persistente, dor de cabeça, irritabilidade, distúrbios do sono, impotência, anormalidades no eletroencefalograma). Estes achados devem ser interpretados com cautela e pesquisas epidemiológicas e clínicas são necessária para confirmar as hipóteses de associação entre as desordens do sistema nervoso central e a exposição dos trabalhadores à vibração transmitida ao sistema mão-braço.

3. METODOLOGIA

O presente capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados durante o desenvolvimento do trabalho com vistas ao objetivo proposto. Procedimentos estes que serão responsáveis pelo delineamento da pesquisa visando à obtenção de respostas.

Conforme Barros e Lehfel'd (2005, pág.11) “o conhecimento é uma atividade teórico-prática e/ou prático-teórica, já que a teoria orienta a ação e a prática estrutura e/ou realimenta a teoria”.

Por sua vez, segundo Gil (1999), o método é um caminho que leva a um objetivo. Já o método científico é um conjunto de procedimentos e técnicas adotadas para a obtenção do conhecimento.

Portanto, “o conhecimento científico é um processo desencadeado progressivamente, em função de vir a ser, e que emerge da coexistência ou da relação entre teoria e prática; sendo que a prática é o fundamento da teoria” (Barros e Lehfel'd, 2005, pág. 12)

Segundo Kerlinger (1999, p. 94), “a palavra delineamento focaliza a maneira pela qual um problema de pesquisa é concebido e colocado em uma estrutura que se torna guia para a experimentação, coleta de dados e análise”.

Esta pesquisa, quanto ao objetivo, caracteriza-se como um estudo do tipo exploratório, pois visa a proporcionar maior familiaridade com o problema (Beuren, 2003).

Pelo fato desta pesquisa se basear em três tipos de produtos, sendo todos eles relacionados a um único fabricante em questão, ou seja, concentrada em um único caso, não é possível portanto a generalização dos resultados.

Conforme salientado por Gil (1999, p.73): “O estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir conhecimentos amplos e detalhados do mesmo, tarefa praticamente impossível mediante os outros tipos de delineamentos considerados .”

No método do estudo de caso, leva-se em consideração, principalmente, a compreensão, como um todo, do assunto investigado. Todos os aspectos são investigados. Quando o estudo é intensivo, podem até aparecer relações que de outra forma não seriam descobertas (Fachin, 2003, p. 42).

Segundo Yin (2001), este é o método preferido quando se colocam questões do tipo "como" e "por que", sendo visto também como um método de investigação empírica de um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto real.

A investigação de um estudo de caso enfrenta uma situação tecnicamente única em que haverá muito mais variáveis de interesse do que pontos de dados, e, como resultado baseia-se em várias fontes de evidências, com dados precisando convergir em um formato de triângulo, e, como outro resultado, beneficia-se do desenvolvimento prévio de proposições teóricas para conduzir a coleta e a análise de dados (Yin, 2001, p. 32).

Do ponto de vista da forma de abordagem do problema, esta pesquisa pode ser classificada como quantitativa, por traduzir opiniões em números, e ao mesmo tempo qualitativa, pois em alguns pontos abordados não há como desvincular o mundo objetivo e a subjetividade (Faleiro, 2006)

Optou-se pelo método do estudo de caso, por se buscar uma aproximação com o assunto através do levantamento de informações no intuito de levar o pesquisador a conhecer mais a respeito, ou seja, realizar uma exploração intensiva e detalhada dentro do contexto do assunto estudado.

Para o desenvolvimento do trabalho serão coletados e analisados dados mediante experimento prático.

Estes dados serão utilizadas pelo autor, para dar origem a novas informações, como níveis de vibração transmitidos e serão confrontados com os níveis aceitos por norma.

4. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

4.1. Caracterização dos equipamentos utilizados

O transdutor normalmente utilizado para a medição de vibração é o acelerômetro piezoelétrico, que se caracteriza por ter uma banda dinâmica maior e boa linearidade. Os acelerômetros são altos geradores de sinal, não necessitam de fonte de potência e geram um sinal proporcional à aceleração.

Os elementos piezoelétricos produzem trabalho mecânico quando excitados eletricamente, ou podem gerar energia elétrica quando atuados mecanicamente.

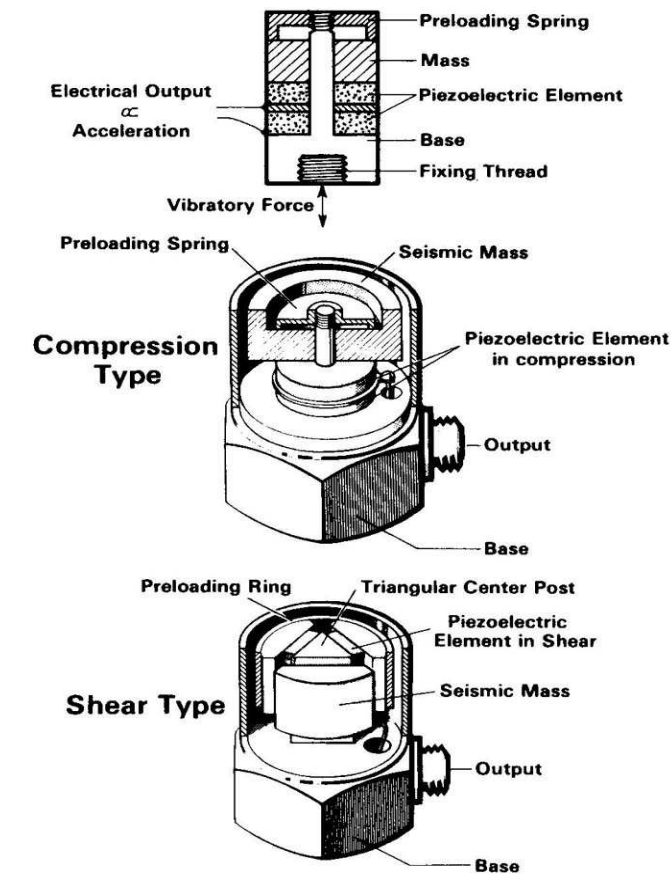


Figura 7: Acelerômetro piezoelétrico.

Fonte: www.feb.unesp.br/jcandido/vib/Apostila.doc

No estudo em questão foi utilizado um Acelerômetro triaxial marca Dytran modelo 3023A2, que pesa aproximadamente 4g e possui sensibilidade de 10mV/g em conjunto com um medidor de nível de vibração VI-400Pro.

O sistema utilizado está conforme as definições das normas ISO 8041, ISO 2631-1, ISO 5349 e ISO 10816 e é capaz de medir picos de aceleração de $0,003\text{m/s}^2$ a 798m/s^2 . O equipamento possui um erro de $\pm 0,7$ dB, e incerteza de 0,1%.

4.2. Caracterização das marretas analisadas

As marretas analisadas são produtos que possuem mesma origem, mas concepções de projetos diferentes.

O primeiro modelo possui cabo de alma de fibra pultrudrada, revestida por resina, com acabamento antiderrapante na empunhadura e montado com interferência em cabeça com olhal elíptico de cone simples.

O segundo modelo possui cabo de madeira montado com interferência em cabeça com olhal elíptico de cone simples.

Já o terceiro modelo possui cabo com estrutura interna metálica vulcanizada junto com a cabeça da marreta.

Todas as marretas em questão têm nominalmente o mesmo peso, 5 Kg, mas existe diferença significativa de peso entre o peso total delas (Tabela 5) devido ao tipo de material utilizado para a confecção dos cabos, como pode ser observado na tabela abaixo. Como as marretas em questão seguem os parâmetros definidos na norma DIN6475 e DIN1193, todos os três modelos possuem comprimento total (cabo mais corpo) de 800 mm, peso da cabeça variando entre 4,795 a 5,205 Kg e com as seguintes dimensões primárias 68x68x160mm.

Tabela 5: Marretas analisadas

Modelo	Cabo	Peso total (Kg)
	Fibra	6,2
	Madeira	5,7
	Aço + Borracha	7,4

5. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Como o objetivo do presente trabalho é comparar os níveis de vibração transmitido ao usuário pelos três modelos de marreta anteriormente descritos, foi projetado e construído um dispositivo capaz de repetir inúmeras vezes os impactos de intensidades semelhantes nos batentes das referidas ferramentas.

O dispositivo supracitado é capaz de fixar a marreta na região de empunhadura e esta fixação é capaz de girar, permitindo que o objeto possa rotar em relação ao eixo x conforme mostrado na figura 8.

Esquema do experimento

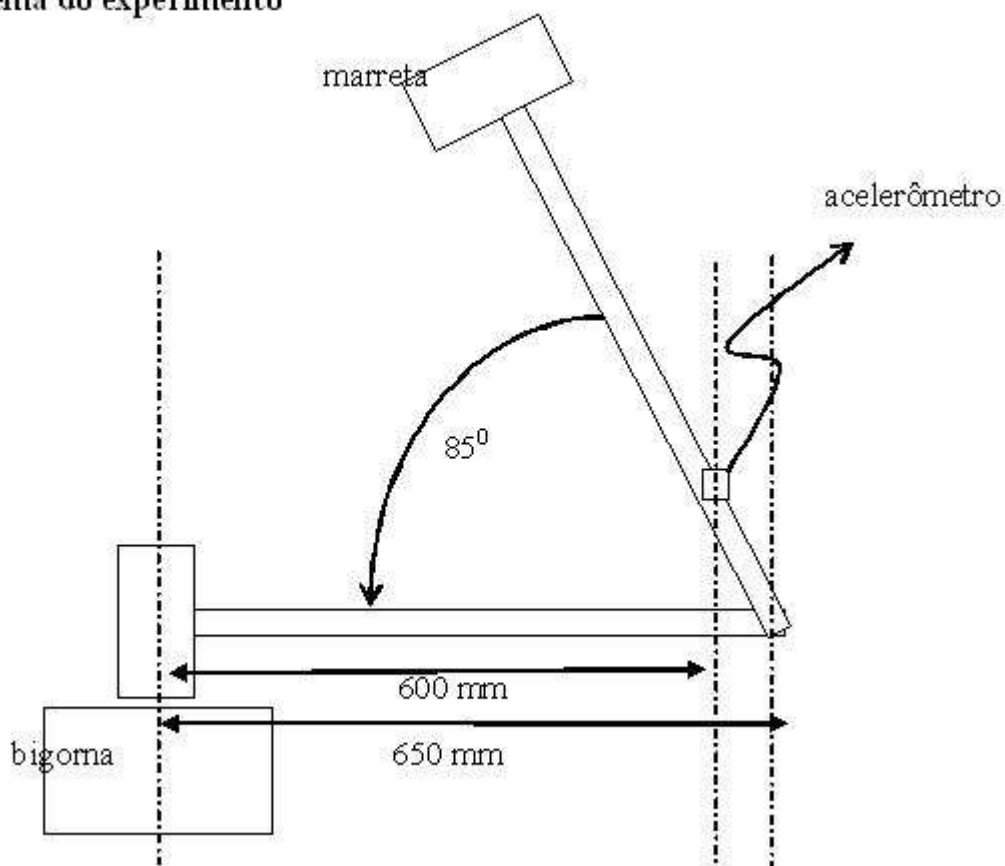


Figura 8: Esquema do protótipo de dispositivo para padronização dos impactos.

No teste cada marreta foi erguida até 85° , como mostra a figura 8, e posteriormente solta para que o impacto fosse resultado da queda do peso da própria marreta. Este procedimento foi repetido três vezes com cada um dos modelos de marreta.

No experimento foi utilizado um acelerômetro Piezoelétrico de 3 eixos, como mencionado no capítulo 4.1. Este foi fixado no cabo próximo da região de pega como pode ser visto na figura 9. Para o experimento foi utilizado o sistema de coordenadas definido pela ISO 5349.

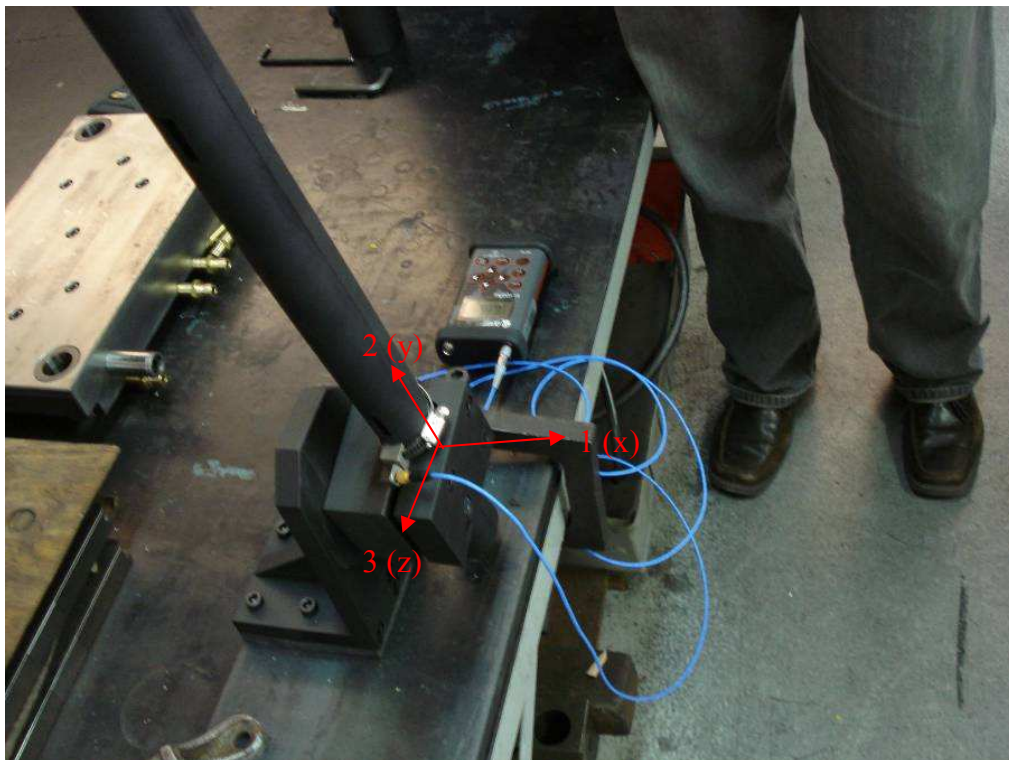


Figura 9: Foto do esquema de montagem dos acelerômetros no cabo da marreta e sistema de medição no protótipo de dispositivo para ensaio de impacto.

Um pino foi utilizado como trava do dispositivo. Uma vez retirado, iniciava-se a queda da marreta em direção ao batente.

6. RESULTADOS

Os dados obtidos nos testes realizados com a marreta com cabo de madeira podem ser visualizados no anexo IV, V e VI (arquivos @VIBHAV2, @VIBHAV3 e @VIBHAV4, respectivamente) e de forma resumida na tabela 6 e 7.

Da mesma forma os resultados dos testes com a marreta com cabo de fibra podem ser visualizados nos anexos X, XI e XII (arquivos @VIBHAV8, @VIBHAV9 e @VIBHAV10, respectivamente) e de forma resumida na tabela 8 e 9.

Já os resultados os testes com a marreta com cabo de aço e borracha por sua vez podem ser visualizados nos anexos VII, VIII e IX (arquivos @VIBHAV5, @VIBHAV6 e @VIBHAV7, respectivamente) e de forma resumida na tabela 10 e 11.

Tabela 6: Resultados do teste de marreta com cabo de madeira.

Marreta com cabo de madeira													
Medição	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Z1	Z2	Z3	SOMA 1	SOMA 2	SOMA 3	
Lpk	157,5796	211,5924	184,7141	168,4612	264,5453	289,4010	50,4081	85,8025	81,1895				m/s ²
P-P	226,4644	301,3006	261,8183	228,5599	368,9776	398,5658	83,0807	119,6741	118,8502				m/s ²
RMS	5,2602	7,8343	6,6145	4,7044	9,5280	10,1274	1,8302	3,2546	3,2174	7,2904	12,7574	12,5167	m/s ²
MTW	13,4431	18,5567	15,6675	12,0880	22,5424	23,9883	4,5499	7,4731	7,3621				m/s ²
CRF	29,9571	27,0085	27,9254	35,8096	27,7651	28,5759	27,5423	26,3633	25,2348				
K Factor	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
Max RMS	5,2602				9,5280	10,1274							m/s ²
A(8), Max RMS	0,0820				0,1375	0,1462				0,1137	0,1841	0,1807	m/s ²

Tabela 7: Marreta com cabo de madeira: tempo para atingir valores de exposição.

Marreta com cabo de madeira													
		X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Z1	Z2	Z3	SOMA 1	SOMA 2	SOMA 3
VAE	2,50 m/s ²	01:48	00:48	01:08	02:15	00:33	00:29	14:55	04:43	04:49	00:56	00:18	00:19
VLE	5,00 m/s ²	07:13	03:15	04:34	09:02	02:12	01:57	>24	18:52	19:19	03:45	01:13	01:16

Tabela 8: Resultados do teste de marreta com cabo de fibra.

Marreta com cabo de fibra													
Medição	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Z1	Z2	Z3	SOMA 1	SOMA 2	SOMA 3	
Lpk	263,9368	345,1437	271,3314	323,5937	354,8134	363,0781	138,9953	115,2126	106,6596				m/s ²
P-P	360,1638	471,5199	375,8374	461,3176	508,7448	519,9960	188,7991	163,4933	149,9685				m/s ²
RMS	9,0887	12,0921	9,7611	11,8168	12,9420	13,3660	3,8681	3,5563	3,2999	15,4014	18,0654	16,8765	m/s ²
MTW	21,5526	28,6748	23,1473	27,9898	30,5844	31,6592	9,0782	8,2509	7,6648				m/s ²
CRF	29,0402	28,5430	27,7971	27,3842	27,4157	27,1644	35,9335	32,3966	32,3221				
K Factor	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
Max RMS				11,8168	12,9420	13,3660							m/s ²
A(8), Max RMS				0,1706	0,1868	0,1929				0,2223	0,2608	0,2436	m/s ²

Tabela 9: Marreta com cabo de fibra: tempo para atingir valores de exposição.

Marreta com cabo de fibra													
		X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Z1	Z2	Z3	SOMA 1	SOMA 2	SOMA 3
VAE	2,50 m/s ²	00:36	00:20	00:31	00:21	00:17	00:16	03:20	03:57	04:35	00:12	00:09	00:10
VLE	5,00 m/s ²	02:25	01:22	02:05	01:25	01:11	01:07	13:22	15:48	18:22	00:50	00:36	00:42

Tabela 10: Resultados do teste de marreta com cabo de aço e borracha.

Marreta com cabo de aço e borracha													
Medição	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Z1	Z2	Z3	SOMA 1	SOMA 2	SOMA 3	
Lpk	68,7800	53,5797	54,7016	67,1429	66,8344	72,8618	157,2172	163,1173	169,8244				m/s ²
P-P	116,5467	104,2317	106,4143	117,6251	114,8154	120,6424	277,9713	279,8981	285,1018				m/s ²
RMS	1,1003	1,3583	1,3428	1,1350	1,3852	1,3980	2,0845	2,4746	2,5032	2,6161	3,1444	3,1660	m/s ²
MTW	3,3304	3,4277	3,3845	3,3768	3,4554	3,5035	6,3241	6,2734	6,3314				m/s ²
CRF	62,5173	39,4457	40,7380	59,1562	48,2503	52,1195	75,4223	65,9174	67,8422				
K Factor	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
Max RMS							2,0845	2,4746	2,5032				m/s ²
A(8), Max RMS							0,0388	0,0386	0,0390	0,0487	0,0490	0,0494	m/s ²

Tabela 11: Marreta com cabo aço e borracha: tempo para atingir valores de exposição.

Marreta com cabo de aço e borracha													
		X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Z1	Z2	Z3	SOMA 1	SOMA 2	SOMA 3
VAE	2,50 m/s ²	>24	>24	>24	>24	>24	>24	11:30	08:09	07:58	07:18	05:03	04:59
VLE	5,00 m/s ²	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24	20:13	19:57

7. CONCLUSÕES

Observando os dados expostos no capítulo anterior, pode-se dizer que a marreta com cabo de madeira tem um comportamento parecido com a marreta com cabo de borracha, pois em ambas marretas os picos de aceleração foram encontrados no eixo Y. Mas, ao mesmo tempo, não semelhantes, pois os valores de X e Z não são proporcionais em ambos os casos. Também não foi constatada nenhuma proporcionalidade entre o peso total da marreta e os valores de pico para estes casos, pois a diferença percentual entre os valores de pico é praticamente 3 vezes maior que a diferença percentual de peso.

Já a marreta com cabo de aço e borracha apresenta os maiores picos de aceleração no eixo Z e valores de pico muito parecidos entre si nos eixos X e Y.

Como nos três casos o peso da cabeça da marreta é igual, a diferença de peso está praticamente distribuída igualmente ao longo do cabo. Por isso também não é possível concluir que a energia de impacto nos três casos é diretamente proporcional ao peso, pois os centros de gravidade das marretas são diferentes nos três casos e conseqüentemente a altura de queda da massa equivalente não é a mesma.

Analisando as médias das acelerações RMS nos três casos (Tabela 12), pode-se concluir que a marreta com cabo de borracha é capaz de absorver a vibração transmitida ao usuário da marreta no mínimo 5,63 vezes mais que a marreta com cabo de fibra e 3,65 vezes mais que a com cabo de madeira. Estes valores acima mencionados seriam as relações diretas entre a média das acelerações, mas como o peso da marreta com cabo de aço e borracha é maior, a energia de impacto e, conseqüentemente, o pico de aceleração são maiores, o que nos leva a concluir que o poder de absorção desta marreta é superior a esta relação.

Tabela 12: Aceleração RMS média dos três experimentos.

Tipo de marreta	RMS (Média)	Peso (Kg)
Marreta com cabo de madeira	10,88 m/s ²	5,7
Marreta com cabo de fibra	16,78 m/s ²	6,2
Marreta com cabo de aço e borracha	2,98 m/s ²	7,4

No caso da marreta com cabo de madeira e a marreta com cabo de fibra, utilizando a mesma analogia, só é possível afirmar que a marreta com cabo de madeira absorve no máximo 35% a mais da vibração, pois neste caso o peso da marreta com cabo de fibra é superior ao da marreta com cabo de madeira.

Como pode ser observado na Tabela 13, estas relações refletem diretamente no tempo de exposição necessário para atingir os valores definidos na norma ISO 5349, mas não nas proporções anteriormente citadas.

Tabela 13: Tempo médio dos três experimentos para atingir valores (de ação e aceitável) de exposição.

Tipo de marreta	Aceleracao		Tempo
Marreta com cabo de madeira	VAE	2,50 m/s ²	00:31
	VLE	5,00 m/s ²	02:04
Marreta com cabo de fibra	VAE	2,50 m/s ²	00:10
	VLE	5,00 m/s ²	00:42
Marreta com cabo de aço e borracha	VAE	2,50 m/s ²	05:46
	VLE	5,00 m/s ²	>20

Sabe-se que os valores de acelerações encontrados no experimento não refletem a realidade, uma vez que em situação real as energias de impacto são provavelmente muito superiores às encontradas nesta situação de teste. Na situação real, as alturas envolvidas são muito maiores e existe não só a ação da gravidade na queda, uma aceleração forçada, criada pelo movimento do usuário, é somada à gravidade.

Com relação ao tempo necessário para atingir os valores de exposição máxima e o nível de ação, pode-se concluir que também não refletem a realidade, pois dependem dos valores de aceleração envolvidos. Tomando como base o fato de que as acelerações envolvidas em uma situação real são maiores, poder-se-ia afirmar que os tempos envolvidos seriam ainda menores, mas os tempos foram calculados com base na premissa de que todo o tempo de exposição seria a repetição seriada dos 6s medidos. Observando uma situação real, pode-se afirmar que fisicamente é praticamente impossível que alguém consiga efetuar uma sequência de batidas com ciclos de 6s, portanto pode-se concluir que a exposição à vibração será intermitente e, conseqüentemente, estes tempos não seriam necessariamente menores que os encontrados neste trabalho.

Pode-se então afirmar que a relação entre os níveis de vibração encontrados e apresentados na tabela 12 podem ser utilizados para comparação do poder de absorção a vibração dos modelos de marreta estudadas e com isso indicar o modelo que seria mais adequado aos trabalhos realizados com estas ferramentas. Por outro lado, não se pode dizer com base nestes resultados qual é o tempo de exposição máxima e o tempo necessário para se entrar no nível de ação, pois os dados não refletem fielmente a realidade.

7.1. Sugestão para futuras pesquisas

Este trabalho pode servir de base para uma pesquisa futura, na qual sejam mensuradas as vibrações transmitidas ao usuário de marreta em uma condição real. Neste caso, seriam obtidas as verdadeiras magnitudes de aceleração envolvidas no movimento e, realizando a medição em janelas de tempo maiores, poder-se-ia então obter os verdadeiros tempos necessários para atingir os limites oficiais de exposição.

Neste contexto não seriam possíveis comparações diretas entre os modelos de marretas, pois em situações reais se torna muito difícil repetir os movimentos diversas vezes da mesma forma. Neste caso, poder-se-ia então somente realizar a medição para um modelo e, com base nos dados do presente trabalho, estimar os valores para os demais.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BEUREN, Ilse Maria. (Org.) **Como elaborar Trabalhos Monográficos em Contabilidade: Teoria e Prática**. São Paulo: Atlas, 2003.
- [2] Diretiva Européia 202/44/EC do Parlamento Europeu e Conselho da União Européia de 25/06/2002. Jornal Oficial da Comunidade Européia, 06/07/2002.
- [3] FACHIN, Odília. **Fundamentos de Metodologia**. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2003.
- [4] FALEIRO, Sandro Nero. **Apresentação sobre Pesquisa Científica na cadeira de Metodologia da Pesquisa Científica ministrada no Curso de Controladoria e Finanças na UNIVATES**. Lajeado, 2006
- [5] BARROS, A. J. P.; LEHFELD N. A. S. **Projeto de pesquisa: propostas metodológicas**. Petrópolis: Vozes, 2005
- [6] GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5ª. Edição - São Paulo: Atlas, 1999.
- [7] GRIFFIN, M. J. **Handbook of Human Vibration**. 1ª. Edição – Londres: Academic Press Limited, 1990.
- [8] Guide to good practice on Hand-Arm Vibration. Version 7.7 English. Retirado do site: <http://www.fosterohs.com/EU%20Good%20Practice%20Guide%20on%20Hand-Arm%20Vibration%20V7.7%20-%20HSE%202006.pdf>
- [9] ISO 2631-1 Mechanical Vibration and Shock – Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration – Part 1: General Guidelines. Geneva, 1997
- [10] ISO 5349-1 Mechanical Vibration – Measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-Transmitted Vibration – Part 1: General Guidelines. Geneva, 2001.
- [11] ISO 8041: Human Response to Vibration – Measuring Instrumentation, Geneva, 2005.
- [12] KERLINGER, Fred Nichols. **Metodologia da pesquisa em ciências sociais: um tratamento conceitual**. São Paulo: EPU, 1980.
- [13] Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR 01**, redação dada pela portaria nº 6, de 1983. In: Manual de Legislação Atlas de Segurança e Medicina do trabalho, 62 ed., São Paulo: Atlas, 2008, 797 p.
- [14] Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR 15**, redação dada pela portaria nº 12 de 1983. In: Manual de Legislação Atlas de Segurança e Medicina do trabalho, 56 ed., São Paulo: Atlas, 2008, 797 p.

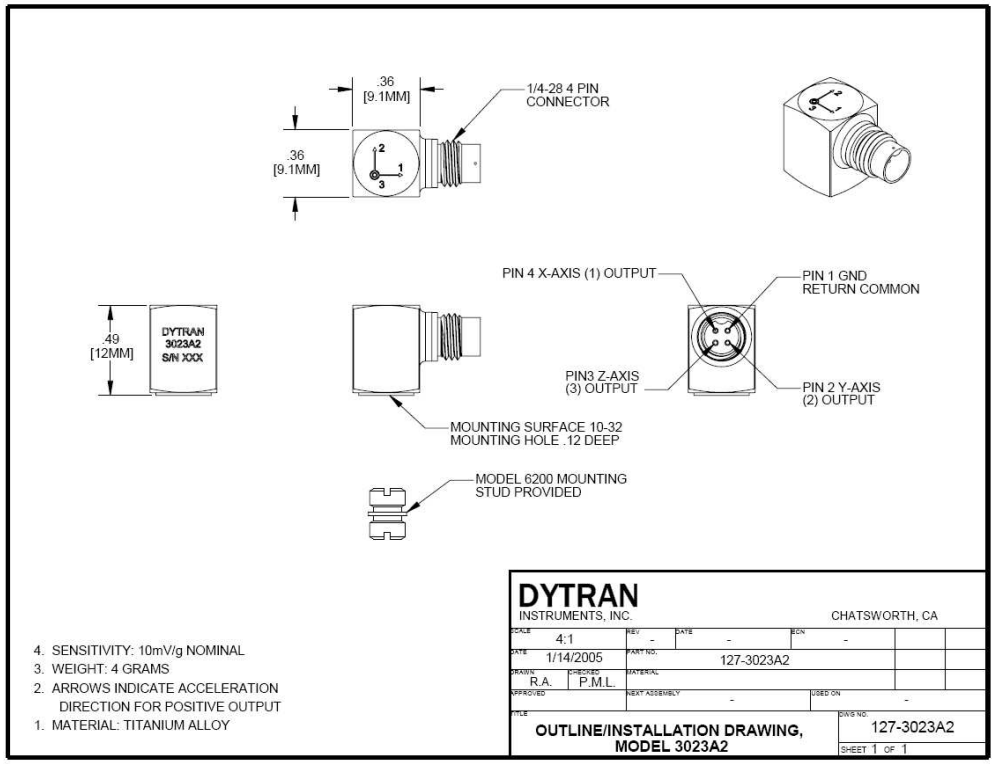
- [15] PELMEAR, P. L., WASSERMAN, D. E.. **Hand-arm vibration: a comprehensive guide for occupational health professionals**. 2nd ed. Beverly Farms, Massachusetts.: Oem Press, 1998.
- [16] PORTARIA FEDERAL Nº. 1.339/GM - MS, EM 18 DE NOVEMBRO DE 1999
- [17] REGAZZI, Rogério Dias; XIMENES, Gilmar Machado. **A IMPORTÂNCIA DA AVALIAÇÃO DA VIBRAÇÃO NO CORPO HUMANO**. Retirado do site: <http://www.isegnet.com.br/.../Rogerio%20e%20Gilmar%20artigo%20vibracao.doc>
- [18] SOUZA, Vinícius Aguiar de, 2002. **Análise de Impacto e Risco de Lesões no Segmento Superior Associados à Execução da Técnica de GYAKU TSUKI sobre MAKIWARA por Praticantes de KARATE DO Estilo SHOTOKAN**. Dissertação de mestrado, PROMEC-UFRGS.
- [19] STELLMAN, J. M., **Encyclopedia of Occupational Health and Safety**, Vol. II, 4th Edition, international labour office, Geneva, 1998
- [20] VENDRAME, Antonio Carlos e PIANELLI, Cristiane. **VIBRAÇÃO EM CORPO INTEIRO EM OPERADORES DE EMPILHADEIRAS**. Apresentação retirada do site http://www.abiquim.org.br/12cong/pdfs/cristiana_pianelli.pdf
- [21] VENDRAME Consultores e Associados: **Apresentação sobre Vibrações** retiradas do site <http://www.scribd.com/doc/6660241/VibracoesVendrame?page=32>
- [22] XIMENES, Gilmar Machado. **Gestão ocupacional do corpo humano, aspectos técnicos e legais relacionados à saúde e segurança**. Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em sistemas de gestão da Universidade Fluminense. Niterói, 2006.

ANEXOS

Tabela 14: Lista de doenças relacionadas ao trabalho

LISTA DE DOENÇAS RELACIONADAS AO TRABALHO DENTRE AS QUAIS A VIBRAÇÃO LOCALIZADA ESTA ENTRE A RELAÇÃO DE AGENTES OU FATORES DE RISCO DE NATUREZA OCUPACIONAL:	
DOENÇAS DO SISTEMA CIRCULATÓRIO	Síndrome de Raynaud
	Acrocianose e Acroparestesia
DOENÇAS DO SISTEMA OSTEOMUSCULAR E DO TECIDO CONJUNTIVO	Síndrome Cervicobraquial Outros transtornos articulares não classificados em outra parte: Dor Articular
	Fibromatose da Fascia Palmar: “Contratura ou Moléstia de Dupuytren”
	Lesões do Ombro : Capsulite Adesiva do Ombro (Ombro Congelado, Periartrite do Ombro); Síndrome do Manguito Rotatório ou Síndrome do Supraespinhoso; Tendinite Bicipital; Tendinite Calcificante do Ombro; Bursite do Ombro; Outras Lesões do Ombro; Lesões do Ombro, não especificadas
	Outras entesopatias: Epicondilite Medial; Epicondilite lateral (“Cotovelo de Tenista”); Mialgia
	Outros transtornos especificados dos tecidos moles
	Osteonecrose: Outras Osteonecroses secundárias
	Doença de Kienböck do Adulto (Osteocondrose do Adulto do Semilunar do Carpó) e outras Osteocondro-patias especificadas

Dados: PORTARIA FEDERAL Nº. 1.339/GM - MS, EM 18 DE NOVEMBRO DE 1999.



SPECIFICATIONS, MODEL 3023A2 TRIAXIAL ACCELEROMETER

SPECIFICATIONS	VALUE	UNITS
PHYSICAL		
WEIGHT	4	GRAMS
SIZE (HEIGHT x WIDTH x DEPTH)	0.49 x .36 x .36	INCHES
MOUNTING	10-32 TAPPED HOLE IN BASE	
CONNECTOR	4-PIN [1]	
MATERIAL, HOUSING/CONNECTOR	TITANIUM ALLOY	
PERFORMANCE		
SENSITIVITY, -10 +15% [2]	10.0	mV/G
RANGE, F.S. (each axis)	+/- 500	G
FREQUENCY RESPONSE, -5 / +15%	1.5 to 10000	Hz
ELEMENT NATURAL FREQUENCY, NOM.	40	kHz
EQUIVALENT ELECTRICAL NOISE	.0095	G, RMS
LINEARITY [3]	1	%F.S.
TRANSVERSE SENSITIVITY, MAX.	5	%
SIGNAL POLARITY	POSITIVE FOR MOTION IN DIRECTION OF ARROWS ON HOUSING	
ENVIRONMENTAL		
MAXIMUM VIBRATION	+/- 600	G
MAXIMUM SHOCK	5000	G
TEMPERATURE RANGE	-80 to +250	°F
ENVIRONMENTAL SEAL	HERMETIC	
COEFFICIENT OF THERMAL SENSITIVITY	.03	%/°F
ELECTRICAL		
SUPPLY CURRENT RANGE, (each axis) [4]	2-to 20	mA
COMPLIANCE (SUPPLY) VOLTAGE RANGE (each axis)	+18 to +30	VDC
OUTPUT IMPEDANCE, TYP.	100	OHMS
OUTPUT BIAS VOLTAGE, NOM.	+10	VDC
DISCHARGE TIME CONSTANT, NOM.	0.3	SEC
GROUND ISOLATION	CASE GROUNDED	

[1] Connector mates with Dytran cable assy. Model 6811Axx. (xx = length in feet)
 [2] Reference sensitivity measured at 100 Hz, 1 G RMS per ISA RP 37.2
 [3] Linearity is % of specified full scale (or any lesser full scale range), zero-based best fit straight line method.
 [4] Power only with Dytran L1VM power unit or other Dytran-compatible constant current type power unit. If power is applied without current limiting protection, the internal amplifier will be immediately destroyed.

Figura 10: Dados do Acelerômetro triaxial Dytran MODEL3023A2 utilizado nas medições.

C.3. SPECIFICATIONS OF VI-400Pro AS VIBRATION LEVEL METER / ANALYZER

System Configuration:

- VI-400Pro
- 072-026 Tri-Axial HAV accelerometer

System conforms to the ISO 8041, ISO 2631-1, ISO 5349 and ISO 10816 standards.

Measurement ranges for the acceleration:

2 ranges with the nominal values: 17.8 ms⁻², 316 ms⁻² (145 dB, 170 dB related to 10⁻² ms⁻²).

Values of the measured acceleration:

• linear measurement (with the HP1 filter): the measurement ranges for the distance from noise > 6 dB from 0.003 ms⁻² to 596 ms⁻² (the sinusoidal signal RMS), from 0.03 ms⁻² to 798 ms⁻² (PEAK).

RANGE (RMS)	Measurement ranges	
17.8 ms ⁻² (145.0 dB)	from 3.16 mms ⁻² (70.0 dB)	to 56.2 ms ⁻² (155.0 dB)
316 ms ⁻² (170.0 dB)	from 33 mms ⁻² (90.0 dB)	to 1000 ms ⁻² (180.0 dB)

• linear measurement (with the HP3 filter): the measurement ranges for the distance from noise > 6 dB from 0.001 ms⁻² to 596 ms⁻² (the sinusoidal signal RMS), from 0.01 ms⁻² to 798 ms⁻² (PEAK).

RANGE (RMS)	Measurement ranges	
17.8 ms ⁻² (145.0 dB)	from 1 mms ⁻² (80.0 dB)	to 56.2 ms ⁻² (155.0 dB)
316 ms ⁻² (170.0 dB)	from 10 mms ⁻² (90.0 dB)	to 1000 ms ⁻² (180.0 dB)

• linear measurement (with the HP10 filter): the measurement ranges for the distance from noise > 6 dB from 0.0003 ms⁻² to 596 ms⁻² (the sinusoidal signal RMS), from 0.003 ms⁻² to 798 ms⁻² (PEAK).

RANGE (RMS)	Measurement ranges	
17.8 ms ⁻² (145.0 dB)	from 0.5 mms ⁻² (54.0 dB)	to 56.2 ms ⁻² (155.0 dB)
316 ms ⁻² (170.0 dB)	from 10 mms ⁻² (90.0 dB)	to 1000 ms ⁻² (180.0 dB)

NOTICE: In the measurement of the signal with the crest factor $n > 1.41$ the upper measurement range for the RMS value is reduced. Its value can be calculated from the equation:

$$A_{RMS} = A + 10 \cdot 20 \log(n) \text{ [dB]}, \text{ where } A \text{ is the given range for the sinusoidal signal.}$$

E.g. for $n = 10$ and $A = 140$ the value of A_{RMS} is equal to -133 dB.

Notice: In the measurement conditions with the strong electromagnetic disturbance (e.g. near the high-voltage transient action lines) the lower measurement limit can be drastically shifted as the result of the external field influence on the measurement cables. In such cases the careful shielding of the measurement cables is strongly recommended. It is worth to underline that the estimation of the external influence can be performed in-site by the observations of the measurement signal spectrum.

Basic accuracy: ± 0.2 dB for the temperature $T = 23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ for sinusoidal signal
140 dB rms in the band 10 Hz \pm 20 kHz with the HP10 input filter.

Measurement error in the full temperature range:
 ± 0.3 dB when the temperature is from -10°C to $+50^{\circ}\text{C}$ for the sinusoidal signal 140 dB rms in the band 10 Hz \pm 20 kHz with the HP10 input filter.

Input divider accuracy: ± 0.1 dB.

Amplitude indication stability: ± 0.1 dB.

Accuracy and stability of the frequency indication: 0.01 %.

Digital filters

Low-pass filters: 8 eighth-order elliptic filters with the cut-off frequencies from 10 kHz to 78.125 kHz in the binary sequence. Ripple in the pass band: ± 0.1 dB. Attenuation in the stop band: > 100 dB.

High-pass filters (only for the vibration level meter): HP1 filter (see appendix D.2 for the filter characteristics), HP3 filter (see appendix D.2 for the filter characteristics), HP10 filter (see appendix D.2 for the filter characteristics).

1/1 OCTAVE filters: 15 sixth-order elliptic filters with the center frequencies from 1 Hz to 16 kHz conforming to the DIN 45661, IEC 1280 (Type 1) and ANSI S1.11-1986 standards.

1/3 OCTAVE filters: 45 sixth-order elliptic filters with the center frequencies from 0.8 Hz to 20 kHz conforming to the DIN 45661, IEC 1280 (Type 1) and ANSI S1.11-1986 standards.

Weighting filters (only for the vibration level meter):

- W-Bay from 1 Hz to 330 Hz; with 6 dB / octave slope (cf. App. D.2 for the filter characteristics).
- W-Bz from 3 Hz to 1000 Hz; with 6 dB / octave slope (cf. App. D.2 for the filter characteristics).
- W-A from 1 Hz to 330 Hz; with 6 dB / octave slope (cf. App. D.2 for the filter characteristics).
- W-Bo from 3 Hz to 1000 Hz; with 6 dB / octave slope (cf. App. D.2 for the filter characteristics).
- KB from 10 Hz to 3000 Hz; with 6 dB / octave slope (cf. App. D.2 for the filter characteristics).
- WK from 1 Hz to 18 Hz; with 12 dB / octave slope (cf. App. D.2 for the filter characteristics).
- WD from 3 Hz to 18 Hz; with 12 dB / octave slope (cf. App. D.2 for the filter characteristics).
- Ws from 3 Hz to 57 Hz; with 12 dB / octave slope (cf. App. D.2 for the filter characteristics).
- WJ from 10 Hz to 181 Hz; with 12 dB / octave slope (cf. App. D.2 for the filter characteristics).

Special filter: Filter for the evaluation of the state of machines:

VelMF: 10 Hz to 1000 Hz; conforms to the ISO 10816 standard (see appendix D.2 for the filter characteristic).

RMS detector: Digital with 0.1 dB sampling step.

PEAK and P-P detectors: Digital with 0.1 dB sampling step.

Frequency range for the acceleration measurement (±4-10%):
0.5 Hz \pm 5 kHz in the linear measurements with the HP1 filter.

Notice: With the application of another vibration transducer the frequency range given above for the HP1 filter can be different (wide).

Basic error for the acceleration measurement: ± 0.7 dB.

Instrument's pre-heating time: 1 minute.

Measurement channels calibration:

Direct: by the measurement of the standard signal generated by the external vibration calibrator.
Digital: by the declaration of the transducer's sensitivity.

Accelerometer inputs:

Connectors: 1 x LEMO EN6.08.304 CLM pin (plus 1 x TNC for auxiliary transducer),
Impedance (each channel): 40 k Ω / 100 pF (typical).
Vibration transducers powering: 28 V / 2.5 mA current source.
Range of the measured voltage: Lower level -filter depended (see below); Upper level: 7.5 Vrms (137 dB related to 1 μ Vrms or 177 dB related to 1 μ m/s rms).

Internal noise level:

Wideband noise level measured with the voltage input short-circuit (20 kHz band):

- with the HP1 filter: < 17 μ Vrms (see appendix D.2 for the filter characteristics);
- with the HP3 filter: < 17 μ Vrms (see appendix D.2 for the filter characteristics);
- with the HP10 filter: < 17 μ Vrms (see appendix D.2 for the filter characteristics);
- with the W-Bay filter: < 3 μ Vrms (see appendix D.2 for the filter characteristics);
- with the W-Bz filter: < 3 μ Vrms (see appendix D.2 for the filter characteristics);
- with the W-A filter: < 3 μ Vrms (see appendix D.2 for the filter characteristics);
- with the W-Bo filter: < 3 μ Vrms (see appendix D.2 for the filter characteristics);
- with the KB filter: < 85 μ Vrms (see appendix D.2 for the filter characteristics);
- with the WK filter: < 3 μ Vrms (see appendix D.2 for the filter characteristics);
- with the WD filter: < 3 μ Vrms (see appendix D.2 for the filter characteristics);
- with the Ws filter: < 3 μ Vrms (see appendix D.2 for the filter characteristics);
- with the WJ filter: < 3 μ Vrms (see appendix D.2 for the filter characteristics);
- with the VelMF filter: < 3 μ Vrms (see appendix D.2 for the filter characteristics).

Maximum input voltage:

The VI-400Pro is the instrument with the 2nd security class according to the international standard IEC 348. The input voltage should be within the range from 0 V to 28 V.

Crosstalk between channels: < -80 dB @ 1 kHz.

Overload detection: The instrument has the built-in overload detectors. The overload in each of four measurement channels (in analog part) and in their analog-to-digital converters are independently detected.

Antialiasing filters:

Pass band (-1 dB): 24.2 kHz, Stop band: 27.1 kHz, Attenuation in the stop band: > 70 dB.

Sampling frequency: internal -51.2 kHz.

Analog/Digital conversion: 2x20 bits resolution.

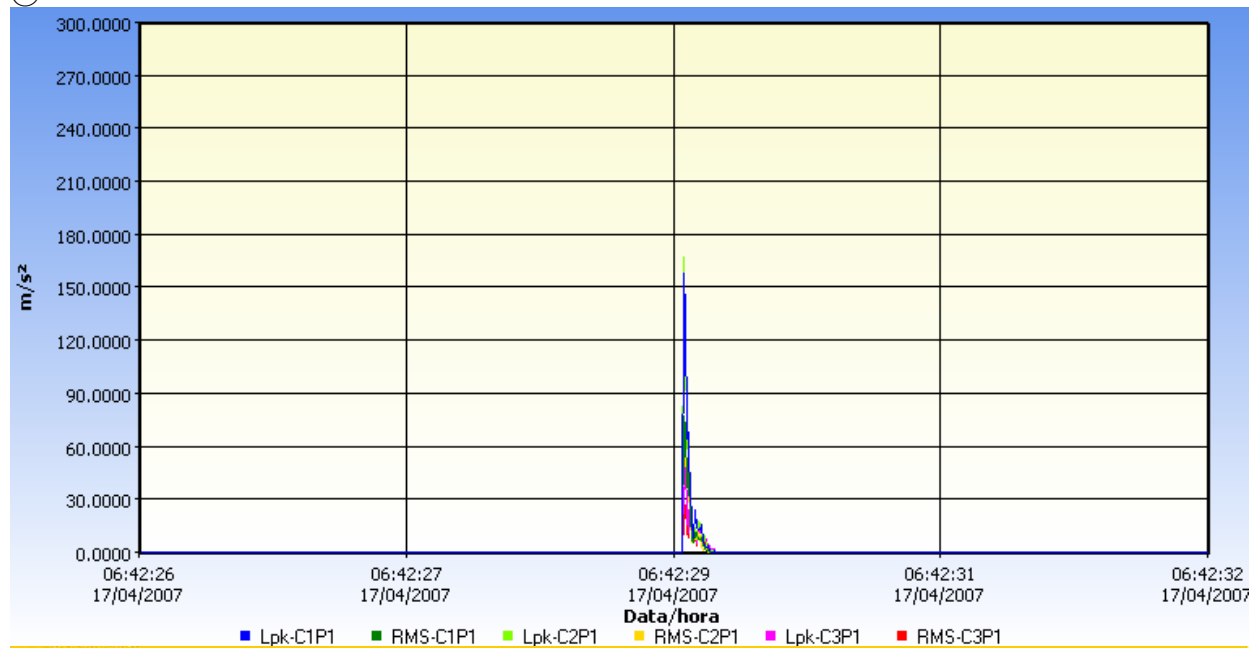
Total linearity error: from 0 dB to 90 dB below the full scale ± 0.5 dB (170 dB range with the HP10 filter).

Reference range: 170 dB.

Level indication range: from -100 dB to +10.2 dB related to the nominal range level.

Figura 11: Especificações técnicas do VI-400PRO (Quest Technologies).

@VIBHAV2



@VIB2

Layout personalizado

Calculador de exposição

Run Time 00:00:07

Medição	X	Y	Z	Soma	Unidades
Lpk	157,5796	168,4612	50,4081		m/s ²
P-P	226,4644	228,5599	83,0807		m/s ²
RMS	5,2602	4,7044	1,8302	7,2904*	m/s ²
MTVV	13,4431	12,0088	4,5499		m/s ²
CRF	29,9571	35,8096	27,5423		
<hr/>					
K Factor	1,0	1,0	1,0		
Max RMS	5,2602*				m/s ²
A(8). Max RMS	0,0820*			0,1137*	m/s ²

RMS

Calcular! (* as medições utilizam fator k)

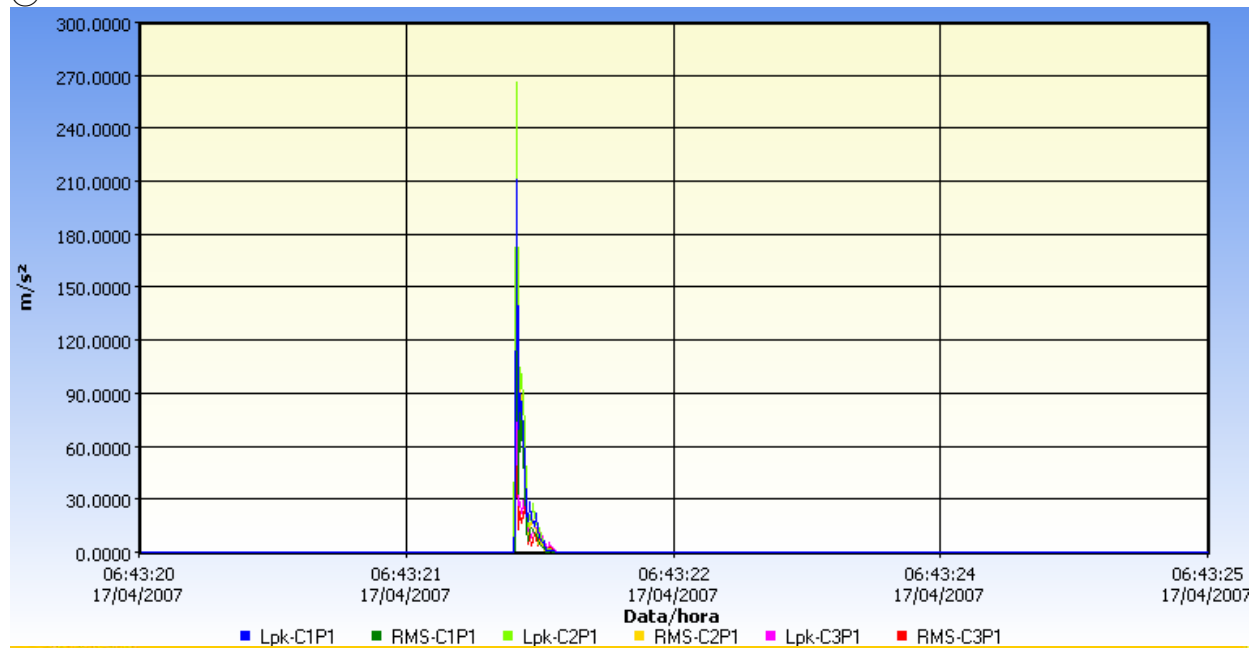
Tempo para atingir valores de exposição se:

	X	Y	Z	Soma	
VAE =	2,50 m/s ² (8 horas)	01:48"	02:15"	14:55"	00:56" hh:mm
VLE =	5,00 m/s ² (8 horas)	07:13"	09:02"	>24"	03:45" hh:mm

A(8) equivalente se:

	X	Y	Z	Soma	
Tempo de exposição =	08:00" hh:mm	5,2602"	4,7044"	1,8302"	7,2904" m/s ²

@VIBHAV3



@VIB3

Layout personalizado

Calculador de exposição

Run Time 00:00:06

Medição	X	Y	Z	Soma	Unidades
Lpk	211,5924	264,5453	85,8025		m/s ²
P-P	301,3006	368,9776	119,6741		m/s ²
RMS	7,8343	9,5280	3,2546	12,7574*	m/s ²
MTVV	18,5567	22,5424	7,4731		m/s ²
CRF	27,0085	27,7651	26,3633		
K Factor	1,0	1,0	1,0		
Max RMS		9,5280*			m/s ²
A(8), Max RMS		0,1375*		0,1841*	m/s ²

RMS

Calcular! (* as medições utilizam fator k)

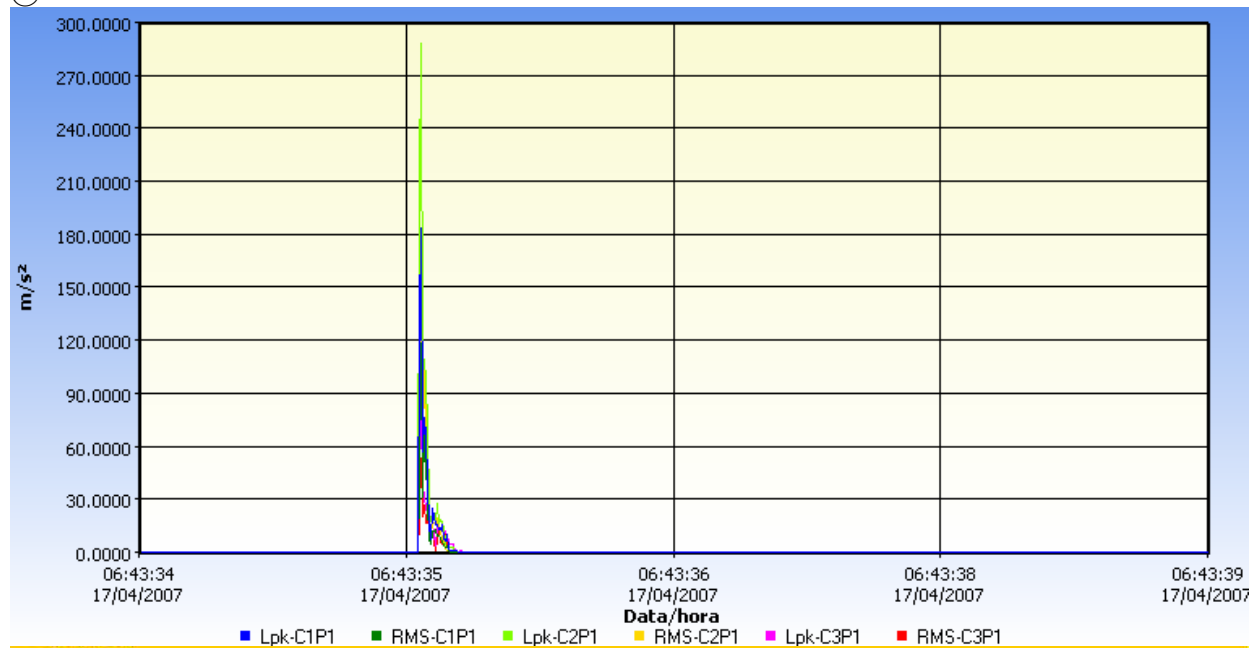
Tempo para atingir valores de exposição se:

	X	Y	Z	Soma	
VAE =	2,50 m/s ² (8 horas)	00:48°	00:33°	04:43°	00:18° hh:mm
VLE =	5,00 m/s ² (8 horas)	03:15°	02:12°	18:52°	01:13° hh:mm

A(8) equivalente se:

	X	Y	Z	Soma	
Tempo de exposição =	08:00 hh:mm	7,8343°	9,5280°	3,2546°	12,7574° m/s ²

@VIBHAV4



@VIB4

Layout personalizado

Calculador de exposição

Run Time 00:00:06

Medição	X	Y	Z	Soma	Unidades
Lpk	184,7141	289,4010	81,1895		m/s ²
P-P	261,8183	398,5658	118,8502		m/s ²
RMS	6,6145	10,1274	3,2174	12,5167*	m/s ²
MTVV	15,6675	23,9883	7,3621		m/s ²
CRF	27,9254	28,5759	25,2348		
K Factor	1,0	1,0	1,0		
Max RMS		10,1274*			m/s ²
A(8), Max RMS		0,1462*		0,1807*	m/s ²

RMS

Calcular! (* as medições utilizam fator k)

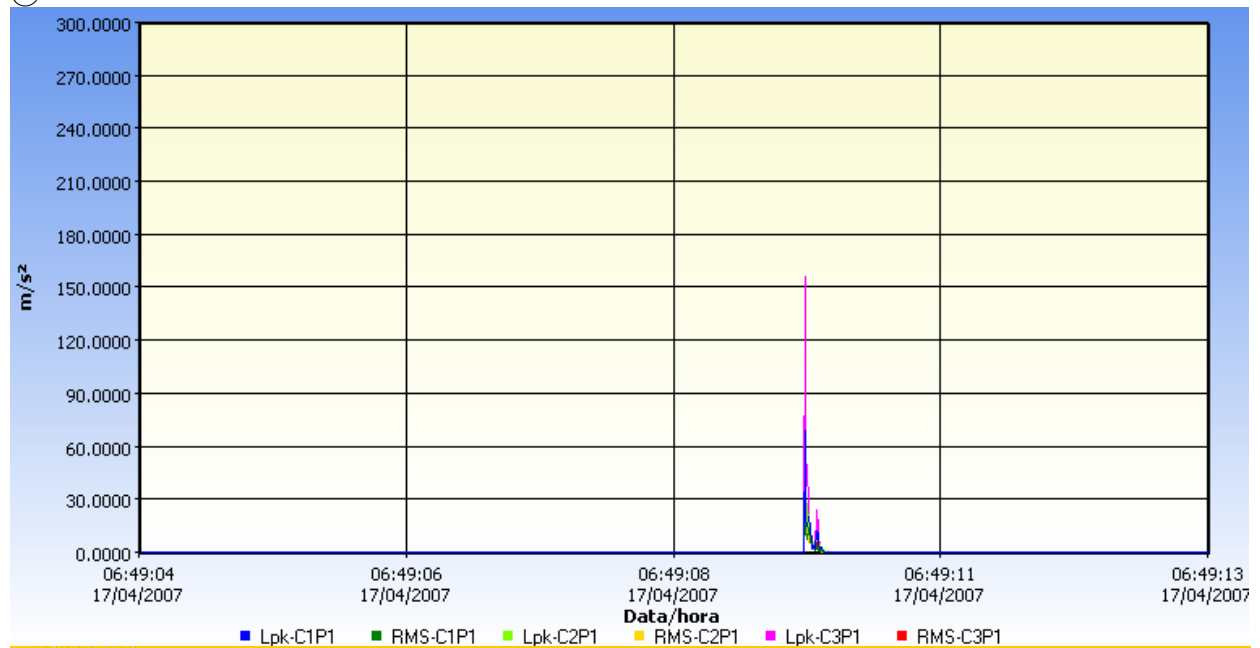
Tempo para atingir valores de exposição se:

	X	Y	Z	Soma	
VAE =	2,50 m/s ² (8 horas)	01:08"	00:29"	04:49"	00:19" hh:mm
VLE =	5,00 m/s ² (8 horas)	04:34"	01:57"	19:19"	01:16" hh:mm

A(8) equivalente se:

	X	Y	Z	Soma	
Tempo de exposição =	08:00 hh:mm	6,6145"	10,1274"	3,2174"	12,5167" m/s ²

@VIBHAV5



@VIB5

Layout personalizado

Calculador de exposição

Run Time 00:00:10

Medição	X	Y	Z	Soma	Unidades
Lpk	68,7860	67,1429	157,2172		m/s^2
P-P	116,5467	117,6251	277,9713		m/s^2
RMS	1,1003	1,1350	2,0845	2,6161*	m/s^2
MTVV	3,3304	3,3768	6,3241		m/s^2
CRF	62,5173	59,1562	75,4223		
K Factor	1,0	1,0	1,0		
Max RMS			2,0845*		m/s^2
A(8), Max RMS			0,0388*	0,0487*	m/s^2

RMS

Calcular! (* as medições utilizam fator k)

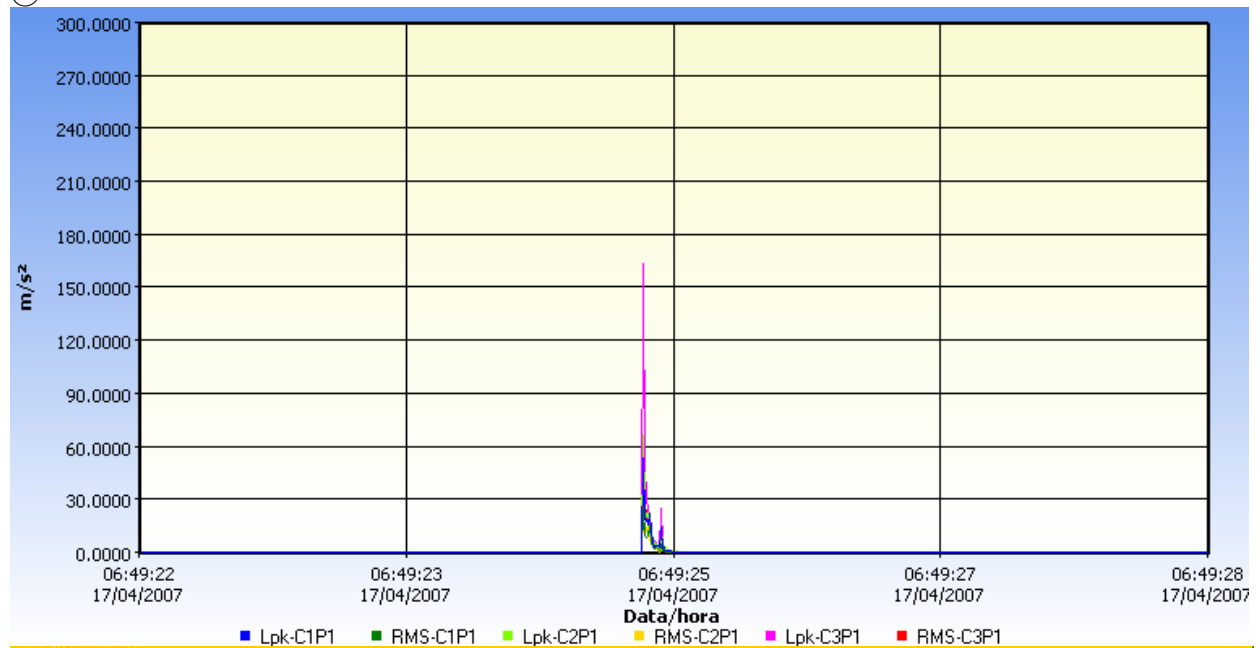
Tempo para atingir valores de exposição se:

	X	Y	Z	Soma	
VAE =	2,50 m/s^2 (8 horas)	>24*	>24*	11:30*	07:18* hh:mm
VLE =	5,00 m/s^2 (8 horas)	>24*	>24*	>24*	>24* hh:mm

A(8) equivalente se:

	X	Y	Z	Soma	
Tempo de exposição =	08:00 hh:mm	1,1003*	1,1350*	2,0845*	2,6161* m/s^2

@VIBHAV6



@VIB6

Layout personalizado

Calculador de exposição

Run Time 00:00:07

Medição	X	Y	Z	Soma	Unidades
Lpk	53,5797	66,8344	163,1173		m/s²
P-P	104,2317	114,8154	279,8981		m/s²
RMS	1,3583	1,3852	2,4746	3,1444*	m/s²
MTVV	3,4277	3,4554	6,2734		m/s²
CRF	39,4457	48,2503	65,9174		
K Factor	1,0	1,0	1,0		
Max RMS			2,4746*		m/s²
A(8), Max RMS			0,0386*	0,0490*	m/s²

RMS

Calcular! (* as medições utilizam fator k)

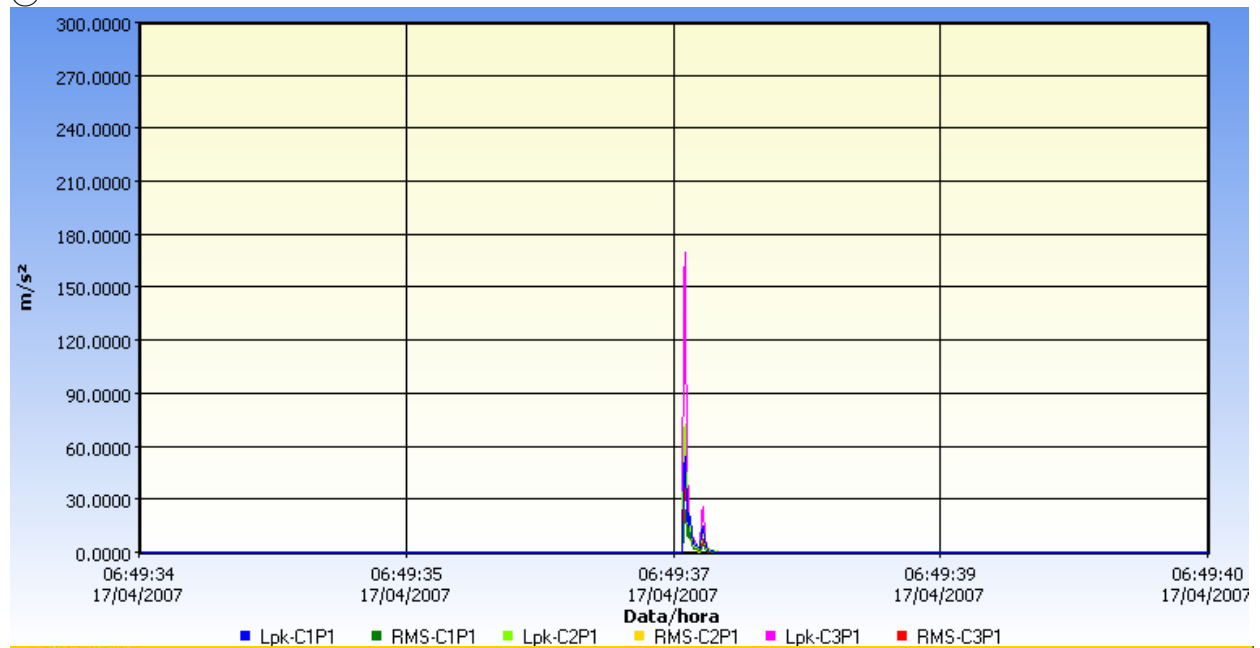
Tempo para atingir valores de exposição se:

	X	Y	Z	Soma	
VAE =	2,50 m/s2 (8 horas)	>24*	>24*	08:09*	05:03* hh:mm
VLE =	5,00 m/s2 (8 horas)	>24*	>24*	>24*	20:13* hh:mm

A(8) equivalente se:

	X	Y	Z	Soma	
Tempo de exposição =	08:00 hh:mm	1,3583*	1,3852*	2,4746*	3,1444* m/s²

@VIBHAV7



@VIB7

Layout personalizado

Calculador de exposição

Run Time 00:00:07

Medição	X	Y	Z	Soma	Unidades
Lpk	54,7016	72,8618	169,8244		m/s^2
P-P	106,4143	120,6424	285,1018		m/s^2
RMS	1,3428	1,3980	2,5032	3,1660*	m/s^2
MTVV	3,3845	3,5035	6,3314		m/s^2
CRF	40,7380	52,1195	67,8422		
K Factor	1,0	1,0	1,0		
Max RMS			2,5032*		m/s^2
A(8), Max RMS			0,0390*	0,0494*	m/s^2

RMS

Calcular! (* as medições utilizam fator k)

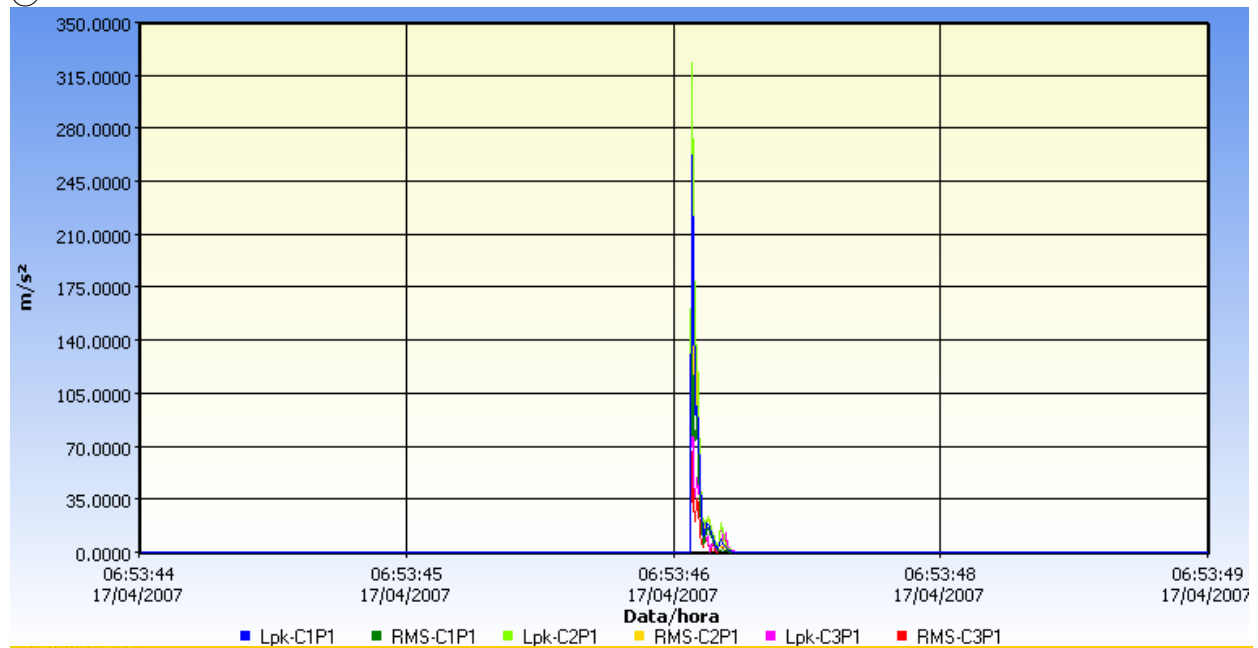
Tempo para atingir valores de exposição se:

	X	Y	Z	Soma	
VAE =	2,50 m/s^2 (8 horas)	>24*	>24*	07:58*	04:59* hh:mm
VLE =	5,00 m/s^2 (8 horas)	>24*	>24*	>24*	19:57* hh:mm

A(8) equivalente se:

	X	Y	Z	Soma	
Tempo de exposição =	08:00 hh:mm	1,3428*	1,3980*	2,5032*	3,1660* m/s^2

@VIBHAV8



@VIB8

Layout personalizado

Calculador de exposição

Run Time 00:00:06

Medição	X	Y	Z	Soma	Unidades
Lpk	263,9368	323,5937	138,9953		m/s ²
P-P	360,1638	461,3176	188,7991		m/s ²
RMS	9,0887	11,8168	3,8681	15,4014*	m/s ²
MTVV	21,5526	27,9898	9,0782		m/s ²
CRF	29,0402	27,3842	35,9335		
<hr/>					
K Factor	1,0	1,0	1,0		
Max RMS		11,8168*			m/s ²
A(8). Max RMS		0,1706*		0,2223*	m/s ²

RMS

Calcular (* as medições utilizam fator k)

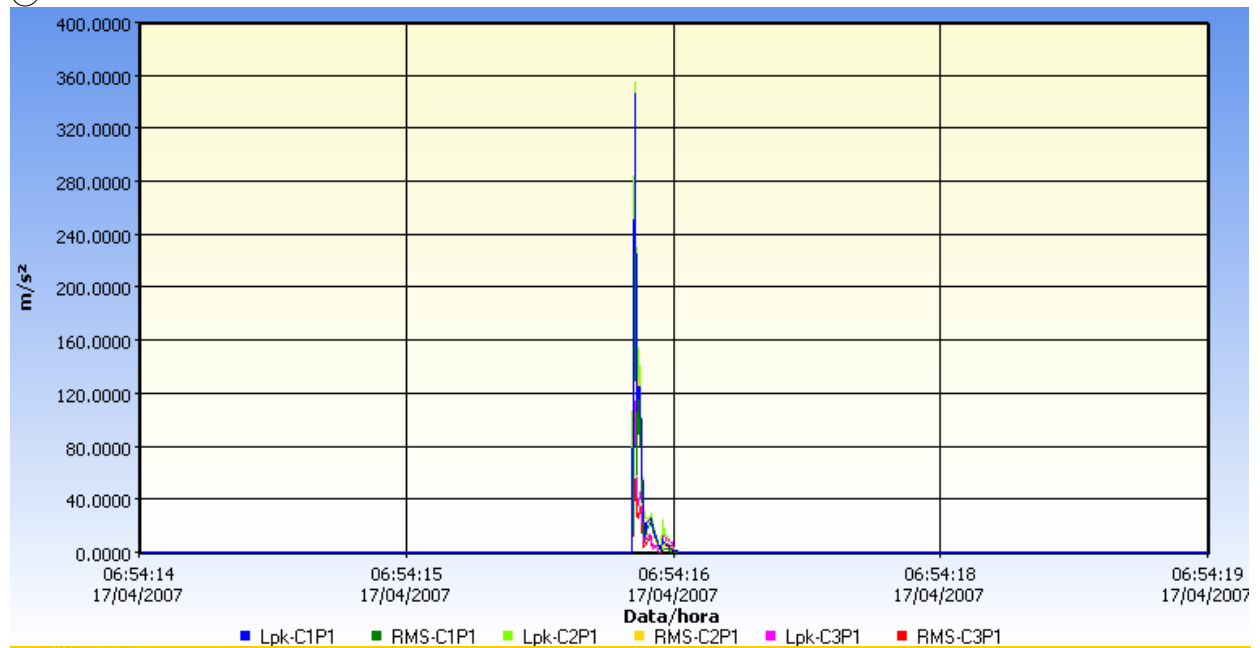
Tempo para atingir valores de exposição se:

	X	Y	Z	Soma	
VAE =	2,50 m/s ² (8 horas)	00:36*	00:21*	03:20*	00:12* hh:mm
VLE =	5,00 m/s ² (8 horas)	02:25*	01:25*	13:22*	00:50* hh:mm

A(8) equivalente se:

	X	Y	Z	Soma	
Tempo de exposição =	08:00 hh:mm	9,0887*	11,8168*	3,8681*	15,4014* m/s ²

@VIBHAV9



@VIB9

Layout personalizado

Calculador de exposição

Run Time 00:00:06

Medição	X	Y	Z	Soma	Unidades
Lpk	345,1437	354,8134	115,2126		m/s^2
P-P	471,5199	508,7448	163,4933		m/s^2
RMS	12,0921	12,9420	3,5563	18,0654*	m/s^2
MTVV	28,6748	30,5844	8,2509		m/s^2
CRF	28,5430	27,4157	32,3966		
<hr/>					
K Factor	1,0	1,0	1,0		
Max RMS		12,9420*			m/s^2
A(8), Max RMS		0,1868*		0,2608*	m/s^2

RMS

Calcular! (* as medições utilizam fator k)

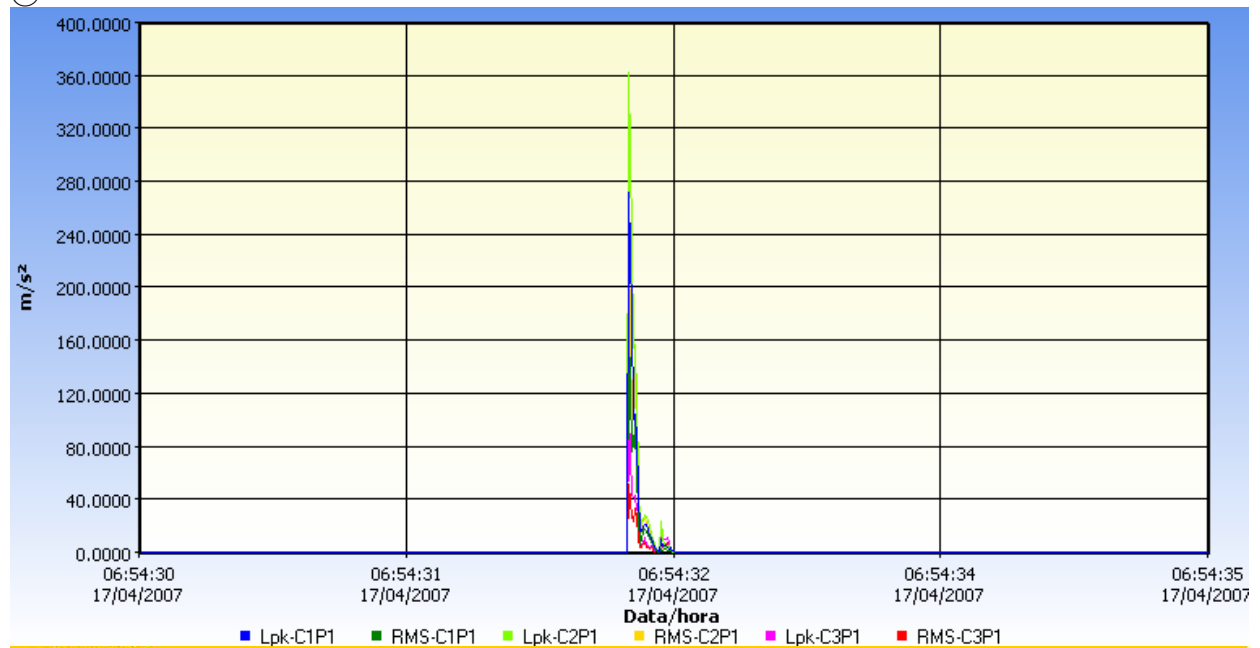
Tempo para atingir valores de exposição se:

	X	Y	Z	Soma	
VAE =	2,50 m/s^2 (8 horas)	00:20*	00:17*	03:57*	00:09* hh:mm
VLE =	5,00 m/s^2 (8 horas)	01:22*	01:11*	15:48*	00:36* hh:mm

A(8) equivalente se:

	X	Y	Z	Soma	
Tempo de exposição =	08:00* hh:mm	12,0921*	12,9420*	3,5563*	18,0654* m/s^2

@VIBHAV10



@VIB10

Layout personalizado

Calculador de exposição

Run Time 00:00:06

Medição	X	Y	Z	Soma	Unidades
Lpk	271.3314	363.0781	106.6596		m/s^2
P-P	375.8374	519.9960	149.9685		m/s^2
RMS	9.7611	13.3660	3.2999	16,8765*	m/s^2
MTVV	23.1473	31.6592	7.6648		m/s^2
CRF	27.7971	27.1644	32.3221		
K Factor	1,0	1,0	1,0		
Max RMS		13,3660*			m/s^2
A(8), Max RMS		0,1929*		0,2436*	m/s^2

RMS

Calcular (* as medições utilizam fator k)

Tempo para atingir valores de exposição se:

	X	Y	Z	Soma	
VAE =	2,50 m/s^2 (8 horas)	00:31*	00:16*	04:35*	00:10* hh:mm
VLE =	5,00 m/s^2 (8 horas)	02:05*	01:07*	18:22*	00:42* hh:mm

A(8) equivalente se:

	X	Y	Z	Soma	
Tempo de exposição =	08:00* hh:mm	9,7611*	13,3660*	3,2999*	16,8765* m/s^2