

Capítulo 18



10.37423/220706248

ANÁLISE DE VIBRAÇÃO HUMANA NA UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS DE UMA EMPRESA DE CALDEIRARIA PESADA

Hélio Augusto Goulart Diniz

Centro Universitário Estácio de Sá de Belo Horizonte

Jane de Souza Ramos

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Caroline Santana Zanetti

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Josane Cristiano Brandão

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

José Dias Pena

Centro Universitário Estácio de Sá de Belo Horizonte



Resumo: O presente estudo teve como objetivo avaliar a exposição ocupacional de alguns trabalhadores ao agente físico vibração, devido ao contato com equipamentos industriais inerentes às suas atividades diárias de trabalho. O estudo foi realizado com base na normalização brasileira responsável pela regulamentação e controle de vibração. O trabalho foi desenvolvido na empresa B, que atua no desenvolvimento e implementação de projetos desde a engenharia básica até a fabricação e entrega dos equipamentos. Foi promovida uma avaliação de vibração humana em alguns colaboradores da empresa e realizou-se o levantamento de dados quantitativos, servindo de diagnóstico do ambiente de trabalho desses colaboradores. Para a análise da exposição, a vibração localizada em mãos e braços, realizaram-se medições em lixadeiras de diferentes capacidades de trabalho. A análise de vibração de corpo inteiro foi realizada através da medição da vibração em empilhadeiras. Em relação a análise dos resultados calculados referentes a utilização da empilhadeira, constatou-se que a vibração, embora abaixo do limite de exposição, está acima do nível de ação, requerendo tomadas de medidas preventivas, como por exemplo realizar o monitoramento periódico da exposição e treinamentos aos colaboradores quanto aos riscos decorrentes da exposição à vibração. De modo geral, com a utilização das lixadeiras, os colaboradores apresentaram exposição a acelerações acima do limite de exposição da norma NR 15-Anexo 8, necessitando de tomada de medidas corretivas imediatas, como por exemplo manutenção nos equipamentos e redução do tempo de exposição a vibração.

Palavras-chave: Vibração; Equipamentos, Riscos; Insalubridade.

1 INTRODUÇÃO

As ferramentas manuais motorizadas são amplamente utilizadas em diversos setores de manufatura de bens, pelo fato de realizar trabalho com maior velocidade e precisão, além de poupar o usuário de esforços repetitivos. Porém, todas essas ferramentas geram vibração aos operadores que as manuseiam, e conseqüentemente podem ser prejudiciais ao corpo humano se o limite de exposição a estas for excedido. As ferramentas manuais comumente utilizadas que provocam vibração nas mãos e braços são: furadeiras, lixadeiras, parafusadeiras, polidoras, motosserras, martelotes, entre outras.

A legislação Brasileira prevê através da Norma Regulamentadora NR 15, Anexo 08 da Portaria 3214/78, com redação dada pela portaria nº 1.297 de 13 agosto de 2014, que as atividades e operações que exponham os trabalhadores sem proteções adequadas às vibrações localizadas e de corpo inteiro serão caracterizadas como insalubres através de avaliações quantitativas. As metodologias empregadas nas coletas e análises estão descritas nas NHO 09 e NHO 10 da Fundacentro.

A transmissão de vibração para o ser humano resulta em desconforto e perda de eficiência, podendo constituir um risco em potencial para os trabalhadores, uma vez que as vibrações podem desencadear perturbações neurológicas ou musculares, vasculares e lesões ósteo-articulares, no caso das vibrações transmitidas ao sistema mão-braço e patologias na região lombar e lesões da coluna vertebral, para o caso das vibrações transmitidas a todo o organismo (Gonçalves e Catal, 2015).

Os efeitos da vibração no organismo humano dependem de diversos fatores, em particular da intensidade das vibrações, dos limites de frequência, direção, ponto de penetração, tempo e forma de aplicação diária, bem como do tempo em que o profissional vem se submetendo à exposição. Estudos indicam que há maior frequência de trabalhadores que manipulam instrumentos que emitem esse tipo de energia e, conseqüentemente, submetem-se a uma exposição maior em extremidades superiores.

A vibração relacionada ao trabalho resulta de uma fonte emissora de vibração mecânica que incide no organismo no corpo inteiro e nas mãos. No primeiro caso, há uma superfície que vibra, suportando o corpo humano em pé, sentado ou deitado; esta forma de exposição ocorre em todas as opções de meios de transporte. No segundo caso, a exposição ocorre ao manusear equipamentos vibratórios, o que se vê em trabalhadores industriais, agricultores, mineradores, profissionais odontólogos e trabalhadores da construção, dentre outros profissionais.

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo medir a exposição do trabalhador durante os exercícios de suas atividades, neste caso através da utilização de lixadeiras e operação de empilhadeira em uma empresa do seguimento de caldeiraria pesada. A empresa B atua no desenvolvimento e implementação de projetos, desde a engenharia mecânica básica e detalhamento até a fabricação, montagem industrial e entrega dos equipamentos. A partir da avaliação da vibração ocupacional dos trabalhadores que exercem as atividades com lixadeiras e empilhadeiras, caso sejam detectados valores acima do limite de tolerância e do nível de ação, de acordo com os padrões estabelecidos pela NR 15 anexo 8, serão apresentadas as medidas mitigadoras visando o bem estar e saúde do trabalhador.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 HISTÓRICO DO TRATAMENTO DA VIBRAÇÃO HUMANA

Tecnicamente, segundo Saliba (2013) vibração é o "movimento oscilatório de um corpo, devido a forças desequilibradas de componentes rotativos e movimentos alternados de uma máquina ou equipamento. A literatura científica conta com vários estudos acadêmicos com forte orientação teórica e excelente fundamentação empírica que demonstram os efeitos nocivos das vibrações sobre a saúde do trabalhador de modo geral, podendo chegar até mesmo a perdas de capacidade auditiva.

Em junho de 1977, a Organização Internacional do Trabalho (OIT) -- órgão da ONU responsável pelo monitoramento e regulação das relações de trabalho em nível mundial -- definiu sua Convenção No. 148 (C148), concernente à proteção do trabalhador contra riscos ocupacionais no ambiente laboral referentes a poluição do ar, ruído e vibração. Assim, no final da década de 1970, no que diz respeito a vibrações, a *International Organization for Standardization* (ISO) publicou a normas ISO 2631 (Guia para avaliação da exposição humana a vibrações de corpo inteiro) e a ISO 5349 (Guia para avaliação da exposição humana a vibrações transmitidas à mão).

A partir da década de 1980, a Coordenação de Higiene do Trabalho da Fundacentro deu início à publicação de uma série de normas técnicas, denominadas anteriormente Normas de Higiene do Trabalho (NHT). Todavia, naquela época, não foi elaborada NHT para o agente vibração. Assim, segundo a Fundacentro (2013):

"Diante das transformações tecnológicas e da necessidade de atualização dos procedimentos de identificação, avaliação e controle da exposição dos trabalhadores aos agentes ambientais, a revisão das NHT tornou-se imprescindível, bem como a necessidade de elaboração de normas para outros agentes. Visando à utilização de terminologia mais atual, a nova série de normas passou a ser intitulada Normas de Higiene Ocupacional (NHO).

Assim, em 2013, a Fundacentro apresentou aos profissionais da área de segurança do trabalho a NHO 09/2013 (referente à exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro) e a NHO 10/2013 (referente à exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços).

No Brasil, a Norma Regulamentadora NR-15 - Anexo 8, prevê que "as atividades e operações que exponham trabalhadores sem proteção adequada às vibrações localizadas ou de corpo inteiro serão caracterizadas como insalubres através de perícia realizada no local de trabalho". Essa avaliação deve-se basear nos limites de exposição determinados pelas ISO 2631-1:1997 e ISO 5349-1:2001.

A legislação brasileira também determina que os laudos periciais devam constar obrigatoriamente os seguintes itens:

- o critério adotado;
- o instrumental utilizado;
- a metodologia de avaliação;
- a descrição das condições de trabalho e o tempo de exposição às vibrações;
- o resultado da avaliação quantitativa;
- as medidas para eliminação e/ou neutralização da insalubridade, quando houver.

Constatando-se a insalubridade, a mesma será de grau médio, assegurando ao trabalhador o recebimento do adicional de vinte por cento incidente sobre o salário mínimo.

O presente artigo se fundamentou nas normas supracitadas - tanto da Fundacentro (NHO 09/2013 e NHO 10/2013), quanto da ISO (ISO 2631-1/1997 e ISO 5349-1/2001) - buscando aplicar suas equações e tabelas de referência a uma análise empírica de um caso específico, a saber, a empresa B.

2.2 TIPOS DE VIBRAÇÕES

As vibrações são classificadas da seguinte forma:

- Vibrações de corpo inteiro (sentado ou em pé);
- Vibrações localizadas (mãos e braços).

2.2.1 VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO

São vibrações de corpo inteiro aquelas transmitidas simultaneamente à superfície total do corpo e/ou a alguma parte dele quando o trabalhador faz uso de equipamentos como caminhões, tratores, plataformas, etc, na posição sentado (reclinado ou não), em pé ou deitado. A vibração é transmitida através das superfícies de apoio, como por exemplo, se a pessoa estiver em pé a vibração é transmitida pelos pés, se a pessoa estiver sentada a vibração é transmitida pelos pés, as nádegas e as costas e as superfícies de apoio para uma pessoa recostada ou deitada. A Figura 1 apresenta os eixos de referência para análise da vibração de corpo inteiro.

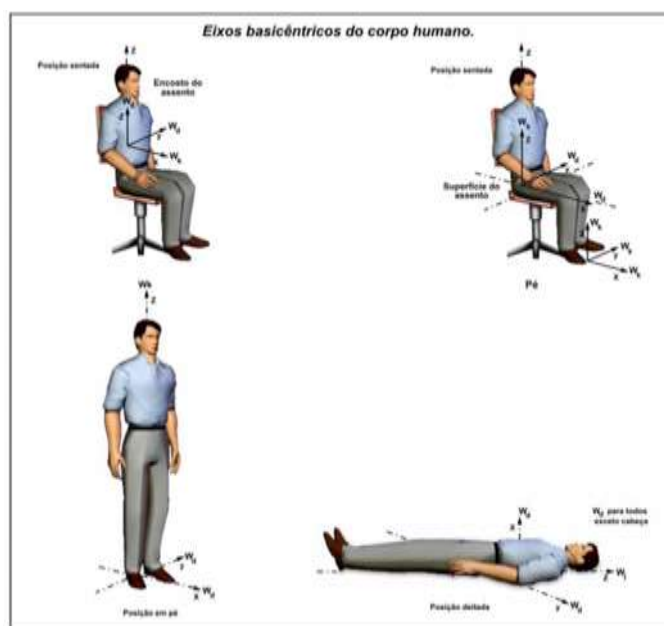


Figura 1: Eixos basicêntricos do corpo humano.

Fonte: Acervo técnico da empresa, 2014.

Uma pessoa exposta a altos limites de vibração está sujeita a dores de cabeça, dores nas costas, fadiga muscular, tremores, insônia, lesões nas articulações, além de poderem desenvolver com o passar do tempo, doenças como problemas na coluna, perda de equilíbrio, labirintite e distúrbios visuais, podendo ainda comprometer de maneira severa a região dorsal e lombar, e causar alterações no sistema reprodutivo.

Dependendo da região atingida, o corpo humano reage às vibrações de forma diferente, sendo assim, conforme o item 3.5 da norma ISO 2631/1997, é necessário medir a vibração na estrutura ou no ponto em que será transmitida ao corpo inteiro. A norma ISO 2631/1997, estabelece critérios para a vibração sobre o corpo humano na faixa de frequência de 0,5 a 80 Hz para saúde, conforto e percepção e de 0,1 a 0,5 Hz para enjoo. A região de maior sensibilidade do ser humano é:

- Eixo longitudinal z – de 4 a 8 Hz;
- Eixos transversais x e y – de 1 a 2 Hz.

A maneira pela qual as vibrações afetam a saúde, conforto e percepção é dependente da frequência. Existem diferentes frequências para diferentes eixos. O gráfico da Figura 2 apresenta as diferentes frequências e seus eixos de atuação. Para o eixo “z” seguimos a curva de ponderação W_k e para os eixos “x” e “y” a curva de ponderação W_d .

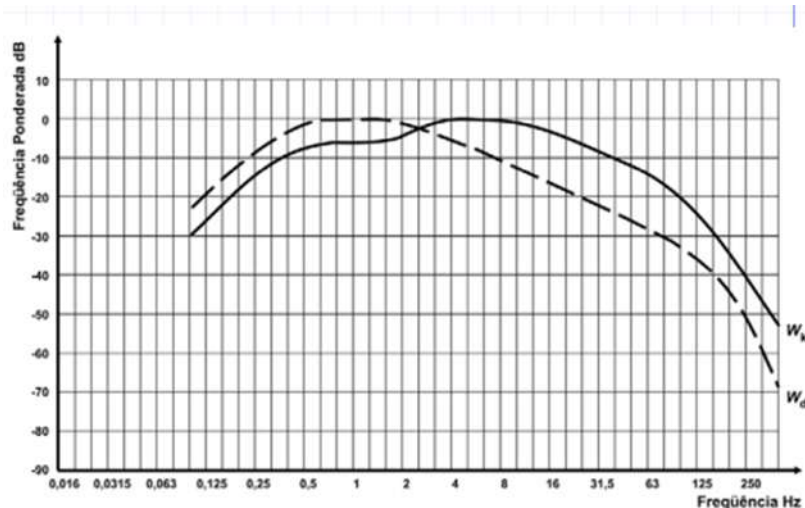


Figura 2: Curvas de ponderação em frequência para vibração transmitida ao corpo inteiro W_d e W_k .

Fonte: Adaptada de ISO 2631/1997.

Assim como na avaliação dos efeitos da vibração para mãos e braços, na análise para o corpo inteiro, podem-se somar os valores da aceleração encontrada nos três eixos e obter uma aceleração total A_t , em m/s^2 , porém neste caso, aplica-se a equação 1.

$$A_t = \sqrt{K_x^2 a_{wx}^2 + K_y^2 a_{wy}^2 + K_z^2 a_{wz}^2} \quad (1)$$

Onde K_x , K_y e K_z são fatores de multiplicação dos respectivos eixos ortogonais X, Y e Z. Os valores de K, para fins de saúde para pessoas em pé ou sentadas são $K_x = 1,4$; $K_y = 1,4$ e $K_z = 1,0$. Além disso, a_{wx} , a_{wy} e a_{wz} , em m/s^2 , são acelerações r.m.s ponderadas como os respectivos eixos ortogonais X, Y e Z.

Também como na análise da vibração de mãos e braços, caso a exposição à vibração seja diferente em dois ou mais períodos da jornada, deve-se considerar a aceleração resultante de exposição Are , em m/s^2 , conforme a equação 2.

$$Are = \sqrt{\frac{a_1^2 t_1 + a_2^2 t_2 + \dots + a_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (2)$$

Onde a_n , em m/s^2 , é o valor da aceleração obtida e t_n é o tempo de duração da medição para aquela exposição à aceleração a_n .

Para a aceleração resultante de exposição normalizada $Aren$, em m/s^2 , utiliza-se a equação 3.

$$Aren = Are \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (3)$$

Onde T é o tempo de duração da jornada diária de trabalho expresso em horas ou minutos. Como jornada padronizada adota-se $T_0 = 8$ horas ou 480 minutos.

Existem casos em que a apuração do valor de aceleração pelo método básico, pode subestimar a exposição. Isso pode ocorrer quando a vibração transmitida é de curta duração. Nessa situação, quando se encontra o fator de crista maior que $9,1 m/s^{1,75}$, pode-se calcular o valor da dose de vibração VDV , em $m/s^{1,75}$, de acordo com a equação 4.

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

Onde $a_w(t)$, em m/s^2 , é a aceleração ponderada instantânea e T , em segundos, é o tempo de duração da medição.

Também podem acontecer casos em que a exposição à vibração ocorrer em dois ou mais períodos apresentando diferentes magnitudes de vibração, nestas situações, podem-se calcular o $VDVR$ resultante ou equivalente, conforme a equação 5.

$$VDV_{total} = \sqrt[4]{\sum VDV_i^4} \quad (5)$$

Onde VDV_i , em $m/s^{1,75}$, trata-se da dose de vibração VDV_i devido a exposição a aceleração em seu dado período de tempo de medição.

Segundo a NHO 09/2013, serão necessárias medidas corretivas objetivando o controle da exposição à vibração, sempre que os valores resultantes encontrados forem:

- $Aren$ – Valor superior a $1,1 m/s^2$;
- $VDVR$ – Valor superior a $21 m/s^{1,75}$.

Para orientar no julgamento e na tomada de decisão, a NHO 09/2013 apresenta na tabela contida na Figura 3 considerações técnicas e a atuação recomendada em função do $Aren$ e $VDVR$.

<i>aren</i> (m/s^2)	<i>VDVR</i> ($m/s^{1,75}$)	<i>Consideração técnica</i>	<i>Atuação recomendada</i>
0 a 0,5	0 a 9,1	aceitável	No mínimo manutenção da condição existente.
> 0,5 a < 0,9	> 9,1 a < 16,4	acima do nível de ação	No mínimo adoção de medidas preventivas.
0,9 a 1,1	16,4 a 21	região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando à redução da exposição diária.
acima de 1,1	acima de 21	acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas.

Figura 3: Critério de julgamento e tomada de decisão baseado na NHO 09.

Fonte: Fundacentro – NHO 09/2013.

2.2.2 VIBRAÇÕES LOCALIZADAS

As vibrações localizadas, também conhecidas como vibrações de mãos e braços, vibrações de extremidades ou vibração segmental, referem-se às vibrações que atingem principalmente as mãos e braços quando da utilização de ferramentas manuais vibratórias, como por exemplo, compactadores manuais, motosserras, britadores, martelletes, etc.

Os níveis de vibração encontrados resultantes da utilização dessas ferramentas por um período prolongado são consideravelmente altos para causar danos aos vasos sanguíneos, juntas, descalcificação e graves problemas de circulação. Nos casos de altos níveis de exposição, podem ocorrer problemas como gangrena ou doença de Raynaud (síndrome do dedo branco).

A norma ISO 5349-1/2001 especifica métodos gerais para medir e avaliar o risco da exposição de vibração sobre as mãos em três eixos ortogonais para as faixas de 1/3 de oitava e uma oitava, com frequência de 6,3 Hz a 1.250 kHz.

Os riscos que a vibração do maquinário oferece ao trabalhador, depende da intensidade da vibração, do tempo de exposição, do padrão de exposição, da direção, da postura da mão, do espectro de frequência e do tipo de maquinário.

A norma ISO 5349-1/2001 considera um sistema de coordenadas triortogonal, com duas opções para posicionamento dos eixos X e Z, conforme apresentado na Figura 4.

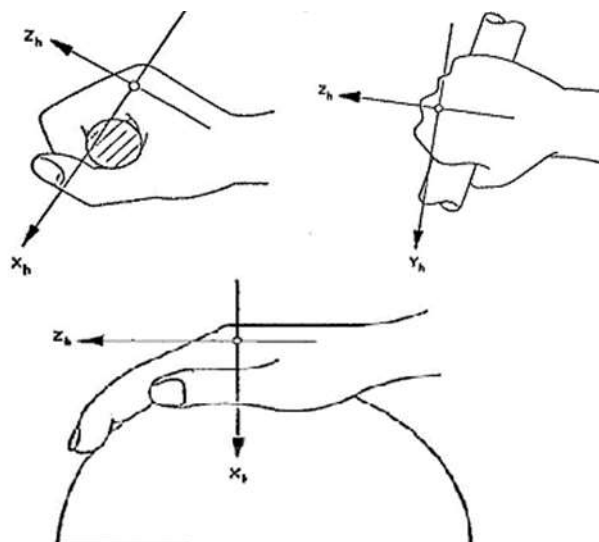


Figura 4: Sistema de coordenadas triortogonais.

Fonte: ISO 5349-1/2001.

A unidade principal usada para descrever a intensidade da vibração é a aceleração. Para a medição da vibração de mãos e braços, a aceleração total, em m/s^2 , isto é, soma dos eixos, se dá pela aplicação da equação 6.

$$A_t = \sqrt{a_{whx}^2 + a_{why}^2 + a_{whz}^2} \quad (6)$$

Onde a_{whx} , a_{why} e a_{whz} , em m/s^2 , são acelerações r.m.s ponderadas como os respectivos eixos ortogonais X, Y e Z.

Havendo a exposição diferente em dois ou mais períodos da jornada de trabalho, devemos considerar a aceleração equivalente, conforme a equação 7.

$$Are = \sqrt{\frac{a_1^2 t_1 + a_2^2 t_2 + \dots + a_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (7)$$

Onde a_n , em m/s^2 , é o valor da aceleração obtida e t_n é o tempo de duração da medição para aquela exposição à aceleração a_n .

Pode-se calcular a aceleração resultante de exposição normalizada $Aren$, em m/s^2 , pela NHO 10/2013, aplicando a equação 8.

$$Aren = Are \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (8)$$

Onde T é o tempo de duração da jornada diária de trabalho expresso em horas ou minutos. Como jornada padronizada adota-se $T_0 = 8$ horas ou 480 minutos.

Para orientar no julgamento e na tomada de decisão, a NHO 10/2013 apresenta na tabela contida na Figura 5 considerações técnicas e a atuação recomendada em função do $Aren$.

$aren (m/s^2)$	Consideração técnica	Atuação recomendada
0 a 2,5	Aceitável	No mínimo, manutenção da condição existente
> 2,5 a < 3,5	Acima do nível de ação	No mínimo, adoção de medidas preventivas
3,5 a 5,0	Região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando a redução da exposição diária
acima de 5,0	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas

Figura 5: Critério de julgamento e tomada de decisão baseado na NHO 10.

Fonte: Fundacentro – NHO 10/2013.

Além disso, de acordo com a ISO 5349, os valores de exposição diária de aceleração $Aren$ podendo-se desenvolver a síndrome de Raynaud em 10% dos trabalhadores expostos em determinação da exposição por número de anos, pode ser modelada fazendo-se uma correlação envolvendo a aceleração de exposição diária através da equação 9.

$$D_y = 31,8 [Aren]^{1,06} \quad (9)$$

Onde D_y é a duração total, em anos, da exposição necessária para ocorrência do branqueamento dos dedos.

EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

Para a execução da medição de vibração, adota-se um sistema composto por um sensor de vibração (acelerômetro), um integrador que transforma a medida em sinal elétrico e um amplificador.

Os transdutores de vibração do tipo aceleração, conhecidos como acelerômetros são usados para medir a exposição a vibração e podem ser do tipo piezoresistivos (corpo inteiro) trabalhando em baixa frequência e piezoelétricos (mãos e braços) trabalhando em frequências mais altas.

Para a correta configuração dos equipamentos, devem-se seguir as orientações da norma NHO 10/2013 correspondente para mãos e braços e a NHO 09/2013 referente a corpo inteiro.

3 METODOLOGIA

3.1 MOTIVAÇÃO DA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO HUMANA

Como já contextualizado, este trabalho visa avaliar a exposição ocupacional de alguns trabalhadores ao agente físico vibração, devido ao contato com equipamentos industriais inerentes as suas atividades diárias de trabalho. A empresa aonde se desenvolveu o trabalho de análise de vibração foi a empresa B do seguimento de caldeiraria pesada. Pretende-se determinar os níveis de vibração a que estão expostos os trabalhadores e, a partir dos resultados de análises, propor medidas para minimizar os impactos na saúde e produtividade. Essa situação foi o estudo de caso do presente trabalho e teve por base seguir a normalização brasileira responsável pela regulamentação e controle do agente vibração.

A legislação brasileira prevê, através da Norma Regulamentadora NR – 15, Anexo 08, que as atividades e operações que exponham os trabalhadores sem proteções adequadas às vibrações localizadas e de corpo inteiro serão caracterizadas como insalubres através de avaliações quantitativas. Desse contexto foi promovida uma avaliação de vibração humana em alguns setores da empresa e realizou-se o levantamento de dados quantitativos para o cálculo do agente vibração, servindo de diagnóstico do ambiente de trabalho desses colaboradores.

Os procedimentos empregados nas coletas e análises foram baseados nas normas NHO 09 e NHO 10 da Fundacentro. Sendo essas duas normas com fundamentação baseadas por suas vezes nas normas ISO 2631/97 e 5349/01. Elas tratam da vibração de corpo inteiro e localizada e ambos os casos são analisados neste trabalho a partir da avaliação quantitativa desse agente em equipamentos de transporte de carga e de processo de fabricação. Para os resultados de vibração, que estão acima do limite segundo as normas supracitadas, são citadas medidas preventivas e corretivas para reverter o quadro de insalubridade oferecendo ao colaborador melhores condições de trabalho e saúde laboral.

3.2 EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS ALVOS DO ESTUDO E TIPOS DE VIBRAÇÃO ANALISADAS

Analisou-se a vibração humana em alguns colaboradores da empresa B, que trabalham rotineiramente com lixadeiras em atividades de acabamento de peças fabricadas pela empresa e empilhadeira responsável por transporte de material na área industrial.

3.2.1 VIBRAÇÃO LOCALIZADA

Para a análise da exposição a vibração localizada no que se refere a mãos e braços, realizaram-se medições das acelerações nas mãos dos trabalhadores para quatro lixadeiras distintas. A primeira delas tem 4 polegadas de diâmetro de disco e é empregada em atividade de acabamento de peças. A segunda possui 9 polegadas de diâmetro de disco e é aplicada em esmerilhamento de peças. A terceira possui 7 polegadas de diâmetro de disco e é aplicada no acabamento para a preparação de montagem. A quarta e última lixadeira é do tipo alta frequência aplicada no lixamento de peças para o preparo de pintura.

A Figura 6 apresenta o colaborador utilizando a primeira lixadeira de 4 polegadas (A) e outro colaborador utilizando lixadeira de 9 polegadas (B).



Figura 6: 1ª e 2ª lixadeiras analisadas no estudo de caso. Lixadeira de 4 polegadas (A) e lixadeira de 9 polegadas (B).

Fonte: Acervo técnico da empresa, 2014.

A Figura 7 apresenta o terceiro colaborador utilizando a terceira lixadeira de 7 polegadas (A) e outro colaborador utilizando a quarta lixadeira do tipo alta frequência (B).



Figura 7: 3ª e 4ª lixadeiras analisadas no estudo de caso. Lixadeira de 7 polegadas (A) e lixadeira do tipo alta frequência (B).

Fonte: Acervo técnico da empresa, 2014.

Todas as lixadeiras apresentam bom estado de conservação e manutenção e possuem tempo aproximado de uso de 1 a 2 anos. Quanto ao regime de trabalho dos colaboradores, todos eles dedicam aproximadamente 05:20 horas (320 min) de trabalho diário ao manuseio desses equipamentos. O tempo total da jornada de trabalho desses trabalhadores de 08:00 horas (480 min) diária, ou seja, desenvolvem outras atividades complementares além da típica tarefa, nos quais ficam expostos à vibração localizada. O trabalho é do tipo habitual e intermitente, em pé e com relativo esforço físico. Além disso, nenhum dos colaboradores havia registrado queixas e antecedentes médicos até o momento relacionados à vibração quanto a operação cotidiana dos equipamentos.

3.2.2. VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO

A análise de vibração de corpo inteiro realizada em um colaborador foi realizada enquanto ele utilizava uma empilhadeira para fazer o transporte de material, além de carga e descarga do mesmo. O equipamento proporciona efeito vibracional por todo o corpo do trabalhador, sendo assim, um caso na qual a vibração de corpo inteiro se aplica muito bem. A Figura 8 apresenta a empilhadeira durante a realização de tarefas pelo colaborador.



Figura 8: Empilhadeira utilizada no estudo de caso.

Fonte: Acervo técnico da empresa, 2014.

A empilhadeira alvo do estudo de caso é utilizada por aproximadamente nove anos pela empresa. Possui boas características de conservação e manutenção. Quanto ao regime de trabalho do colaborador que opera essa máquina, ele dedica aproximadamente 05:20 horas (320 min) de trabalho diário ao manuseio desse equipamento. O tempo total da jornada de trabalho desse colaborador é de 08:00 horas (480 min) diária, ou seja, desenvolve outras atividades complementares além da típica tarefa na qual fica exposto à vibração de corpo inteiro. O trabalho é do tipo habitual e intermitente, sentado sem relativo esforço físico. Além disso, o colaborador nunca havia registrado queixas e antecedentes médicos até o momento quanto à operação cotidiana do equipamento.

3.3. COLETA DE DADOS PARA O ESTUDO DE CASO

As amostras de vibrações em todos os equipamentos supracitados foram coletadas ao término de novembro de 2014, por um período de uma semana. Uma empresa especializada ficou responsável pelas coletas e tratamento dos dados e posterior confecção de um laudo técnico, no qual esse presente trabalho se baseia.

Utilizou-se um dosímetro de vibrações VIB, para as medições de vibrações ocupacionais de mãos e braços e de corpo inteiro. Esse instrumento está de acordo com as normas ISO 5349 e 2631, Fundacentro (NHO 09 e 10), Diretiva Europeia e ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). O medidor de vibração VIB é do tipo portátil, ergonômico e leve para realizar a medição de dados captados pelos acelerômetros, tratamento do sinal e a transferência de dados armazenados. Esse equipamento coleta níveis de vibração nos eixos X, Y e Z e realiza o cálculo da dose

diária de exposição Aren. O dosímetro conta com o software dB Maestro que auxilia na transferência, análise e emissão de resultados das medições. Por auxílio de um notebook, os dados foram coletados e analisados no software supracitado. Importante ressaltar que o instrumento de medição estava dentro do período de validade de calibração.

3.3.1. METODOLOGIA DE COLETA PARA VIBRAÇÃO LOCALIZADA

Para a avaliação de mão e braço, os acelerômetros triaxiais foram montados em um adaptador e posicionado no ponto onde a energia é transmitida às mãos. Esse esquema de montagem permitiu a coleta dos dados das acelerações para os colaboradores que operavam os quatro tipos de lixadeiras apresentadas. A Figura 9 apresenta acelerômetros triaxiais semelhante aos que foram utilizados (A) e o adaptador de montagem e posicionamento dos acelerômetros no equipamento (B).

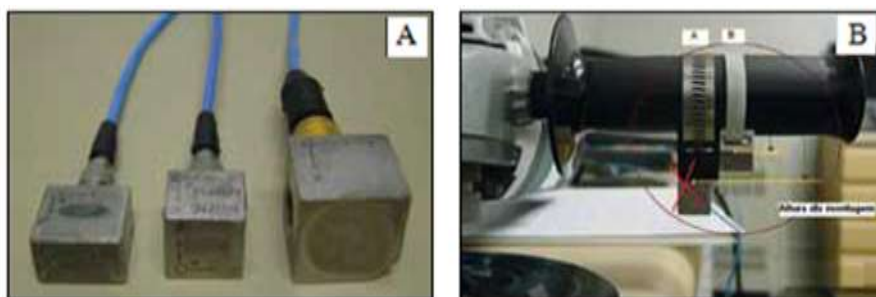


Figura 9: Acelerômetros triaxiais (A) e adaptador para montagem dos acelerômetros no equipamento (B).

Fonte: Fundacentro - NHO 09/2013.

A coleta de dados realizada por meio do dosímetro seguiu os padrões da ISO 5349/2001, a qual estabelece medição de vibração para mãos e braços nas frequências de terças de oitavas compreendidas entre 6,3 e 1.250 Hz. O instrumento através de seu sistema interno pondera as acelerações nas frequências respectivas, dentro da faixa de 5 a 1500 Hz, ou seja, atendendo a norma supracitada. Além disso, o dosímetro apresenta a aceleração ponderada global que apresenta os valores corrigidos em função da sensibilidade, e são exatamente esses valores de acelerações medidos nos eixos X, Y e Z que foram usados para cálculo do Are e Aren. Avalia-se também a estimativa de tempo em anos para que 10 % dos trabalhadores expostos à vibração adquiram a síndrome de Raynaud (dedo branco).

3.3.2. METODOLOGIA DE COLETA PARA VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO

No caso de medição de corpo inteiro foi utilizado o acelerômetro de assento montado no banco onde o operador permanece sentado ao utilizar o equipamento. Esse esquema de montagem permitiu a

coleta dos dados das acelerações para o colaborador que operava a empilhadeira. A Figura 10 apresenta o acelerômetro de assento semelhante ao que foi utilizada (A) e a montagem do mesmo no assento (B).

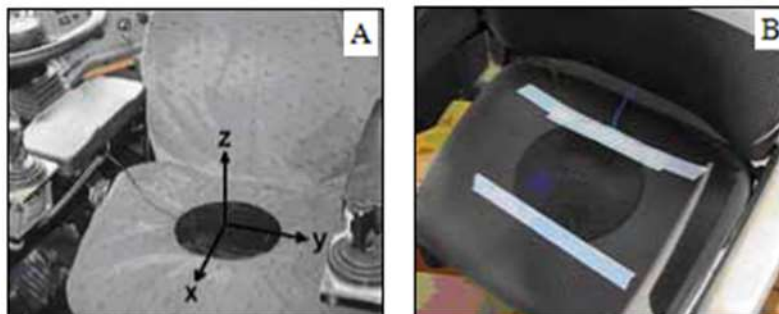


Figura 10: Acelerômetro de assento (A) e montagem do mesmo (B).

Fonte: Fundacentro - NHO 10/2013.

Na avaliação do corpo inteiro a faixa de frequência analisada foi de 0,5 a 80 Hz conforme a ISO 2631/2010, sendo que a região de maior sensibilidade do ser humano é de 4 a 8 Hz para o eixo longitudinal Z e 1 a 2 Hz para os eixos transversais X e Y.

Durante a medição da vibração, o dosímetro multiplica a aceleração pela ponderação correspondente a cada frequência, pois a resposta do corpo humano à vibração não é linear em todas as frequências. Isso se justifica porque é necessário corrigir as respostas de sensibilidade nas diferentes frequências. A avaliação do efeito da vibração sobre a saúde deve ser feita independentemente em cada eixo, devendo ser considerado o maior valor das acelerações ponderadas nas frequências medidas nos três eixos do assento. Então, dos dados coletados das acelerações nos eixos X, Y e Z, são utilizados as acelerações ponderadas, as quais são utilizadas para os cálculos do A_{re} e A_{rn} . Analisa-se também o do fator de crista das acelerações para a determinação do valor da dose de vibração VDV.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. RESULTADO PARA VIBRAÇÃO LOCALIZADA

Realizaram-se as medições de vibrações nos três eixos para os casos de utilização dos quatro tipos de lixadeiras. A Figura 11 apresenta a tela de registros das vibrações do software dB Maestro, ao longo do intervalo de medições para os três eixos, no caso da lixadeira de alta frequência.

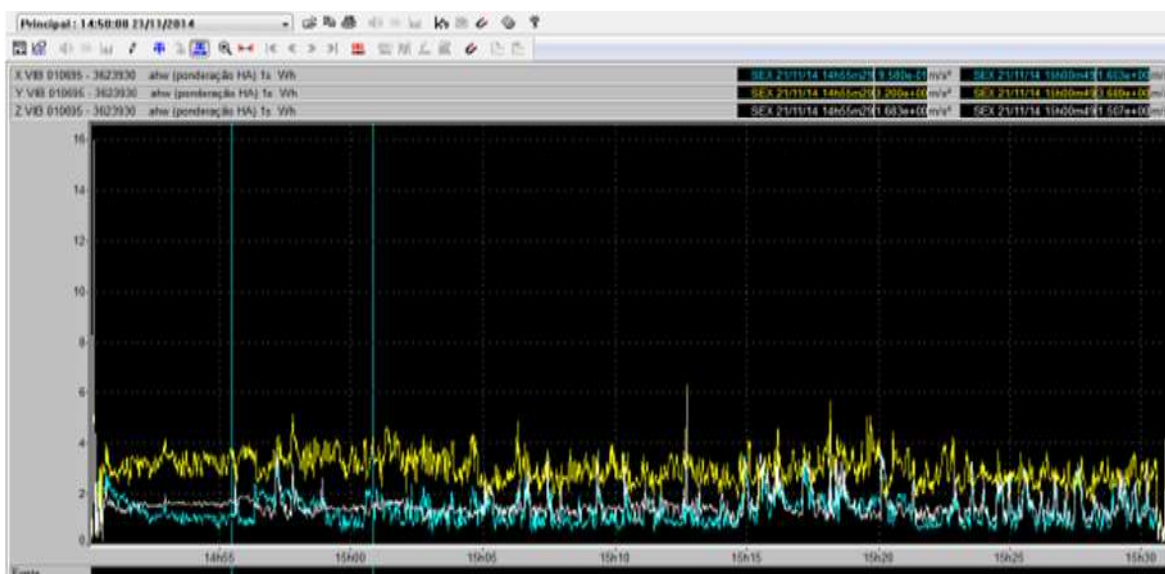


Figura 11: Tela de registro das acelerações nos três eixos para o caso da lixadeira de alta frequência.

Fonte: Acervo técnico da empresa, 2014.

Nota-se a variação das vibrações instantâneas a cada instante de tempo, sendo assim necessária a identificação das acelerações ponderadas nos três eixos. O software utilizado pelo equipamento de medição de vibração armazenou os dados das vibrações e calculou as acelerações ponderadas nos três eixos. Esses dados das acelerações ponderadas foram fundamentais para os cálculos dos parâmetros para avaliação quantitativa do efeito da vibração sobre o colaborador. As Figuras 12, 13 e 14 apresentam as telas de registro das acelerações para as demais lixadeiras.

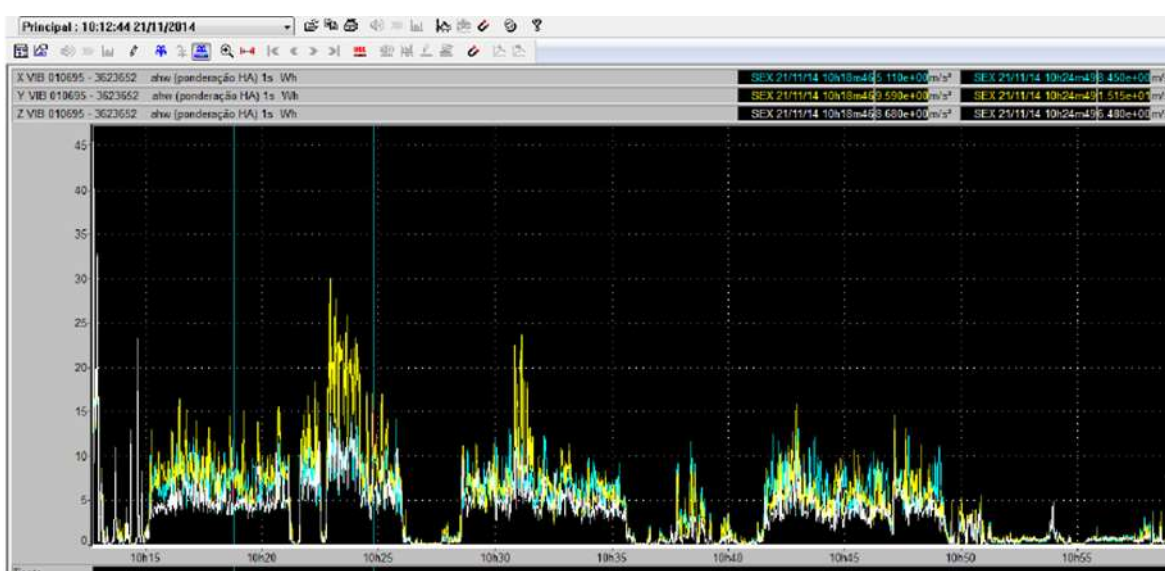


Figura 12: Tela de registro das acelerações nos três eixos para o caso da lixadeira de 9 polegadas.

Fonte: Acervo técnico da empresa, 2014.

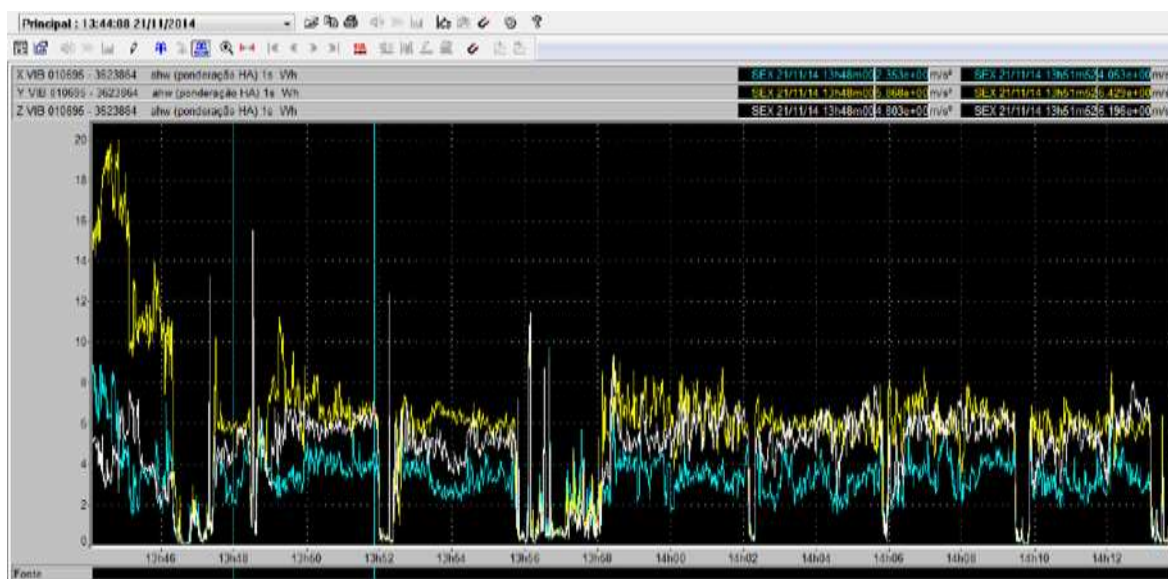


Figura 13: Tela de registro das acelerações nos três eixos para o caso da lixadeira de 7 polegadas.

Fonte: Acervo técnico da empresa, 2014.

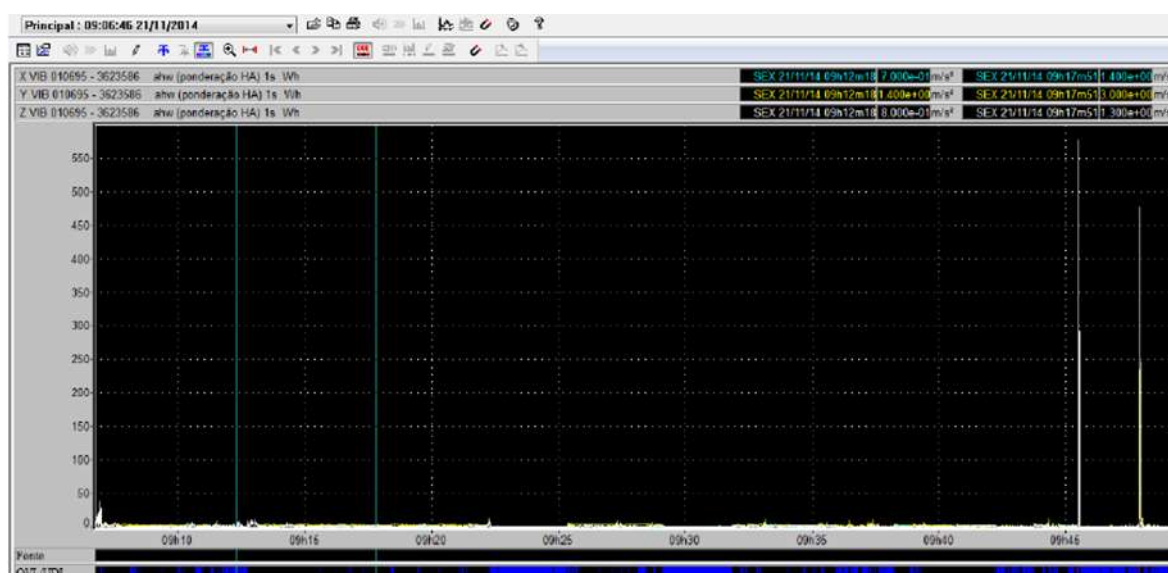


Figura 14: Tela de registro das acelerações nos três eixos para o caso da lixadeira de 4 polegadas.

Fonte: Acervo técnico da empresa, 2014.

Para o caso da lixadeira de 4 polegadas, o gráfico de registros das acelerações está com a escala pequena, não sendo possível perceber em detalhes as oscilações das vibrações. Porém os gráficos dos outros registros estão com a escala grande e permitem analisar em detalhes as oscilações das vibrações.

As acelerações ponderadas e os tempos de medições nos quais ocorreram as coletas das informações de vibrações para todas as lixadeiras são apresentados na Tabela 1. Esses dados permitiram a realização dos cálculos dos parâmetros de análise de vibração dados pelas equações 6, 7 e 8, são eles:

aceleração total, aceleração resultante de exposição *Are* e aceleração resultante de exposição normalizada *Aren*, respectivamente. No caso do cálculo do *Aren* utiliza-se ainda a informação do tempo de exposição à vibração de 05h:20 para uma jornada de trabalho diária de 08h:00.

Tabela 1: Resultados das medições de vibração localizada

Equipamento	Acelerações ponderadas (m/s ²)			Tempo de medição (min)	Aceleração Total (m/s ²)	<i>Are</i> (m/s ²)	<i>Aren</i> (m/s ²)	Tempo máximo de exposição (min)	D_y (anos)
	X	Y	Z						
Lixadeira 4"	12,44	9,60	15,40	42,60	22,00	22,00	17,96	24,79	1,49
Lixadeira 7"	3,49	6,70	5,00	28,00	9,06	9,06	7,40	146,22	3,81
Lixadeira 9"	5,70	6,88	4,71	46,45	10,10	10,10	8,25	117,64	3,40
Lixadeira Alta Frequência	1,48	3,02	1,64	41,12	3,74	3,74	3,06	857,12	9,73

Segundo as considerações técnicas da norma NHO 10 apresentadas na tabela da Figura 5, o valor máximo de *Aren* para a exposição de vibração se enquadrar dentro de valores aceitáveis é de até 2,5 m/s², acima disso requer que sejam tomadas medidas preventivas. Já com relação ao limite de exposição, o valor é de 5 m/s², ou seja, acima disso é considerado condição insalubre e necessidade imediata de medidas corretivas. Conclui-se que as lixadeiras de 4, 7 e 9 polegadas os colaboradores apresentaram exposição a acelerações acima do limite de exposição da norma supracitada, necessitando de tomada de medidas corretivas imediatas, sendo o caso da lixadeira de 4 polegadas o mais crítico de todos os outros casos. Para o caso da lixadeira de alta frequência a exposição a vibração, embora abaixo do limite de exposição, está acima do nível de ação, requerendo tomadas de medidas preventivas.

Ainda com relação a análise dos dados da Tabela 1, estimaram-se os tempos máximos de exposição diária dos colaboradores operando as lixadeiras nas condições de exposição de vibrações atuais e de jornada de trabalho. Conclui-se que os tempos permitidos, isto é, o qual estaria abaixo do limite de exposição, são abaixo do tempo atual de trabalho exposto a vibração para os casos das lixadeiras de 4, 7 e 9 polegadas, principalmente para a operação da lixadeira de 4 polegadas, a qual apresenta maior criticidade de exposição de vibração ao colaborador. Analisando-se o caso da lixadeira de alta frequência, o tempo diário de operação do equipamento poderia ser maior que o tempo atual de trabalho. Logo o trabalhador poderia operar o equipamento por um tempo maior do que o habitual

sem estar em situação de insalubridade por vibração, logicamente, se atendendo na realização de medidas preventivas para a saúde laboral do colaborador.

Segundo análise do valor do A_{ren} aplicado a estimativa de produzir a síndrome do dedo branco em 10 % das pessoas expostas à vibração para determinado tempo em anos é apresentado também na Tabela 1, com base na utilização da equação 9. Nota-se que em menos de 4 anos de exposição essa estimativa ocorrerá em três das lixadeiras, exceto a de alta frequência, a qual leva cerca de quase 10 anos.

4.2. RESULTADO PARA VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO

Realizaram-se as medições de vibrações nos três eixos para os casos de utilização da empilhadeira. A Figura 15 apresenta a tela de registros das vibrações do software dB Maestro ao longo do intervalo de medições para os três eixos.

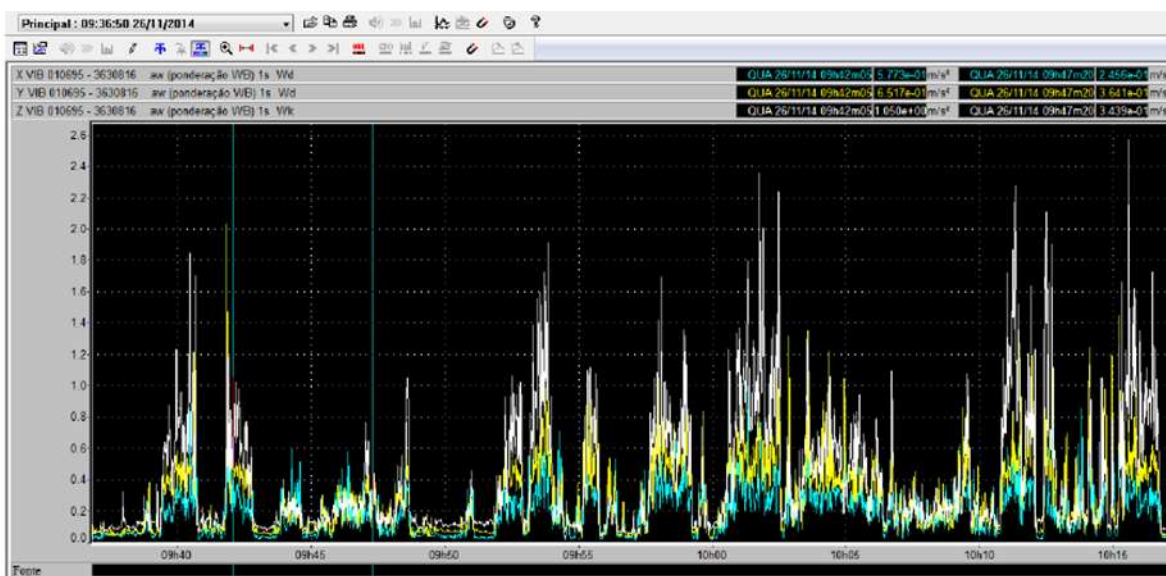


Figura 15: Tela de registro das acelerações nos três eixos para a empilhadeira.

Fonte: Acervo técnico da empresa, 2014.

As acelerações ponderadas e os tempos de medições, nos quais ocorreram as coletas das informações de vibrações para todas as lixadeiras, são apresentados na Tabela 2. Esses dados permitiram a realização dos cálculos dos parâmetros de análise de vibração dados pelas equações 1, 2 e 3, são eles: aceleração total, aceleração resultante de exposição A_{re} e aceleração resultante de exposição normalizada A_{ren} , respectivamente. No caso do cálculo do A_{ren} , utiliza-se ainda a informação do tempo de exposição à vibração de 05h:20 para uma jornada de trabalho diária de 08h:00.

Tabela 2: Resultados das medições de vibração de corpo inteiro

Equipamento	Acelerações ponderadas (m/s ²)			Tempo de medição (min)	Aceleração Global (m/s ²)	Are (m/s ²)	Aren (m/s ²)	Tempo máximo de exposição (min)
	X	Y	Z					
Empilhadeira	0,25	0,35	0,53	40,38	0,80	0,80	0,65	902,56

Segundo as considerações técnicas da norma NHO 09 apresentadas na tabela da Figura 3, o valor máximo de *Aren* para a exposição de vibração se enquadrar dentro de valores aceitáveis é de até 0,5 m/s², acima disso requer que sejam tomadas medidas preventivas. Já com relação ao limite de exposição, o valor é de 1,1 m/s², ou seja, acima disso é considerada condição insalubre e necessidade imediata de medidas corretivas. Pela análise dos resultados cálculos, a exposição a vibração na utilização da empilhadeira, embora abaixo do limite de exposição, está acima do nível de ação, requerendo tomadas de medidas preventivas.

Ainda com relação a análise dos dados da Tabela 2, estimou-se o tempo máximo de exposição diária do colaborador operando a empilhadeira nas condições de exposição de vibração atual e de jornada de trabalho. Conclui-se que o tempo permitido, isto é, o qual estaria abaixo do limite de exposição, poderia ser maior que o tempo atual de trabalho exposto a vibração. Logo o trabalhador poderia operar o equipamento por um tempo maior do que o habitual, sem estar em situação de insalubridade por vibração, logicamente, se atendendo na realização de medidas preventivas para a saúde laboral do colaborador.

Segundo a análise do fator de crista das acelerações para a determinação do valor da dose de vibração VDV, calculados pelo software do dosímetro baseado nas equações 4 e 5, obteve-se um valor de fator de crista inferior a 9,1 m/s^{1,75} na qual está na faixa técnica aceitável. A Tabela 3 apresenta os resultados encontrados para os valores de crista.

Tabela 3: Resultados para fator de crista.

Equipamento	Fator de crista (m/s ^{1,75})			Valor máximo (m/s ^{1,75})
	X	Y	Z	
Empilhadeira	6,38	4,78	5,50	6,38

Como o máximo valor do fator de crista é inferior ao limite de exposição, não há necessidade de considerar o valor da dose de vibração *VDV*, pois segundo o critério de avaliação da tabela da Figura 3 da norma NHO 09, o valor da aceleração supracitada está dentro da faixa aceitável.

4.3 ADOÇÃO DE MEDIDAS

Conforme discutido, as situações de vibração localizada e de corpo inteiro, para os casos de utilização de três lixadeiras (4, 7 e 9 polegadas) é necessária tomada de medidas corretivas imediatas, pois os níveis de vibração nos quais os trabalhadores estão expostos são acima do limite de tolerância. Já para a lixadeira de alta frequência, classificada como vibração localizada e para a empilhadeira classificada como vibração de corpo inteiro, necessita-se de adoção de medidas preventivas para melhoria da saúde laboral dos trabalhadores que operam esses equipamentos, pois as análises das vibrações indicaram exposição a valores acima do nível de ação e abaixo do limite de exposição.

4.3.1 MEDIDAS PREVENTIVAS

- Realizar monitoramento periódico da exposição;
- Realizar treinamento quanto aos riscos decorrentes da exposição à vibração e a forma correta de utilização dos equipamentos para ficarem menos expostos às vibrações;
- Realizar vigilância focada aos efeitos da exposição à vibração;
- Nas exposições as vibrações localizadas devem ser estabelecidas praticas adequada de trabalho que permitam manter aquecidas as mãos;
- Criar procedimento de trabalho e métodos alternativos para reduzir a exposição a vibrações;
- Controle médico dos trabalhadores expostos a vibração conforme determina a NR-07- Programa de Controle Medico de saúde ocupacional.

4.3.2 MEDIDAS CORRETIVAS

- Realizar manutenção nos equipamentos existentes no setor;
- Realizar estudo para melhoria no processo ou melhoria no equipamento;
- Reduzir o tempo de exposição a vibração promovendo rodízios e pausas;
- A calibração de pneus da empilhadeira contribui para diminuição das vibrações transmitida;

- Utilização de luvas anti vibração para utilização das lixadeiras.

5 CONCLUSÃO

Ao fim das avaliações da vibração ocupacional dos trabalhadores, constatou-se que com a utilização das lixadeiras de 4, 7 e 9 polegadas, os colaboradores apresentaram exposição a acelerações acima do limite de exposição da norma NR 15- Anexo 8, necessitando de tomada de medidas corretivas imediatas, sendo a lixadeira de 4 polegadas o cenário mais crítico. Algumas medidas corretivas propostas foram: manutenção nos equipamentos existentes no setor, redução do tempo de exposição a vibração promovendo rodízios e pausas, criar procedimento de trabalho e métodos alternativos para reduzir a exposição a vibrações, entre outras medidas. Para o caso da lixadeira de alta frequência a exposição a vibração, embora abaixo do limite de exposição, está acima do nível de ação, requerendo tomadas de medidas preventivas.

Com base nos resultados dos tempos máximos de exposição diária dos colaboradores operando as lixadeiras nas condições de exposição de vibrações atuais e de jornada de trabalho, pode-se concluir que os tempos permitidos estão abaixo do tempo atual de trabalho exposto a vibração para os casos das lixadeiras de 4, 7 e 9 polegadas, principalmente para a operação da lixadeira de 4 polegadas, a qual apresenta maior criticidade de exposição de vibração ao colaborador. Analisando-se o caso da lixadeira de alta frequência, o tempo diário de operação do equipamento poderia ser maior que o tempo atual de trabalho.

Já em relação a análise dos resultados calculados, referentes a utilização da empilhadeira, constatou-se que a vibração, embora abaixo do limite de exposição, está acima do nível de ação, requerendo tomadas de medidas preventivas, entre elas: monitoramento periódico da exposição, treinamentos quanto aos riscos decorrentes da exposição à vibração, controle médico dos trabalhadores, entre outras.

REFERÊNCIAS

- BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentar 15: Atividades e operações insalubres – Anexo 08: Vibração, 2014;
- FUNDACENTRO. Norma de higiene ocupacional: NHO 09 - Avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro: procedimento técnico. São Paulo: Fundacentro, 2013;
- FUNDACENTRO. Norma de higiene ocupacional: NHO 10 - Avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços: procedimento técnico. São Paulo: Fundacentro, 2013;
- GONÇALVES, F. B; CATAI, R. E. Avaliação da vibração e ruído ocupacionais no fresamento de pisos industriais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Brasil Espacios. Vol. 36, 2015;
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Guia para medição e avaliação da exposição humana a vibrações de corpo inteiro - ISO 2631. Genebra: ISO, 1997;
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Guia para medição e avaliação da exposição humana a vibrações transmitidas à mão - ISO 5349. Genebra: ISO, 2001;
- SALIBA, T. Manual prático de avaliação e controle de VIBRAÇÃO. São Paulo: LTR, 2013.