



ESTUDO EXPERIMENTAL DE VIBRAÇÃO OCUPACIONAL DE MÃOS E BRAÇOS NA UTILIZAÇÃO DE FURADEIRA MANUAL ELÉTRICA

Walter Mota da Fonseca, ORCID: 0000-0003-1834-9342, waltmec@gmail.com

Maria Lúcia Machado Duarte, ORCID: 0000-0002-3947-5893, programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica (PPGMEC), Universidade Federal de Minas Gerais, Av.: Presidente Antônio Carlos, 6627, CEP: 31270-901 Pampulha, Belo Horizonte, MG, Brasil, mlmduarte@ufmg.br

Resumo. O artigo apresenta um estudo comparativo dos valores de aceleração e exposição, para tempo máximo de serviço, emitidos durante um trabalho de perfuração utilizando uma furadeira manual e os resultados fornecidos por um banco de dados. As especificações fornecidas pelos fabricantes foram utilizadas e os resultados da etapa experimental realizados e admitidos por meio de um aplicativo para análise de vibração. Foi realizada estimativa do valor total de vibração e para os tempo de ação e limite para exposição. O maior resultado de aceleração foi na direção do eixo “X”, este valor máximo corrobora com os valores máximos fornecidos pelo banco de dados. A máquina utilizada apresentou resultados intermediários em relação aos equipamentos fornecidos pelo banco de dados. O tempo limite calculado para exposição diária foi de 3 horas e 9 minutos, após este período, exige intervenção do pessoal da saúde ocupacional para avaliação dos efeitos da vibração na mão.

Palavras chave: vibração, mãos, braços, máquina, ocupacional.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Griffin (1996), vibração é um movimento oscilatório que por definição não é constante, mas alternadamente maior e ou menor que algum valor médio. A extensão da oscilação determina a magnitude da vibração e a taxa de repetição em ciclos determina a frequência da vibração.

A natureza de uma oscilação futura pode ser previsível a partir do conhecimento de oscilações prévias (ou seja, um movimento determinístico) ou pode ser caracterizado apenas como tendo algumas propriedades estatísticas comumente chamadas de movimentos aleatórios, (Griffin, 1996).

Griffin (1996), afirma que as principais causas de vibração severa na mão são provenientes de ferramentas para processos de fabricação industrial, agricultura, mineração e construção, onde as mãos e os dedos manipulam componentes vibrantes. Uma ampla gama de tais dispositivos apresenta magnitudes de vibração para períodos de exposição que são suficientes para produzir efeitos prejudiciais.

Cinco tipos de distúrbios são geralmente associados ao efeito da vibração transmitida pelas mãos (VTM), como apresentado na Tab. (1). Cada tipo pode ser uma combinação complexa de vários distúrbios e é possível que cada tipo se apresente como consequência de distúrbios de outro tipo. Entretanto, de acordo com Griffin (1996), é útil separar os tipos porque alguns efeitos estão associados a tipos específicos de vibração, o diagnóstico de cada tipo de transtorno requer procedimentos diferentes, e alguns pesquisadores e países individuais adotaram por investigar tipos específicos de efeito.

Tabela 1. Cinco tipos de desordens por vibração de mãos e braços. Fonte: adaptado de Griffin (1996).

Tipo	Desordens causadas pela exposição a VMB
A	Circulatórias (vasculares)
B	Dos ossos e juntas
C	Neurológicas periféricas
D	Musculares
E	Outras desordens gerais (ex.: no sistema nervoso central)

A magnitude da vibração é expressa em termos de aceleração ponderada em frequência da superfície do punho da ferramenta ou peça de trabalho que está em contato com a superfície interna da mão e expressa em metro por segundo ao quadrado (m/s^2).

A exposição à vibração de mãos e braços (VMB) deve ser avaliada usando o método definido pela norma europeia ISO 5349-1, 2001 e a orientação para medição prática no local de trabalho é fornecida pela norma EN ISO 5349-2 (2001). A Figura (1) apresenta a orientação do punho nos eixos x, y e z estabelecidos pelas diretrizes anteriormente citadas.

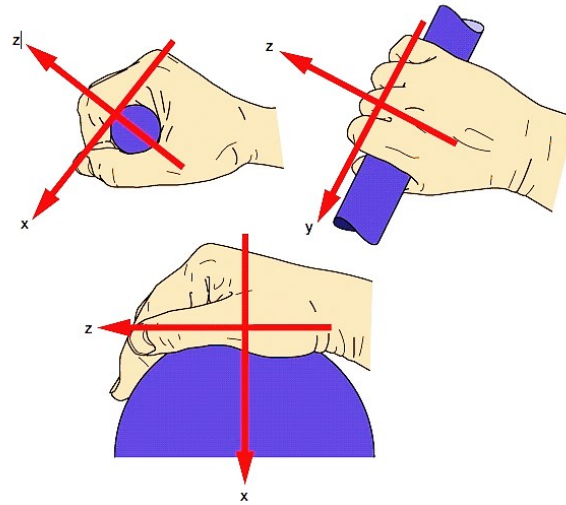


Figura 1. Eixos para medição da VMB. Fonte: adaptado de *Vibration Directive 2002/44/EC* (2007).

A Figura (1) ilustra possíveis sistemas de coordenadas anatômicas e basicêntricas para a mão. (ver ISO DIS 8727).

De acordo com Sinik et al. (2016), a diretiva 2002/44/CE estabelece valores limite de exposição e valores de ação de exposição. Esta diretiva especifica as obrigações dos empregadores no que diz respeito à determinação e avaliação dos riscos, estabelecendo as medidas para reduzir ou evitar exposição e fornecer informações e treinamento para os trabalhadores. Qualquer empregador que pretenda realizar trabalhos que envolvam riscos decorrentes da exposição à vibração deve programar uma série de medidas de proteção antes e durante o trabalho. (Sinik et al., 2016).

Segundo Sinik et al. (2016), a diretiva de vibração define um valor de ação de exposição diária para vibração, na qual exige que os empregadores controlem os riscos de vibração do braço e da mão durante o trabalho e um limite de exposição acima do qual os trabalhadores não devem ser expostos. Sendo o valor de ação de exposição diária de 2,5 m/s² e o valor limite de exposição diário de 5 m/s². No entanto, existe algum risco de lesão por VMB onde as exposições estão abaixo do valor de ação de exposição. (Sinik et al., 2016).

O valor do risco de VMB é baseado na frequência ponderada do valor total da vibração (a_{hv}), calculado pela raiz da soma dos quadrados da frequência ponderada da aceleração mensurados nos três eixos ortogonais; x, y e z, conforme Eq. (1).

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hvx}^2 + a_{hvy}^2 + a_{hvx}^2} \quad (1)$$

As respostas das acelerações nos três eixos da mão são coletadas por um sistema de aquisição de dados e posteriormente realizado o processo de tratamento dos dados.

A exposição diária à vibração é baseada no valor da aceleração equivalente em energia em 8 h. Um trabalhador pode estar exposto a vibração ocupacional em um tempo de alguns segundos a várias horas ou período intermitente. A exposição diária ocupacional para 8 horas, $a_{hv(8)}$, de VMB, é calculada conforme Eq. (2).

$$a_{hv(8)} = A(8) = a_{hv} \left(\frac{t}{T_{(8)}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

onde: t é o tempo de exposição e $T_{(8)}$ é o tempo para 8 h.

A normativa ISO 5349 (2001) sugere um cálculo para exposição à VMB em anos, D_y , conforme Eq. (3).

$$D_y = 31,8[A(8)]^{-1,06} \quad (3)$$

Segundo o *Vibration Directive 2002/44/EC* (2007), a diretriz para avaliação a exposição à vibração transmitida manualmente, CEN/TR 15350, informa que para estimar o risco, o valor de aceleração declarado pelo fabricante deve ser, na maioria dos casos, multiplicado por um fator dependendo do tipo de ferramenta.

- Ferramentas com motor a combustão: x1;
- Ferramentas pneumáticas: x1,5 à x2;
- Ferramentas elétricas: x1,5 a x2.

Quando os fabricantes declaram valores de emissão inferiores ou superior a $2,5 \text{ m/s}^2$, então um valor de $2,5 \text{ m/s}^2$ deve ser usado e multiplicado pelo fator apropriado citado anteriormente.

O Instituto Nacional de Investigação e Segurança para a Prevenção de Acidentes de Trabalho e Doenças Profissionais (INRS), França, considera que a medição da emissão de VMB seja realizada por meio de um vibrômetro ou um medidor de exposição (chamado de dosímetro) que deve atender aos requisitos da norma EM 28041 e realizada de acordo com requisitos da norma EM 25349 (compatibilidade dos acelerômetros com a dinâmica dos sinais e posições de fixação do sensor), e ser realizada por pessoal experiente.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho realiza uma pré-análise de VMB em uma máquina para perfuração e um comparativo entre equipamentos semelhantes fornecidos em bancos de dados publicados em literaturas. Utilizou-se uma máquina do tipo furadeira manual com dispositivo de impacto, para o registro dos dados foi utilizado um *software* da Keuwlsoft BMI 160, versão 2062600, com resolução de $0,00239 \text{ m/s}^2$ instalado em um aparelho de celular. A Tabela (2) apresenta algumas especificações técnicas da máquina utilizada nos testes.

Tabela 2. Especificações técnicas da máquina de teste. Fonte: adaptado de *BRmotors* (2020).

Furadeira elétrica BRD500-I	
Tensão elétrica (V)	127 ou 220
Potência (W)	400
Profundidade máxima de furação (mm)	16 (para concreto)
Massa (kg)	1,24

O manual de instruções de uso da máquina utilizada nos testes não possui informações sobre vibrações e rotação do motor. Existe um sistema de controle para duas velocidades de rotação, entretanto este sistema sofreu pane em pouco tempo de uso limitando a utilização da furadeira somente em um estágio. A Figura (2) apresenta a máquina utilizada nos testes.



Figura 2. Máquina furadeira da *BRmotors*. Fonte: autor.

2.1. Materiais

Para realização dos testes foi utilizada uma broca de 6 mm para furação em concreto, uma amostra aleatória de calçada em concreto e uma cinta elástica para a fixação do sistema de aquisição de dados a superfície superior da mão. A Figura (3) apresenta o local de realização dos testes e o material utilizado.

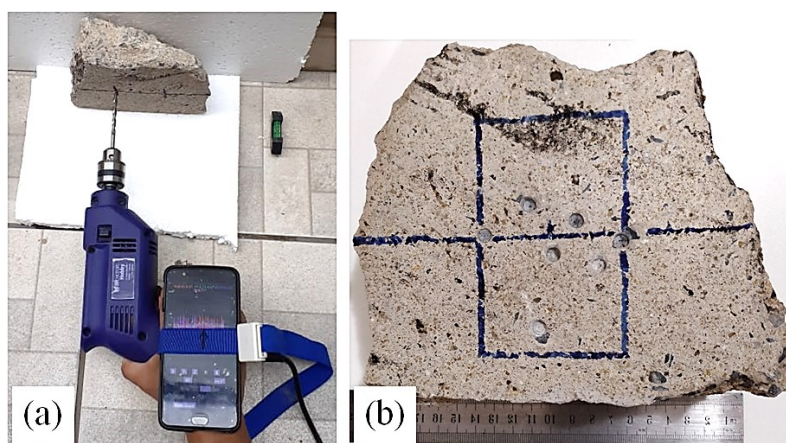


Figura 3. Ensaio de furação no concreto. (a) posicionamento para realização do ensaio. (b) material perfurado. Fonte: autor.

Foram realizados 7 furos do tipo cego na região central (demarcação em azul) na superfície selecionada do bloco de concreto, conforme mostra a Fig. (3).

As aquisições foram realizadas em cada procedimento de furação e gerou-se arquivos em formato “.txt”, e posteriormente, exportado para o *software Excel®* (2010) e *MatLab®* (2020) para o cálculo do a_{hv} . O valor médio da profundidade de furação foi de 4,27 mm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são representados graficamente em aceleração por tempo, conforme Fig. (4), (5) e (6) e aceleração por frequência, conforme Fig. (8).

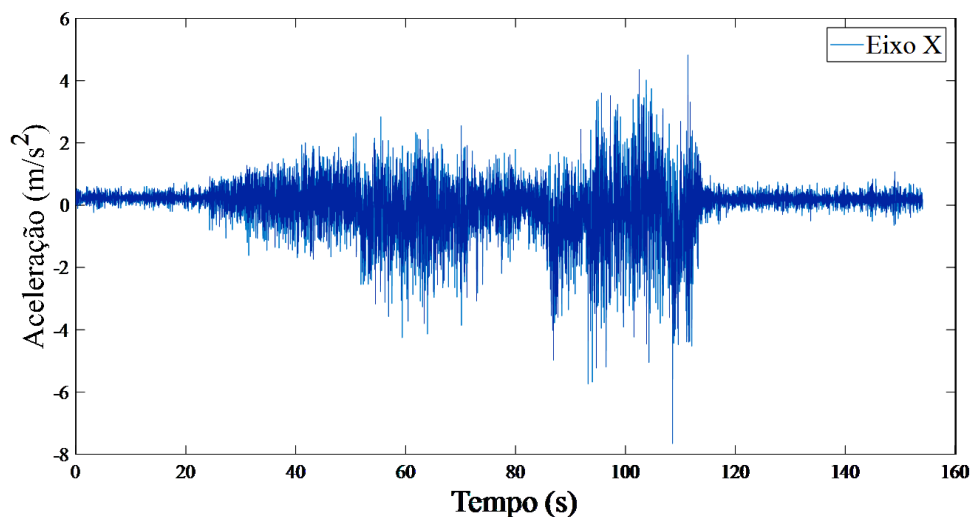


Figura 4. Resposta no eixo basicêntrico “X”. Fonte: autor.

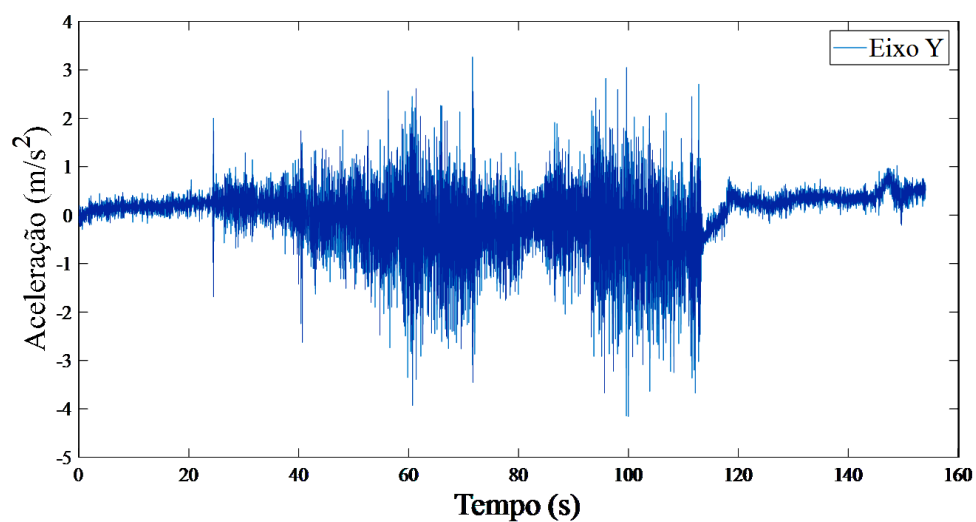


Figura 5. Resposta no eixo basicêntrico “Y”. Fonte: autor.

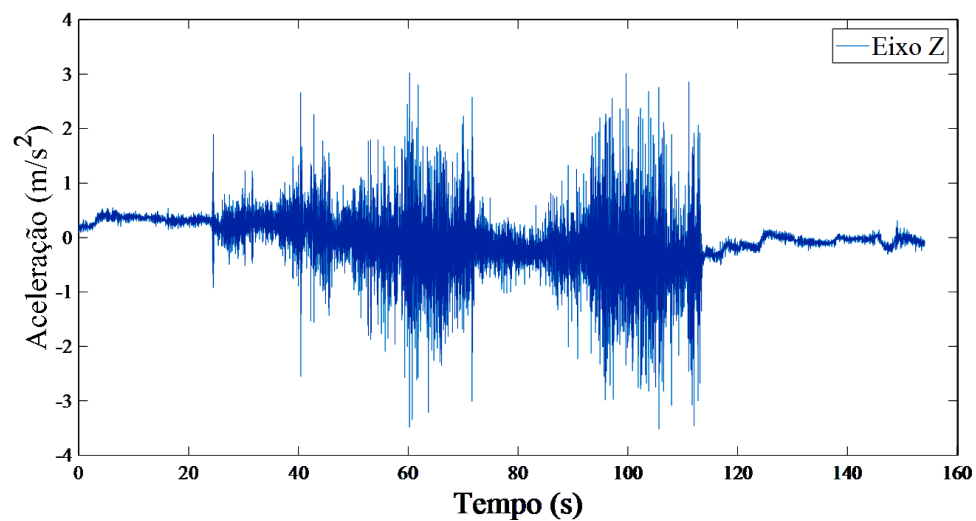


Figura 6. Resposta no eixo basicêntrico “Z”. Fonte: autor.

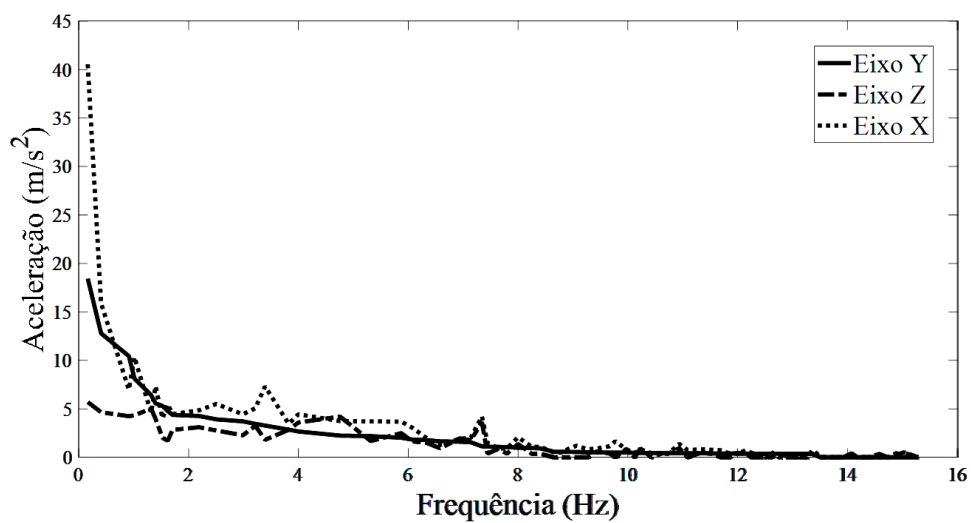


Figura 7. Espectro de resposta nos 3 eixos basicêntricos. Fonte: autor.

O tempo total de medição foi de 154 segundos sendo 89 segundos o tempo da exposição a VMB e os 65 segundos foram para estabilização do sinal de início e fim de medição. A Tabela (3) apresenta resultados máximos, mínimos e média para cada eixo.

Tabela 3. a_{hv} calculado para cada eixo medido. Fonte: autor.

Eixos	Y	Z	X
Máximo (m/s ²)	3,266	3,026	4,829
Mínimo (m/s ²)	-4,158	-3,520	-7,658
Média (m/s ²)	3,712	3,273	6,243

Observa-se que o a_{hv} apresenta maiores picos de acelerações, presume-se que na direção deste eixo haverá maior esforço em relação ao torque do eixo e manopla da máquina em instante de maior esforço na aresta de corte da broca.

3.1 Cálculo da exposição à vibração

Para realização de comparação do resultado do parâmetro a_{hv} , utilizou-se o *LAVG KarLA* (2022), Alemanha, que é um catálogo publicado de dados representativos de ruído e vibração relacionados a saúde no trabalho. A Figura (8) apresenta duas máquinas selecionadas de fabricantes distintos.

ficha técnica da máquina

Marca: BOSCH
Modelo: 1112
Tipo: Furadeiras retas, furadeiras tipo pistola e furadeiras angulares
Construído: nd
Peso: 2,5 kg
Potência: 0,35 kW
Alimentação: Elétrica (220V-380V)
Dispositivos antivibração: Ausente
Fonte dos dados: Adquirido no campo por metro



Valores declarados conforme a norma EN 50144-2-1
(x 1,0 Parafusos de fixação, Perfuração de impacto - x 1,5 Perfuração com ou sem impulso (impacto))

CONDIÇÕES	MATERIAL	ACESSÓRIO	VALOR	K ⁽¹⁾	Observação
Nenhum dado declarado					

(1) Incógnita atribuída

Medidas no campo (Clique para ver as medidas no campo)

ATIVIDADE DE TRABALHO: PERFURAÇÃO
MATERIAL TRABALHADO: Metal: Ligas de metal duro ou macio
ACESSÓRIO: NÃO AVALIADO
SETOR: Materiais para trens e bondes

5,4 m/s²

Pessoa de referência: ASSTRA - ATCM spa (info@atcm.mo.it)
Local: Oficina ATCM spa - Pavullo (MO) em 01/01/2006
Características do acessório: NÃO AVALIADO

Valores relacionados à alça de pior caso de vibração (posterior)

A _{hx} (média)	A _{hy} (Média)	A _{hz} (média)	Uma soma hv
4,6 m/s ²	2,3 m/s ²	1 m/s ²	5,2 m/s ²
Desvio padrão: 0,1 m/s ²	Desvio padrão: 0,1 m/s ²	Desvio padrão: 0,1 m/s ²	Desvio padrão x 1.645: 0,16 m/s ²
Média: 4,7 m/s ²	Média: Desvio padrão: 2,4 m/s ²	Média: Desvio padrão: 1,1 m/s ²	Uma soma hv: Desvio padrão x 1.645: 5,4 m/s ²

ficha técnica da máquina

Marca: MAKITA
Modelo: HR 1830
Tipo: Furadeiras de impacto e furadeiras pesadas
Construído: nd
Peso: 1,7 kg
Potência: 0,44 kW
Alimentação: Elétrica (220V-380V)
Dispositivos antivibração: Ausente
Fonte dos dados: Campo adquirido de metro



Valores declarados conforme estabelecido na norma IEC EN 60745-2-1: 2008

CONDIÇÕES	MATERIAL	ACESSÓRIO	VALOR	K ⁽¹⁾	Observação
Perfuração	Metals: ligas de metal duro ou macio	Escolha, ponto de moil	2,5 m/s ²	1,5	
Perfuração	Concreto	Escolha, ponto de moil	14 m/s ²	1,5	

(1) Incógnita atribuída

Medidas no campo (Clique para ver as medidas no campo)

ATIVIDADE DE TRABALHO: PERFURAÇÃO
MATERIAL TRABALHADO: Concreto
ACESSÓRIO: Picareta, moil point
SETOR: Construção civil

9,3 m/s²

Pessoa de referência: CPT Torino (seg@cpt.to.it)
Local: GIVOLETTO (TO) em 08/05/2007
Características do acessório: Picareta, moil point
Condições de medição

Valores relacionados à alça de pior caso de vibração (Anterior)

A _{hx} (média)	A _{hy} (Média)	A _{hz} (média)	Uma soma hv
6,5 m/s ²	4,3 m/s ²	3,3 m/s ²	8,4 m/s ²
Desvio padrão: 0,58 m/s ²	Desvio padrão: 0,13 m/s ²	Desvio padrão: 0,24 m/s ²	Desvio padrão x 1.645: 0,88 m/s ²
Média: 7,1 m/s ²	Média: Desvio padrão: 4,4 m/s ²	Média: Desvio padrão: 3,5 m/s ²	Uma soma hv: Desvio padrão x 1.645: 9,3 m/s ²

Figura 8. Seleção do maquinário para comparação. Fonte: *LAVG KarLA* (2022).

A Tabela (4) apresenta o resultado do cálculo de a_{hv} da máquina objeto de estudo e os parâmetros entre os três equipamentos.

Tabela 4. Resultados comparativos entre os três equipamentos. Fonte: autor.

Fabricante e modelo	Potência (W)	Massa (kg)	Material perfurado	a_{hv} (m/s^2)
BRmotors BRD500-I	400	1,24	Concreto	7,96
Bosch 1112	350	2,5	Aço	5,4
Makita HR1830	440	1,7	Concreto	9,3

Observa-se no resultado gráfico da Figura (9) que os modelos dos fabricantes “BRmotors” e “Makita” apresentaram um limite de aproximadamente 46 minutos de exposição diária a vibração, que é o limite ocupacional de atenção para integridade do desconforto e saúde no trabalho. Entretanto, as medições de vibração com a máquina do fabricante Bosch, com base nas informações no banco de dados publicado, foram realizadas durante um trabalho de perfuração em aço. Geralmente o modo de “martetele” somente é utilizado em perfurações de materiais cerâmicos, como o concreto por exemplo. Neste caso as respostas de a_{hv} poderá sofrer diminuição dos valores de aceleração.

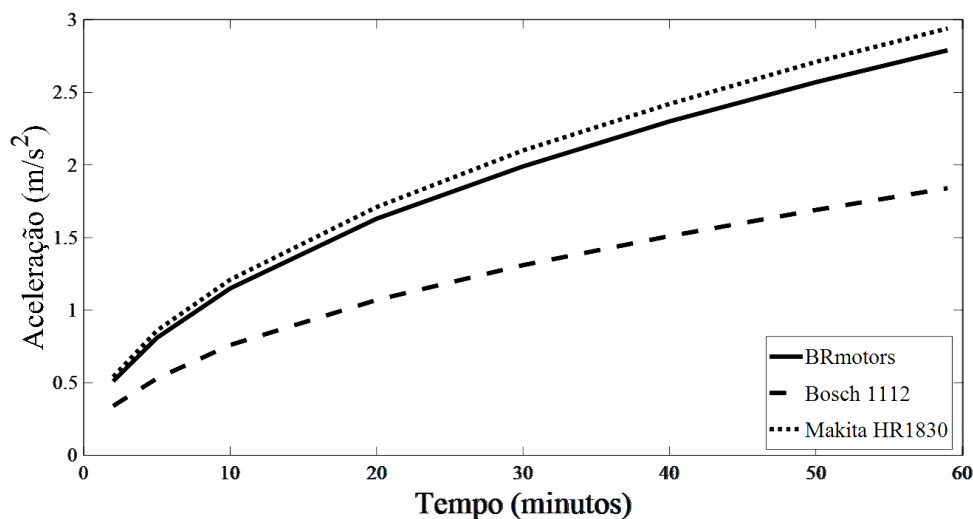


Figura 9. Resultado gráfico do tempo de exposição a VMB diária. Fonte: autor.

O cálculo do $A(8)$ para uma jornada de trabalho de 8 horas, é apresentado conforme Tab. (5).

Tabela 5. Resultado do cálculo do tempo de exposição a VMB diária. Fonte: planilha de cálculo do INRS (2022).

Fabricante e modelo	$A(8)$ (m/s^2)	Tempo de ação	Tempo de limite
BRmotors BRD500-I	8	47 minutos	3 horas e 9 minutos
Bosch 1112	5,4	1 hora e 43 minutos	6 horas e 52 minutos
Makita HR1830	9,3	35 minutos	2 horas e 19 minutos

4. CONCLUSÕES

Tanto atividades simples, quanto complexas podem ser afetadas pela vibração. Um parâmetro fisiológico que pode ser alterado pela exposição a vibração de mãos e braços são os tremores de curto período na musculatura da mão após algum tempo de exposição a um maquinário manual. O efeito da superfície vibrante pode ser transmitido pelas áreas dos dedos e palma das mãos. Os testes foram realizados e gerou-se os resultados graficamente caracterizados por sinais não-estacionários randômicos. A sequência decrescente dos resultados dos valores de aceleração em relação a orientação dos eixos; X, Y e Z, corrobora com a ordem dos valores de medições fornecidas pelo banco de dados utilizado. Estima-se que para o valor de aceleração na direção “X” apresentar-se maior em relação as outras direções ortogonais, devido as respostas oriundas pelos esforços de torção na broca. O corpo da broca responde por torção ao movimento de corte realizado pelo giro da aresta de corte. O equipamento do fabricante Bosch® apresenta um menor valor de aceleração, presume-se pela medição realizada em perfuração de aço, segundo dados fornecidos pelo *LAVG KarLA* (2022), e um maior valor de massa do equipamento contribui para menores emissões de vibrações. Em relação ao equipamento da Makita®, o equipamento da BRmotors apresentou um valor de risco, a_{hv} , 85,6 % menor, e o equipamento da Bosch® foi 58,06 % menor. O equipamento da BRmotors, após 47 minutos de uso constante, demanda uma atenção quanto a saúde ocupacional do trabalhador para prevenção de doenças causadas pela vibração do



equipamento. Uma das intervenções é a utilização de luvas e manoplas do maquinário com revestimentos em borracha para contribuir na minimização a exposição de superfícies vibrantes.

5. REFERÊNCIAS

Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration) (sixteenth individual. **Directive within the meaning of Article 16(1)** of Directive 89/391/EEC). 2002.

Griffin, M., J.,” **Handbook of Human Vibration**”. Academic Press. 1996

<http://resource.isvr.soton.ac.uk/HRV/VIBGUIDE/2008_11_08%20WBV_Good_practice_Guide%20v6.7h%20English.pdf>. 2007.

<<http://vibration.arbetslivsinstitutet.se/eng/havhome.lasso>>

<http://www.las-bb.de/karla/index_.htm>

Instituto Nacional de Pesquisa e Segurança para a Prevenção de Acidentes de Trabalho e Doenças Profissionais (INRS): INRS, 65 boulevard Richard Lenoir, 75011 Paris. <<https://www.inrs.fr/risques/vibration-membres-superieurs/evaluation-risque.html>>. 2022.

Sinik, Vladimir & Despotovic, Dr Zeljko & Jankovic, Slobodan. BACKGROUND OF A VIBRATION MEASUREMENT TO HAND-ARM VIBRATION, HEALTH SURVEILLANCE AND HEALTH RISKS. 2016

Thomas Clemm, Karl-Christian Nordby, Lars-Kristian Lunde, Bente Ulvestad, Magne Bratveit, Exposição de vibração de braço e mão em trabalhadores de perfuração de rocha: uma comparação entre medições com acelerômetros acoplados à mão e acoplados a ferramentas, **Anais de exposições de trabalho e saúde**. Volume 65, Edição 9, novembro de 2021, Páginas 1123–1132, <https://doi.org/10.1093/annweh/wxab051>

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.