

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE DO NÍVEL DE EXPOSIÇÃO À VIBRAÇÃO E RUÍDO EM UM POSTO DE  
TRABALHO EM UNIDADE DE CORTE E DOBRA DE AÇO

por

Bruno Streb Vieira

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Dezembro de 2012.



Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Departamento de Engenharia Mecânica

ANÁLISE DO NÍVEL DE EXPOSIÇÃO À VIBRAÇÃO E RUÍDO EM UM POSTO DE  
TRABALHO EM UNIDADE DE CORTE E DOBRA DE AÇO

por

Bruno Streb Vieira

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Arnaldo Ruben Gonzalez  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Mecânica dos Sólidos**

Orientador: Prof. Dr. Herbert Martins Gomes

Comissão de Avaliação:

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Letícia Fleck Fadel Miguel

Prof. Dr. Juan Pablo Raggio Quintas

Prof. Dr. Edson Hikaro Aseka

Porto Alegre, 17 de Dezembro de 2012.

Ao meu pai *Paulo Roberto Gonçalves Vieira (in memoriam)* e  
ao meu grande amigo *Rocky (in memoriam)*.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à minha mãe *Marguit Emilia Streb Vieira* que como uma mãe zelosa me apoiou durante toda a vida, incentivando todos os meus movimentos, apoiando cada decisão tomada e lembrando-me que nada é por acaso, tudo é fruto de nosso trabalho e de nossas atitudes.

Ao meu irmão *Ricardo Streb Vieira* por nunca me deixar parado na em uma zona de conforto, e por ter preenchido um espaço que foi deixado aberto em nossa família, com muito empenho e dedicação, nunca esquecendo a alegria e bom humor.

Ao meu irmão *Paulo Streb Vieira* por sempre ser um exemplo de ser humano em todas as suas atitudes e ser um dos meus maiores incentivadores.

Ao meu irmão *Matheus Streb Vieira* por sempre me apoiar, incentivar, criticar, ensinar e me amar acima de tudo, me forçando a lutar todos os dias para ser uma pessoa melhor.

Aos do basquete, principalmente a meus treinadores *Nédson Meira* e *João Niderauer*, por seus ensinamentos e auxílio na formação do meu caráter.

Aos companheiros e amigos do *Jaws* que sem a sua amizade certamente à vida não teria a mesma graça.

Aos colegas de graduação, pela amizade, coleguismo e as diversas noites em claro.

Aos meus irmãos por escolha, *Nicolás Pizzini* e *Lucas Lauck* por terem convivido comigo durante toda a minha adolescência, firmando uma amizade verdadeira e para sempre.

Ao meu melhor amigo *Bruno Prolo* por ser uma das pessoas mais importantes da minha vida e que se hoje posso sorrir é certamente por sua causa.

À minha namorada *Lili França Paiva* por todos os maravilhosos dias em sua companhia.

Ao meu pai *Paulo Roberto Gonçalves Vieira* que proporcionou para mim um convívio com a engenharia desde o início da minha vida, que é para mim um ídolo, e que como os grandes ídolos da história da humanidade, se foi prematuramente deixando uma lacuna imensurável em meu coração.

Ao meu orientador, *Prof. Dr. Herbert Martins Gomes* pela oportunidade da realização do trabalho de conclusão em um tema extremamente atual, por todo o seu auxílio e ensinamentos.

VIEIRA, B. S. **Análise do nível de exposição à vibração e ruído em um posto de trabalho em unidade de corte e dobra de aço**. 2012. 20 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta um estudo diretamente ligado à segurança do trabalho, sendo realizado um mapeamento e a avaliação dos riscos potenciais à saúde a que um trabalhador de uma unidade de corte e dobra de vergalhões de aço está exposto durante a jornada de 8 horas de trabalho. Foram escolhidos dois aspectos para primeira avaliação da salubridade do posto de trabalho. Um dos aspectos estudado tem relação com a vibração no corpo humano, sendo realizadas medições de vibração através da aceleração nos 3 eixos ortogonais x, y e z, na plataforma de trabalho e avaliado o risco oferecido ao trabalhador comparando-se com as normas específicas, ISO 2631 e Diretiva Europeia 2002/44. O segundo aspecto estudado tem relação com o ruído ocupacional. São realizadas as medições do ruído através do NPS (Nível de Pressão Sonora) no posto de trabalho e montado o espectro de frequências em oitavas a fim de avaliar a eficácia dos protetores auriculares (fornecidos pela empresa a seus trabalhadores), através de dois métodos (longo e curto). Com os resultados, pode-se notar de um modo geral, que o local está em conformidade com a NR 15, ISO 2631 ou Diretiva Europeia 2002/44 quanto ao ruído e à vibração, havendo espaço para trabalhos futuros na avaliação de outros aspectos que podem gerar insalubridades nos trabalhadores.

**PALAVRAS-CHAVE:** vibrações no corpo humano, ruído ocupacional, segurança do trabalho, medições de ruído e vibração.

VIEIRA, B. S. **Vibration and noise exposure levels analysis in steel cutting and bending unit workplace**. 2012. 20 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

## **ABSTRACT**

This paper presents a research related directly to work safety, being carried out an assessment and mapping of potential health risks that an employee is exposed in a steel rebar cutting and bending unit, during the 8h workday journey. Two aspects were chosen for initial evaluation of the job's health. One aspect studied is that related to the human whole-body vibration. Vibration measurements were performed at 3 orthogonal axes x, y and z in the workplace's platform and assessed the risk posed to workers comparing with some standards, ISO 2631 and European Directive 2002/44. The second studied aspect is related to occupational noise. SPL (Sound Pressure Level) measurements were performed in the workplace, and the 1/1 octave spectrum was evaluated. This make possible to assess the effectiveness of earplugs provided by the company, using two evaluation methods (long and short method). By the results, generally speaking, it could be noticed that the workplace complies with NR 15 and ISO 2631 or European Directive 2002/44 regarding noise and vibration, thus remaining the assessment of other aspects that may cause unhealthy effects to workers.

**KEYWORDS:** human body vibration, occupational noise, work safety, noise and vibration measurements.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	ii
ABSTRACT .....	iii
SUMÁRIO .....	iv
ÍNDICE DE TABELAS .....	vi
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Objetivos e motivação .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	2
2.1. Definição de vibração .....	2
2.2. Efeitos das vibrações mecânicas no organismo humano .....	2
2.3. Efeitos do ruído no organismo humano .....	3
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	4
3.1. Metodologia de avaliação da saúde quanto à vibração .....	4
3.1.1. Equipamento de medição para vibração .....	5
3.2. Metodologia para avaliação do ruído .....	6
3.2.1. Equipamento de medição para ruído .....	7
3.2.2. Equipamentos proteção auricular .....	8
3.3. Posto de trabalho avaliado .....	8
3.3.1. Instrumentação para medição da vibração .....	9
3.3.2. Instrumentação para medição do ruído .....	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	10
4.1. Resultados das medições de vibração .....	10
4.2. Resultados das medições de ruído .....	12
4.2.1. Protetores auriculares .....	12
5. CONCLUSÕES .....	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	14
ANEXO A .....	16
ANEXO B .....	16
ANEXO C .....	17
APÊNDICE A .....	18
APÊNDICE B .....	19

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Modelo mecânico do corpo humano, sujeito a vibração vertical, com suas frequências de ressonância (Fonte: adaptado de BRÜEL & KJAER, 2000).....	3
Figura 3.1. - Limites de tempo exposição diária em função da aceleração ponderada pela frequência para corpo inteiro (Fonte: Adaptado da ISO 2631-1, 1997).....	5
Figura 3.2 - Instrumento de medição de vibração Quest VI-400Pro e desenho esquemático do <i>seat pad</i> . ....	6
Figura 3.3 – Instrumentos de medição de ruído, decibelímetro Quest modelo 1900.....	8
Figura 3.4 - Protetores auriculares, a) protetor de inserção moldável, b) protetor concha, c) protetor inserção pré-moldado.....	8
Figura 3.5 – Máquina FlexiPlus, Omes.....	9
Figura 3.6 - Posicionamento do transdutor e eixo de coordenadas. ....	9
Figura 3.7 - Posicionamento do decibelímetro.....	10
Figura 4.1 - Aceleração durante um ciclo de trabalho.....	11
Figura 4.2 - Exposição diária à vibração A (8) no referido posto de trabalho. ....	11
Figura 4.3 - Espectro de sonoro em 1/1 bandas de oitava de frequências.....	12
Figura A.1- Sistema de coordenadas basicêntrico adotado para vibração corpo inteiro (fonte: ISO 2631-1:1997).....	16
Figura B.1 - Curvas de ponderação $W_k$ , $W_d$ e $W_b$ , ISO 2631-1 (1997).....	16
Figura C.1 – Certificados de Aprovação. ....	17
Figura A.A.1 - Aceleração total ponderada rms, $A_v$ em $m/s^2$ . ....	18
Figura A.B.1 – Eficiência do protetor auricular de inserção pré-moldado, CA 8092. ....	19
Figura A.B.2 – Eficiência do protetor auricular tipo concha, CA 28089. ....	19
Figura A.B.3 – Eficiência do protetor auricular de inserção moldável, CA 5674.....	20

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente (FONTE: adaptado do Anexo 2, NR15).....	6
Tabela 4.1 - Método longo aplicado ao protetor auricular de inserção pré-moldado, CA 8092.	12
Tabela 4.2 - Método longo aplicado ao protetor auricular tipo concha, CA 28089. ....	13
Tabela 4.3 - Método longo aplicado ao protetor auricular de inserção moldável, CA 5674. ....	13
Tabela 4.4 - Método curto aplicado a todos os protetores auriculares. ....	13
Tabela A.A.1 – Resultados das medições da vibração e cálculo de A(8). ....	18
Tabela A.B.1 – $L_{eq}$ médio das medições de ruído, para montagem do espectro sonoro. ....	19

## 1. INTRODUÇÃO

A vibração está presente em basicamente qualquer tipo de atividade humana, ela pode ser definida como uma flutuação do movimento mecânico a partir de um ponto de equilíbrio. As vibrações na indústria podem ter origens diversas, sendo as principais, as produzidas por um processo de transformação, as ligadas aos modos de funcionamento das máquinas e materiais e aquelas devidas a defeitos das máquinas (desbalanceamento e desalinhamento).

Como é sabido, as vibrações mecânicas e acústicas (ruído), geradas na indústria, podem criar ambientes desconfortáveis e de insalubridade laboral. Apesar de se tratar de ondas mecânicas, os efeitos causados pela vibração e pelo ruído são diferentes. O ruído pode gerar problemas principalmente nos órgãos relacionados a audição, como ouvido e gerando doenças relacionadas com a perda da audição, além disso, também pode gerar fadiga, estresse, dores de cabeças entre outros efeitos. Já as vibrações mecânicas podem afetar diversas partes do corpo, ou mesmo o corpo como um todo, também podendo causar perda de eficiência e enjoos.

De acordo com TREBIEN *et al* 2010, toda empresa moderna que deseja sobreviver e crescer deve valorizar o ser humano. A sua saúde e satisfação não deve ser encarada como filantropia da empresa, mas uma garantia de sobrevivência da mesma, considerando características individuais do ser humano e que refletem automaticamente nos níveis de desempenho e na qualidade de vida e saúde dos mesmos. As condições do ambiente de trabalho refletem como dito, em impactos na saúde e bem estar do trabalhador. Dentre os aspectos comumente avaliados estão a ergonomia, a acústica, a vibração, a temperatura, a luminosidade, a qualidade do ar, a pressão atmosférica, e a presença de radiações ionizantes. Todos estes aspectos, isolados ou em conjunto contribuem para o bem estar e salubridade deste ambiente.

Segundo trabalho de TOSIN, 2009 e valendo-se de dados mais atualizados, o Anuário Estatístico da Previdência Social, AEPS de 2010, as partes do corpo com maior incidência em doenças do trabalho foram o ombro com 19%, o dorso (inclusive músculos dorsais, coluna e medula espinhal) com 12,5% e ouvido (externo, médio, interno, audição e equilíbrio) com 10,2%. Essas doenças podem ter como causas raízes vibrações mecânicas e sonoras (ruído), por isso, a investigação do motivo inicial das causas dessas enfermidades é de suma importância para a sociedade.

Ainda segundo TREBIEN *et al*, 2010, o ambiente de trabalho pode expor os trabalhadores a vibrações severas sofridas pelas mãos (ferramentas vibrantes), podem provocar danos neurológicos, circulatórios, modificação da força muscular e da destreza manual. Podem ocorrer danos graves que são reconhecidos como doenças ocupacionais. Já as vibrações aplicadas ao corpo inteiro (veículos, pisos vibrantes, etc.) podem provocar ressonâncias nas vísceras e solicitar particularmente os músculos, esqueleto e cartilagens (coluna vertebral) podendo ocasionar problemas de equilíbrio e perda de precisão assim como aspectos subjetivos como irritação e dores de cabeça. No caso do ruído, se ele não for devidamente monitorado pode provocar incômodo ou até mesmo perigo à saúde auditiva, levando em casos menos severos a baixa temporária da acuidade auditiva ou em casos mais graves à surdez.

### 1.1. Objetivos e motivação

Com base nos dados levantados anteriormente (TOSIN, 2009) e a crescente preocupação da indústria com a saúde de seu empregado, foi avaliada a necessidade de realizar um estudo destes agentes nocivos em uma indústria. Por isso será realizado um estudo dos efeitos ocupacionais gerados por vibrações de corpo inteiro e a análise do ruído em um posto de trabalho.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o nível de exposição à vibração e análise do ruído a que um operador de máquina de corte e dobra de vergalhões de aço está submetido em uma jornada normal de trabalho, 8h diárias. Seguidas reclamações dos empregados em

relação ao desconforto na região lombar e membros inferiores, assim como dores de cabeça e cansaço excessivo depois de uma jornada de trabalho servem de motivação para o estudo. Apesar do estudo aqui apresentado apenas abordar os aspectos relacionados à vibração e ao ruído do posto de trabalho, assume-se que estes dois são, no caso analisado, os mais importantes aspectos a serem avaliados. Embora os outros aspectos como ergonomia, temperatura, qualidade do ar, etc. não serem foco deste trabalho, e possuírem legislação pertinente, os tempos necessários para sua avaliação excedem os disponíveis para este TCC, e certamente farão parte de um futuro estudo para a avaliação total do risco na operação no posto de trabalho.

Neste trabalho, a Norma Regulamentadora Brasileira, NR-15 para Atividades e operações insalubres, será utilizada para a análise dos efeitos causados pela vibração mecânica e pelo ruído. No anexo 8 da NR-15 são tratadas as atividades e operações que exponham os trabalhadores à vibrações e neste anexo é indicada a utilização da ISO 2631 e ISO 5349. Como será avaliada uma plataforma de trabalho onde o operador da máquina só recebe vibrações de corpo inteiro, a avaliação dos níveis de vibração será baseada na ISO 2631-1 (1997) – *Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration*. Entretanto esta norma apenas indica zonas de cuidado, não fornecendo valores limites para a exposição, por isso também será utilizada a Diretiva 2002/44/CE do Parlamento Europeu - *Relativo às prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (vibrações)*, que fornece limites claros de exposição à vibração.

Para a avaliação do ruído, serão utilizados os anexos 1 e 2 da NR-15 que indicam os valores limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente e de impacto, respectivamente. Será analisada a eficiência de protetores auditivos ao espectro de bandas de oitava e aos níveis de pressão sonora característico do posto de trabalho e avaliado se a atenuação é suficiente para os valores descritos em norma.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Definição de vibração**

A maioria das atividades humanas envolve algum tipo de vibração. De acordo com SOEIRO, 2011 nós ouvimos, pois o nosso tímpano vibra, nós enxergamos, pois a luz se propaga através de ondas luminosas, a nossa respiração está associada à vibração dos nossos pulmões, o coração impulsiona o sangue através de movimentos vibratórios (batimentos), a vibração das cordas vocais produz o som da nossa voz e todo o tipo de movimento de deslocamento é feito através de vibrações de nossos membros.

Segundo VENDRAME (2003) a vibração consiste em um movimento oscilatório inerente aos corpos dotados de massa e elasticidade. O corpo é dito em vibração quando ele descreve um movimento oscilatório em torno de um ponto de referência. O número de vezes de um ciclo completo do movimento, durante o período de um segundo, é chamado de frequência, e é medido em ciclos por segundo ou Hertz (Hz).

### **2.2. Efeitos das vibrações mecânicas no organismo humano**

Se a frequência de um carregamento externo atuante num sistema coincide com a frequência natural do sistema, ocorre o fenômeno conhecido como ressonância, que implica em amplificação dos movimentos vibratórios. Excitar um sistema de baixo amortecimento em sua frequência de ressonância pode levar o sistema ao colapso, mesmo que a excitação seja de pequena amplitude. O corpo humano é um sistema extremamente complexo, e ainda é difícil definir seu comportamento dinâmico com clareza. A Figura 2.1 apresenta um modelo muito utilizado para demonstrar as frequências de ressonância do corpo humano, sujeito a vibração vertical juntamente com as frequências naturais correspondentes às partes deste corpo.

1. Cabeça	25 Hz
2. Olho	30-80 Hz
3. Tórax	60 Hz
4. Antebraço	16-30 Hz
5. Coluna	10-12 Hz
6. Pulso	50-200 Hz
7. Perna	20 Hz
8. Ombro	4-5 Hz

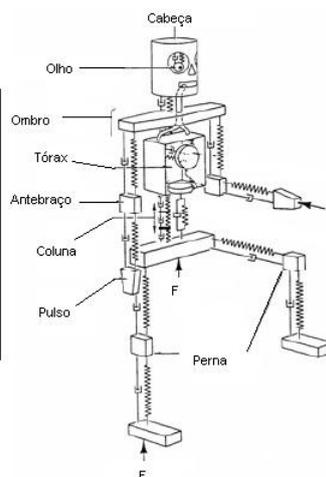


Figura 2.1 - Modelo mecânico do corpo humano, sujeito a vibração vertical, com suas frequências de ressonância (Fonte: adaptado de BRÜEL & KJAER, 2000).

A exposição de pessoas à vibração é classificada seguindo as particularidades dos tipos de vibração:

- Vibrações de Corpo Inteiro ou *Whole Body Vibration* (WBV): são as vibrações que atingem o corpo todo, podem ter maior relevância para a saúde, conforto e percepção na faixa de 0,5 Hz a 80 Hz e para enjoo na faixa de 0,1 Hz a 0,5 Hz;

- Vibrações das Extremidades ou *Hand-Arm Vibration* (HAV): são as vibrações transmitidas às mãos e aos braços, em uma faixa de frequência de 6,3 a 1250 Hz;

É possível também que ocorra a exposição simultânea aos 2 tipos de vibração. (GRIFFIN, 1998). Resumidamente os efeitos da vibração podem ser listados como (VENDRAME, 2005):

- perda de equilíbrio;
- alterações das frequências cardíacas (aumento);
- falta de concentração (efeitos psicológicos);
- visão turva;
- efeitos no sistema gastrointestinal, enjoos, náuseas, gastrites, ulcerações;
- problemas de irrigação sanguínea, degeneração de tecidos e cartilagens;
- perda de sensibilidade.

### 2.3. Efeitos do ruído no organismo humano

Segundo CARMO, 1999, o ruído ambiente afeta o organismo humano de forma direta e indireta, considerando-se a frequência, intensidade, duração e susceptibilidade individual. O ruído atua através do sistema auditivo no sistema nervoso central e autônomo. Quando excedido em seus limites saudáveis, gera efeitos psicossomáticos que vão de tonturas, perdas momentâneas da audição, sono, distúrbios hormonais até aumento do risco de infarto e alterações no sistema imunológico. Tais efeitos podem ser monitorados e até mesmo atenuados com a elaboração de programas educativos e medidas preventivas para a fiscalização dos níveis de ruído.

Os principais efeitos do ruído ambiente no organismo humano podem ser resumidos em:

- interferências com a comunicação;
- mudanças temporárias dos limiares de audição e perdas induzidas por ruído;
- transtornos vestibulares e neurológicos;
- transtornos cardiovasculares;
- transtornos hormonais;
- transtornos do sono e da atenção;
- transtornos comportamentais.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Metodologia de avaliação da saúde quanto à vibração

Para a avaliação dos efeitos que a vibração pode causar na saúde é necessário que se utilize uma norma de referência, uma vez que ela tem o objetivo de uniformizar e garantir o funcionamento do método utilizado em diversas situações distintas, tornando-as assim comparáveis. O presente estudo se baseia na norma ISO 2631-1 (1997) e na Diretiva Europeia 2002/44/CE.

O nível de aceleração rms é considerado o valor mais adequado para a análise das vibrações (SOEIRO, 2011) e é utilizado pela grande maioria das normas e estudos acadêmicos. Ele vem dado por:

$$a_w = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.1)$$

onde  $a_w(t)$  é a aceleração ponderada, translacional ou rotacional, medida em  $m/s^2$  ou  $rad/s^2$ , respectivamente e  $t$  é o tempo de medição em segundos.

Segundo a ISO 2631-1, a vibração deve ser medida seguindo um sistemas de coordenadas tri-axial (x, y e z), com origem no ponto onde é considerado a entrada do movimento vibratório, o Anexo A ilustra as principais direções dos eixos ortogonais em medição. Segundo GRIFFIN (1990), a vibração em diferentes frequências ou em diferentes eixos, pode produzir diferentes sensações/efeitos em diferentes partes do corpo, então para obter-se um valor total da aceleração ponderada, é necessário somar os valores das acelerações de cada eixo, multiplicando por um valor de ponderação ou correção. Para a norma em questão são utilizadas as curvas de ponderação  $W_d$ , para os eixos x e y, e  $W_k$ , para o eixo z, as curvas de ponderação citadas encontram-se no Anexo B. A aceleração total resultante,  $a_v$  é dada por:

$$a_v = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2} \quad (3.2)$$

onde  $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$  e  $a_{wz}$  são as acelerações rms ponderadas, em  $m/s^2$ , nas direções dos eixos ortogonais x, y e z e  $k_x$ ,  $k_y$  e  $k_z$  são fatores de ponderação ou correção dos respectivos eixos ortogonais x, y e z.

Segundo a ISO 2631-1 (1997), para casos onde a exposição à vibração consiste em dois ou mais períodos de exposição para diferentes durações e magnitudes de vibração, calcula-se a vibração total equivalente  $a_{v,e}$ , em  $m/s^2$ , correspondente a duração total de exposição  $T$ , em  $h$ , de acordo com a equação (3.3):

$$a_{v,e} = \left[ \frac{\sum a_{vi}^2 \cdot T_i}{\sum T_i} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

Para determinar a aceleração é necessário fazer uma conversão em relação ao tempo de duração da medição, e o tempo total de uma jornada de trabalho, a norma ISO 2631-1 (1997) indica a utilização do seguinte método:

$$A(8) = a_{v,e} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (3.4)$$

onde  $A(8)$  é a exposição diária à vibração, em  $m/s^2$ ,  $a_{v,e}$  é a aceleração total equivalente, em  $m/s^2$ , dada pela equação (3.2) ou (3.3),  $T$  é a duração diária, em  $h$  e  $T_0$  é a duração de referência, no presente caso utilizando 8 horas de exposição para a jornada de trabalho. Sendo

assim pode-se assumir  $A(8)$  como sendo o valor total da aceleração ponderada pela frequência, equivalente a jornada de trabalho de 8 horas.

Neste trabalho são utilizados dois critérios para avaliação do nível de exposição à vibração em relação a efeitos prejudiciais à saúde. A norma ISO 2631-1 (1997) indica uma zona de cuidado quanto à saúde, indicado pela região entre as linhas tracejadas da equação B.1, na Figura 3.1. Para as exposições abaixo da zona, efeitos na saúde não foram claramente documentados e/ou objetivamente observados; dentro da zona, é necessário cautela em relação aos riscos potenciais à saúde e acima daquela zona, riscos à saúde são prováveis. Essas recomendações se baseiam principalmente em exposições no intervalo de 4h a 8h, como indicado pelo sombreado na mesma Figura 3.1.

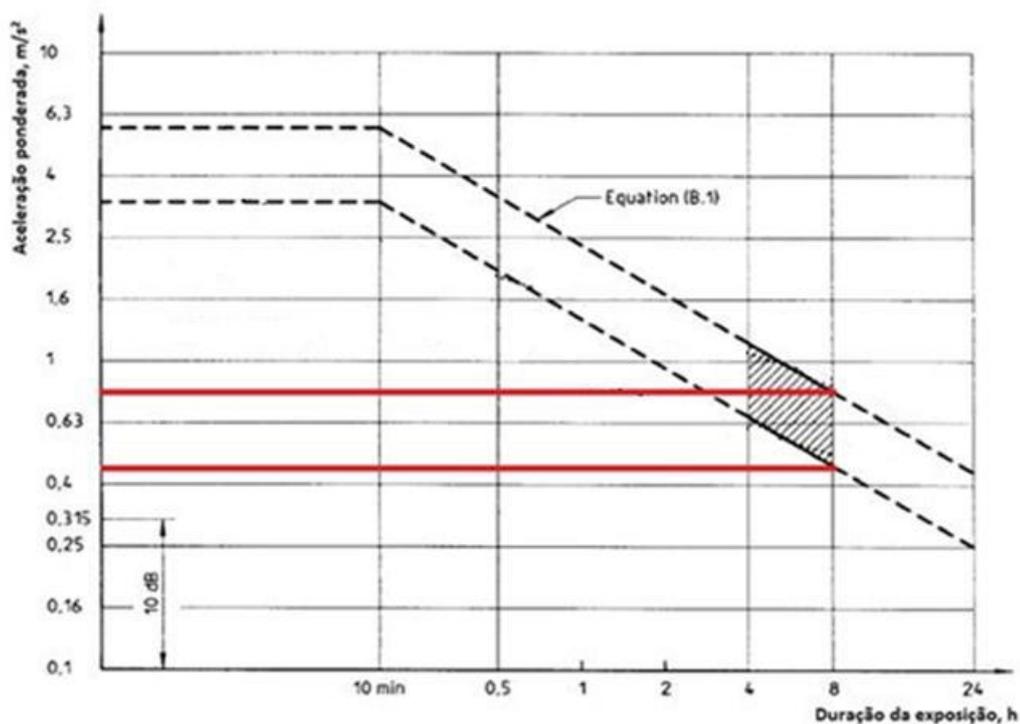


Figura 3.1. - Limites de tempo exposição diária em função da aceleração ponderada pela frequência para corpo inteiro (Fonte: Adaptado da ISO 2631-1, 1997).

A outra abordagem utilizada é o uso dos limites indicados pela Diretiva Europeia 2002/44/CE, que define o valor de  $1,15 m/s^2$  como limite de exposição diária e valores acima de  $0,5 m/s^2$  como valores limite para que sejam tomadas medidas de atenuação à vibração, este limite normatizado é correspondente a um período de referência de 8 horas. O uso desta outra norma vem sendo utilizado mais frequentemente em detrimento da ISO 2631-1 (1997) devido ao fato desta última norma não indicar como sendo “certo” e sim provável, os efeitos prejudiciais à saúde da ultrapassagem dos limites de exposição, fato este indicado como “certo” pela Diretiva Europeia 2002/44/CE.

### 3.1.1. Equipamento de medição para vibração

A aquisição dos dados de vibração é, de uma maneira geral, extremamente difícil, uma vez que é quase impossível que exista vibração em somente uma direção e não exista outro tipo de perturbação. Como citado anteriormente, a melhor maneira de mensurar uma vibração é por meio da aceleração. Sendo assim, são utilizados no presente trabalho os seguintes equipamentos para a aquisição de dados e posterior análise dos mesmos:

- Quest VI-400Pro, S/N 12430 – Analisador de vibração portátil, capaz de gravar os dados em 4 diferentes canais, simultaneamente;

- transdutor *seat pad* modelo 070-030, S/N 646 com acelerômetro tri-axial, sensibilidade nominal 100,3 mV/g em cada um dos eixos.
- *Software QuestSuite Professional II* – *software* para ajuste do instrumento de medição e posterior análise dos dados.

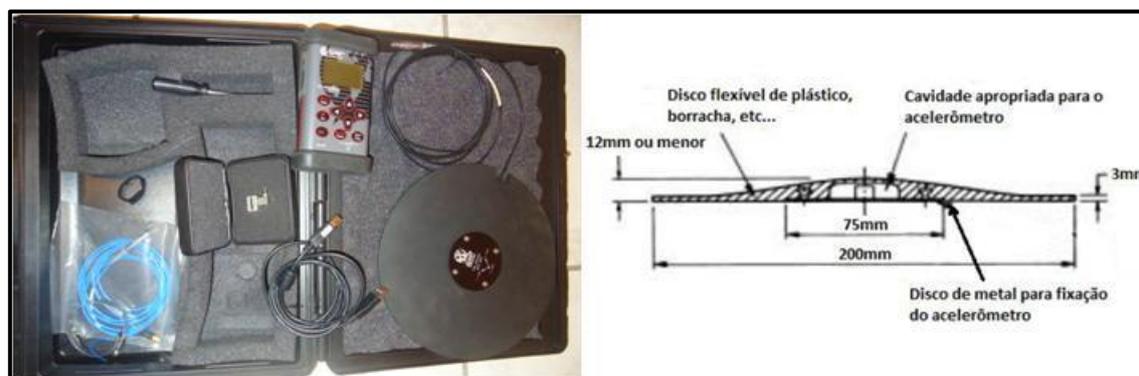


Figura 3.2 - Instrumento de medição de vibração Quest VI-400Pro e desenho esquemático do *seat pad*.

### 3.2. Metodologia para avaliação do ruído

Da mesma forma que os níveis de exposição à vibração necessitam de normatização para avaliar o potencial de risco à saúde, os níveis de exposição ao ruído também necessitam normatização. Sendo assim, no presente trabalho é utilizada a Norma Regulamentadora nº 15 (Brasileira), que fornece limites de nível de pressão sonora (NPS) para este tipo de exposição, em função do tempo de exposição, conforme a tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente (FONTE: adaptado do Anexo 2, NR15)

NÍVEL DE RUÍDO dB (A)	MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL	NÍVEL DE RUÍDO dB (A)	MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL
85	8 horas	96	1 hora e 45 minutos
86	7 horas	98	1 hora e 15 minutos
87	6 horas	100	1 hora
88	5 horas	102	45 minutos
89	4 horas e 30 minutos	104	35 minutos
90	4 horas	105	30 minutos
91	3 horas e 30 minutos	106	25 minutos
92	3 horas	108	20 minutos
93	2 horas e 40 minutos	110	15 minutos
94	2 horas e 15 minutos	112	10 minutos
95	2 horas	114	8 minutos
		115	7 minutos

Como mencionado anteriormente, para a avaliação dos níveis de exposição ao ruído é necessário que se utilize o NPS em função do tempo de exposição. Para estabelecer este tipo de avaliação de NPS de diferentes tempos de exposição, é necessário que se faça a integração do nível de ruído durante um determinado período de tempo, denominado nível de pressão sonora equivalente,  $L_{eq}$ , medido em dB(A) (Medeiros, 2011). O  $L_{eq}$  pode ser calculado conforme a equação (3.5):

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{P^2(t)}{P_0^2} \right) dt \right] \quad (3.5)$$

onde  $T$  é o tempo de integração,  $P(t)$  é a pressão acústica instantânea, medido em  $N/m^2$ ,  $P_0$  é a pressão acústica de referência ( $2 \times 10^{-5} N/m^2$ ).

Outro fator a ser levado em consideração para a análise da exposição ao ruído no posto de trabalho é a atenuação que eventualmente os protetores auriculares promovem (equipamentos de proteção individual). Os protetores auriculares são capazes de reduzir ou atenuar o nível do ruído incidente no ouvido, em função de sua frequência.

O cálculo da atenuação promovida pelo protetor pode ser feito sem levar em conta uma frequência específica. Sendo assim, pode-se realizar a análise do  $NRR_{sf}$  (*Noise Reduction Rating subject fit*), do equipamento de proteção individual, chamado de método curto. Para isso, a avaliação do  $NRR_{sf}$ , utiliza-se a equação (3.6):

$$NPS_{protetor}(dB(A)) = NPS(dB(A)) - NRR_{sf} \quad (3.6)$$

Caso o  $L_{eq}$  medido seja inferior ao NPS do protetor, tem-se uma condição de adequação da proteção à exposição do ruído. Outro modo de calcular a atenuação promovida pelo protetor auricular, que será utilizado para a análise, é montar o espectro de frequências em 1/1 oitava, do ruído gerado no local de trabalho, e assim promover a comparação com os dados fornecidos pelo fabricante, que devem constar no CA (certificado de aprovação). Este é o chamado de método longo. Para obter o ruído total a que o trabalhador está exposto deve-se realizar a soma logarítmica dos NPS nas frequências selecionadas. Estes NPS somados em dB(A) são a subtração aritmética do NPS medido naquela banda de frequência pelo decibelímetro menos a atenuação promovido pelo EPI subtraído dois desvios padrões desta atenuação naquela banda. Assim obtém-se um resultado com 98% de confiança sobre a real efetividade da atenuação promovida pelo EPI. A equação (3.7) indica este cálculo:

$$NPS_t = 10 \log_{10} \left( \sum_{i=1}^n 10^{(NPS_i/10)} \right) \quad (3.7)$$

onde  $n$  é o número de bandas de frequências em que a soma é efetuada.

### 3.2.1. Equipamento de medição para ruído

A aquisição de dados, para análise do espectro de bandas de oitava e aos níveis de pressão sonora, foram realizados com o auxílio dos seguintes equipamentos:

- decibelímetro (sonômetro) Quest modelo 1900;
- calibrador acústico Quest QC-20;
- filtros em oitavas de frequências OB-300 (11 bandas de oitavas e 33 bandas de terços de oitavas);
- tripé para posicionamento dos instrumentos.



Figura 3.3 – Instrumentos de medição de ruído, decibelímetro Quest modelo 1900.

### 3.2.2. Equipamentos proteção auricular

Os equipamentos de proteção auricular escolhidos para a avaliação da atenuação promovida e também da sua efetividade, são os mesmos fornecidos pela empresa à seus colaboradores e todos com o seu respectivo CA (certificado de aprovação) vigente no ministério do trabalho, conforme constam no ANEXO C. Os protetores avaliados são de 3 tipos, tipo de inserção moldável, tipo concha e tipo de inserção pré-moldado, conforme Figura 3.4.



Figura 3.4 - Protetores auriculares, a) protetor de inserção moldável, b) protetor concha, c) protetor inserção pré-moldado.

### 3.3. Posto de trabalho avaliado

Realizaram-se medições de ruído e vibração no posto de trabalho que compreende as tarefas de corte de vergalhões de aço e posterior dobra, mais precisamente no posto de trabalho aonde fica o operador da máquina FlexiPlus, marca Omes, que realiza o corte por cisalhamento de vergalhões de aço e posteriormente envia à outra máquina, a CS 40, também marca Omes, que realiza a dobra dos vergalhões cortados.

As atividades englobadas pelo operador da máquina vão além de apenas apertar botões. Antes do começo da produção, o operador deve realizar o cálculo do encaixe dos cortes das barras, levando em conta as medidas da matéria prima que será utilizada e também aspectos de qualidade como produção de peças com o menor desperdício. Esta etapa é efetuada como primeiro passo na primeira barra produzida durante o dia e depois passa a ser efetuada durante o ciclo de operação da máquina, para poupar tempo. Posteriormente, o operador aciona o comando bi-manual, no CN (comando numérico) da máquina para abertura da tampa de proteção do canal de introdução dos vergalhões, realiza um giro de 180° e com uma das mãos ele levanta as barras selecionadas para o corte, dirigindo-as para o local de introdução do vergalhão, retornando à posição de frente para o CN da máquina e acionando novamente o comando bi-manual para que seja fechada a porta de segurança e só então comece a operação da máquina.



Figura 3.5 – Máquina FlexiPlus, Omes.

### 3.3.1. Instrumentação para medição da vibração

A instrumentação foi realizada utilizando um *seat pad* na interface de contato entre o operador da máquina e a fonte da vibração, que neste caso é a plataforma de apoio dos pés. Foram seguidas as recomendações da norma ISO 2631, em relação à posição de referência para o posicionamento dos eixos ortogonais de vibração e o correto posicionamento dos transdutores, conforme Anexo A. O *seat pad* foi posicionado exatamente entre os pés do operador, sendo fixado pelo próprio operador que se apoiou sobre as bordas, conforme Figura 3.6.

As medições foram feitas englobando todo o ciclo de atividades do operador, começando com a introdução das barras (que inclui o fechamento do dispositivo de proteção e alinhamento das barras), o arraste (tracionamento das barras e medição, até a navalha de corte), o corte (corte realizado por cisalhamento do material), o endereçamento (deslocamento das barras até o local adequado para estocagem ou retrabalho, por meio de esteiras de rolos de poliuretano), e novamente o arraste (das barras que foram cortadas, mas ainda não endereçadas) e o endereçamento.

Foi fornecida a sensibilidade do acelerômetro empregado, utilizando o software, em cada uma das direções ortogonais, antes de serem realizadas as medições. O acelerômetro possui sensibilidade 100 mV/g em x; 98,3 mV/g em y e 101,4 mV/g em z. Segundo a ISO 2631-1, 1997, para a avaliação dos efeitos causados à saúde, deve-se utilizar o coeficiente de ponderação “k” com valores de 1,4 para  $k_x$  e  $k_y$  e 1 para  $k_z$  para as acelerações medidas em cada eixo.

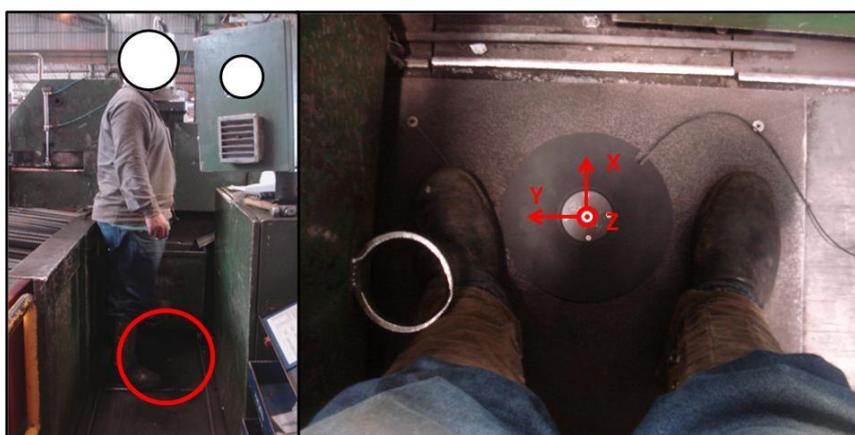


Figura 3.6 - Posicionamento do transdutor e eixo de coordenadas.

### 3.3.2. Instrumentação para medição do ruído

Para a obtenção dos dados relacionados ao ruído gerado no posto de trabalho, foi medido o espectro sonoro de bandas de frequências de 1/1 oitavas, utilizando o decibelímetro

citado anteriormente, com um filtro de bandas de frequência acoplado no mesmo, aferindo-o antes e após cada medição. Assim, como na aquisição dos dados referentes à vibração, as medições do ruído foram realizadas englobando todo o ciclo da atividade do operador em questão. Os instrumentos foram posicionados na altura da zona auditiva, Figura 3.7, com o decibelímetro com parâmetros de circuito de ponderação “A”, resposta lenta, critério de referencia de 85 dB(A), nível limiar de integração de 80 dB(A) e faixas de medição variando de 20 a 80 dB(A) até 60 a 120 dB(A) dependentes da faixa do filtro de frequências.



Figura 3.7 - Posicionamento do decibelímetro.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados em forma de gráficos e tabelas e sempre que necessários comparados com os valores relevantes que constam nas normas predefinidas, de forma a criar um ambiente comparativo e de fácil entendimento dos resultados. Para tornar mais dinâmica a apresentação dos resultados, eles serão mostrados para seus valores extremos obtidos nas medições, ou seja, os que apresentaram maiores possibilidades de prejuízos à saúde, conforme as normas de referência.

##### 4.1. Resultados das medições de vibração

Os resultados completos das medições de vibração no posto de trabalho estão apresentados nas tabelas do Apêndice A. A seguir são apresentados os principais resultados obtidos nas medições.

As medições foram feitas com 3 operadores diferentes durante os 3 turnos de trabalho dos mesmo. Para cada medição foi considerado um ciclo representativo do turno de trabalho, este ciclo oscilou entre 19 e 25 segundos.

Para cada medição realizada no posto de trabalho, foi obtido um valor da aceleração *rms*, em cada um dos eixos ortogonais, x, y e z, sendo representados por  $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$  e  $a_{wz}$ , estes valores de aceleração fornecidos pelo aparelho, que já levam em conta as curvas de ponderação  $W_d$  e  $W_k$  para cada eixo. Utilizando a equação (3.2) obtém-se aceleração total *rms*,  $a_v$ , ponderada em relação às frequências em cada um dos 3 eixos. Para a ponderação são utilizados os coeficientes de ponderação “k” que assumem o valor de 1,4 para os eixos x e y e 1 para o eixo z, conforme explicitado anteriormente.

O cálculo da exposição diária à vibração,  $A(8)$ , é realizado através da equação (3.4), que leva em consideração os valores de  $a_v$  e o tempo total de exposição o qual engloba todo o ciclo de atividades do operador, que é varia dependendo da lista de produção do operador. No caso do posto de trabalho analisado este tempo total de exposição é de 8 horas,  $T_0$ .

A Figura 4.1, descreve todo ciclo da rotina de trabalho do operador, evidenciando graficamente as acelerações em cada uma das etapas e em cada um dos eixos ortogonais, durante o período de operação de 21 segundos. Avaliando o gráfico fica evidente que a maior

aceleração produzida pela máquina e sentida no posto de trabalho tem como referencial o eixo z e principalmente nas etapas do arraste das barras e do corte.

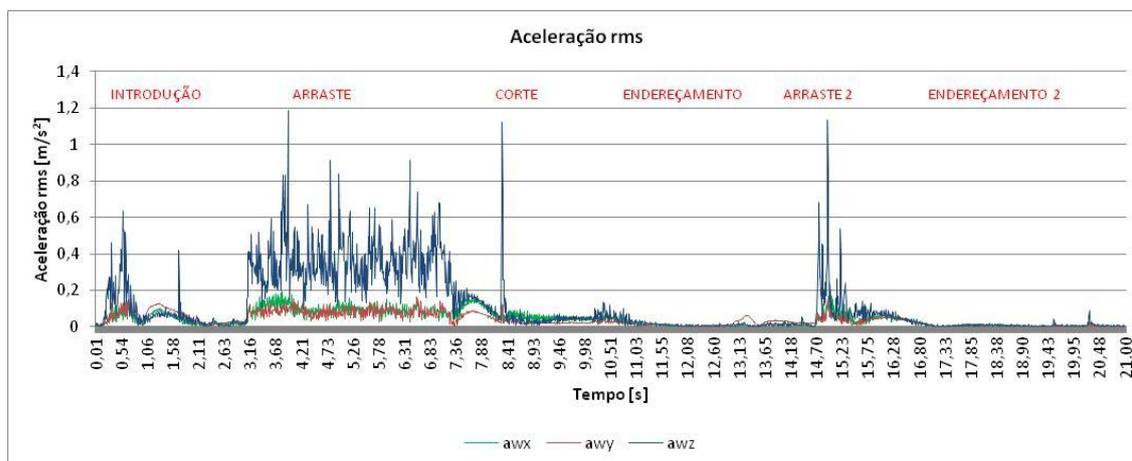


Figura 4.1 - Aceleração durante um ciclo de trabalho.

A Figura 4.2 ilustra os principais valores de exposição diária à vibração ao que o operador da máquina está submetido durante sua rotina diária de trabalho. Avaliando os resultados do gráfico, verifica-se que o maior valor para A (8) foi registrado na medição 7, alcançando aproximadamente 0,006 m/s<sup>2</sup>, que é um valor de vibração baixo que não limita o tempo de exposição de 8 horas de trabalho, segundo tanto a ISO 2631-1, 1997 e a Diretiva Europeia 2002/44.

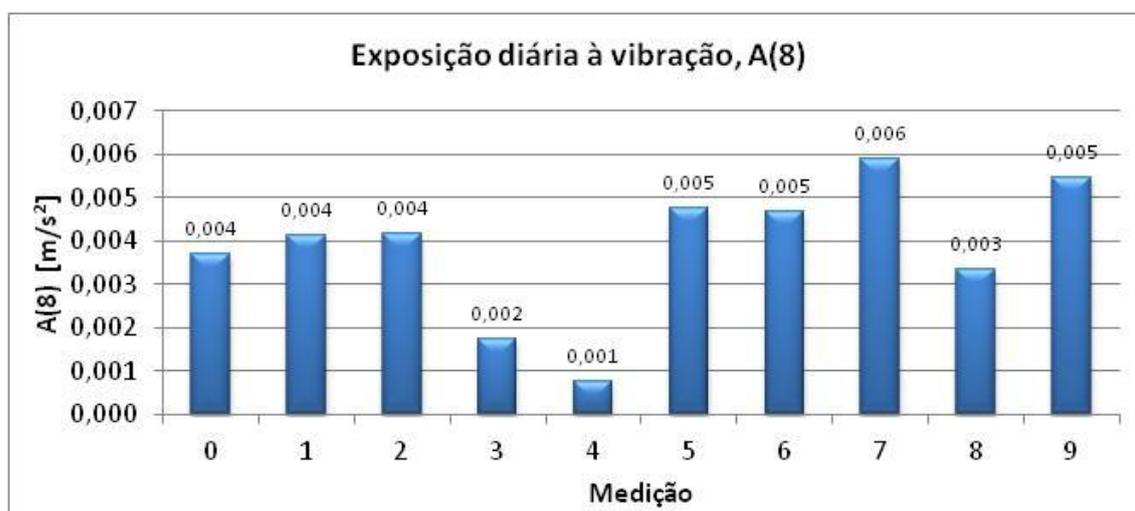


Figura 4.2 - Exposição diária à vibração A (8) no referido posto de trabalho.

A avaliação da vibração mostra que não existem riscos a saúde em relação à exposição à vibração durante a jornada de trabalho de 8 horas, apesar dos relatos que motivam a realização do estudo. Este resultado pode ser atribuído à sustentação da plataforma de trabalho que é independente da máquina (isolada), sendo assim a vibração apenas transmitida da máquina para o solo e do solo para a plataforma, perdendo assim a sua intensidade.

## 4.2. Resultados das medições de ruído

Os resultados completos das medições do ruído no posto de trabalho estão apresentados nas tabelas do Apêndice B. A seguir são apresentados os principais resultados obtidos nas medições. As medições de ruído foram feitas de forma a compreender um ciclo representativo de toda a jornada de trabalho, variando entre 19 e 25 segundos. Para cada uma das frequências foram feitas aproximadamente 10 medições, analisando cada caso e verificando a necessidade de mais medições, portanto, todos os valores de ruído são médias dos valores das medições. Para a avaliação do ruído foi montado o espectro de frequências em 1/1 bandas de oitava, conforme a Figura 4.3.

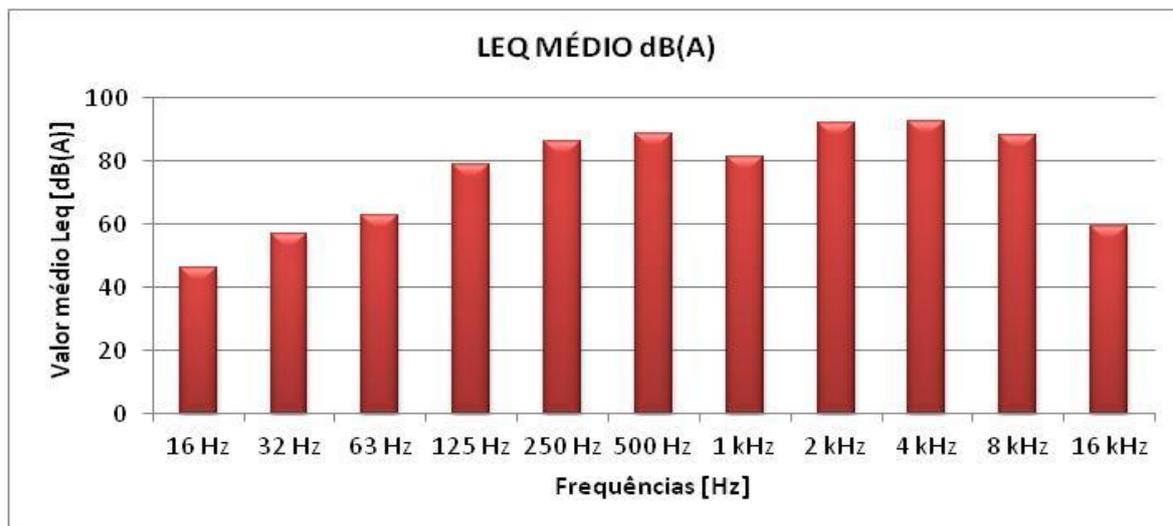


Figura 4.3 - Espectro de sonoro em 1/1 bandas de oitava de frequências.

Constata-se que o espectro é caracterizado por ter predominantemente sons médios mais elevados entre as frequências de 250 Hz e 8 kHz. Efetuando uma soma logarítmica de decibéis dos valores do espectro temos um NPS total de 97,35 dB(A).

### 4.2.1. Protetores auriculares

A avaliação do protetor auricular se dá através da comparação com o indicado pela NR 15, que indica como valor máximo para a exposição de 8 horas o valor de 85 dB (A), com os valores medidos e efetuando o cálculo da atenuação, seguindo o método longo, utilizando a equação (3.7). As tabelas (4.1), (4.2) e (4.3) e as Figuras B.1, B.2 e B.3 do Apêndice B mostram os dados calculados para que sejam efetuadas as comparações, utilizando cada um dos três tipos de protetores auriculares. Os dados de atenuação são encontrados no CA do equipamento no Anexo C.

Tabela 4.1 - Método longo aplicado ao protetor auricular de inserção pré-moldado, CA 8092.

Frequência [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS t
Medição do posto de trabalho [dB]	78,9	<b>86,43</b>	<b>88,68</b>	81,21	<b>92,07</b>	<b>92,53</b>	<b>88,07</b>	<b>97,35</b>
Atenuação [dB] - CA	17	18,9	24	21,8	27,5	26,2	35,8	
Desvio padrão	7,7	6,9	5,3	4,8	4,9	4,7	9,3	
2 X Desvio padrão	15,4	13,8	10,6	9,6	9,8	9,4	18,6	
Limite de atenuação (98%)	1,6	5,1	13,4	12,2	17,7	16,8	17,2	
NPS c/ protetor auricular [dB]	77,3	81,33	75,28	69,01	74,37	75,73	70,87	84,89

Tabela 4.2 - Método longo aplicado ao protetor auricular tipo concha, CA 28089.

Frequência [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS t
Medição do posto de trabalho [dB]	78,9	<b>86,43</b>	<b>88,68</b>	81,21	<b>92,07</b>	<b>92,53</b>	<b>88,07</b>	<b>97,35</b>
Atenuação [dB] - CA	9,7	15,7	21,3	25,1	29	24,5	23,1	
Desvio padrão	4,7	5,4	4,1	3	4,4	5,2	5,5	
2 X Desvio padrão	9,4	10,8	8,2	6	8,8	10,4	11	
Limite de atenuação (98%)	0,3	4,9	13,1	19,1	20,2	14,1	12,1	
NPS c/ protetor auricular [dB]	78,6	81,53	75,58	62,11	71,87	78,43	75,97	<b>85,76</b>

Tabela 4.3 - Método longo aplicado ao protetor auricular de inserção moldável, CA 5674.

Frequência [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	NPS t
Medição do posto de trabalho [dB]	78,9	<b>86,43</b>	<b>88,68</b>	81,21	<b>92,07</b>	<b>92,53</b>	<b>88,07</b>	<b>97,35</b>
Atenuação [dB] - CA	16,8	17,7	20,2	21,2	28,2	33,8	33,8	
Desvio padrão	6	5,3	6,6	4,1	5,7	6,5	8	
2 X Desvio padrão	12	10,6	13,2	8,2	11,4	13	16	
Limite de atenuação (98%)	4,8	7,1	7	13	16,8	20,8	17,8	
NPS c/ protetor auricular [dB]	74,1	79,33	81,68	68,21	75,27	71,73	70,27	<b>85,11</b>

Observando os resultados da atenuação segundo o método longo, pode-se notar que o único protetor que atende os requisitos para 8 horas de exposição, segundo a NR 15 de 85 dB, é o protetor auricular de inserção pré-moldado, que teve uma atenuação total de 12,46 dB, os outros dois protetores excederam o limite em 0,89% com atenuação total de 11,58 dB para o de concha e 0,13% com atenuação total de 12,24 dB para o de inserção moldável. Estes resultados sugerem, de maneira geral e levando em conta as incertezas inerentes às medições, que o uso destes protetores mostra-se adequado para o nível de exposição a que são submetidos os operadores destes postos de trabalho. Outra informação importante que se pode tirar destes cálculos é que nenhum dos protetores auriculares expõem o trabalhador a ruídos que excedam a norma em uma frequência isolada, somente na soma total do NPS é que este valor é excedido. Devem-se efetuar mais medições para verificar se nos casos do uso do protetor de inserção moldável e do protetor do tipo concha, o limite de 85 dB(A) para a jornada de 8h está de fato sendo cumprido, já que nestes casos o valor excedido é percentualmente muito baixo (menos de 1%).

Para realizar a comparação com o método curto, é necessário realizar medições levando em conta o valor total do NPS<sub>t</sub>, em dB(A), calculado pela soma logarítmica das frequências isoladas, e efetuar o cálculo da atenuação seguindo a equação (3.6), a tabela 4.4 mostra os resultados obtidos. Os dados de atenuação são encontrados no CA do equipamento no Anexo C.

Tabela 4.4 - Método curto aplicado a todos os protetores auriculares.

Tipo de Protetor	CA 8092 INSERÇÃO PRÉ-MOLDADO	CA 28089 CONCHA	CA 5674 INSERÇÃO MOLDÁVEL
Medição do posto de trabalho [dB]	<b>97,35</b>	<b>97,35</b>	<b>97,35</b>
Atenuação, NRR <sub>sf</sub> [dB] - CA	16	15	16
NPS c/ protetor auricular [dB]	<b>88,35</b>	<b>89,35</b>	<b>88,35</b>
% acima do limite de 85 dB	3,8%	4,9%	3,8%

A atenuação promovida pelos três protetores auriculares, não excedeu o limite de 85 dB(A) para a jornada de 8h para nenhum dos protetores avaliados. Os resultados sugerem que o posto de trabalho avaliado não oferece risco à saúde do trabalhador. Apesar da avaliação do método curto sugerir que o local analisado é salubre para a prática laboral, segundo GERGES

2000, esse método não é o de melhor precisão da atenuação gerada, o mesmo autor também afirma que utilizando o método curto com avaliação do NRRsf, apenas 84% dos usuários podem ter esta atenuação gerada pelos seus protetores, deixando uma margem grande, sendo indicado pelo autor a utilização do método longo para a avaliação da atenuação proporcionada pelos protetores auriculares.

## 5. CONCLUSÕES

A partir da análise dos dados resultantes das medições de aceleração no posto de trabalho e comparando estes valores com os valores das normas utilizadas, ISO 2631-1 (1997) e Diretiva Europeia 2002/44, fica evidente que não existem maiores riscos em relação à exposição do trabalhador à vibração durante a jornada neste posto de trabalho. A vibração gerada pela máquina não oferece risco ao trabalhador, sendo um dos motivos esta conclusão, além dos dados de aceleração medidos, o fato de que a máquina não está em contato direto com a plataforma de trabalho, uma vez que sua sustentação é independente.

Um dos possíveis agentes causadores de desconforto e dores relatados pelos trabalhadores deste posto de trabalho pode ser decorrente da postura laboral e outros aspectos ligados à ergonomia. Em sua atividade, o trabalhador fica em pé durante toda a jornada, efetuando movimentos de giro, sobre o próprio corpo, de 180°, levantando manualmente barras de vergalhão de aço e inserindo-as na máquina, forçando a coluna, pois o local de armazenamento de matéria prima fica um nível abaixo da máquina.

Em relação à análise do ruído é possível notar que o espectro de frequências predominante no posto de trabalho é de sons médios mais elevados em uma zona de frequências de média a alta. Isso implica dizer que os protetores auriculares, responsáveis pela atenuação do som, devem ter um nível de atenuação maior nestas faixas de frequência.

A análise da atenuação de ruído promovida pelos protetores auditivos em relação aos níveis de pressão sonora referente ao espectro de bandas de 1/1 oitava de frequência, característico do posto de trabalho, indicam a importância de uma seleção criteriosa do protetor auricular fornecido ao trabalhador, pois esse deve garantir que o trabalhador não fique exposto a níveis de ruído superiores aos limites estipulados em norma. Fica evidente a diferença da atenuação promovida por diferentes protetores e que caso não sejam observadas as características principais de cada local ruído, a pessoa que utiliza o protetor poderá ficar exposta a riscos.

A análise do método longo classificou os três protetores auriculares utilizados no presente estudo como de atenuação satisfatória para este posto de trabalho, indicando algumas medições extras para aqueles que excederam os limites estipulados em norma, menos de 1%. Também o método curto obteve um resultado satisfatório em relação à atenuação dos protetores, indicando que não existem riscos de insalubridade laboral no posto de trabalho em relação a este método.

Apesar de ter sido constatado que o posto de trabalho não oferece riscos à saúde do operador em relação aos dois aspectos tratados neste trabalho, vibração e ruído, seguindo os critérios adotados pela NR-15, é necessário que se continue investigando todos os possíveis aspectos de desconforto e de segurança para as atividades laborais, sendo deixado uma lacuna para futuros estudos do próprio posto de trabalho e uma experiência para replicação dos estudos para os demais postos de trabalho da unidade de corte e dobra de vergalhões de aço.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEPS 2010. **Anuário estatístico da previdência social**. Ministério da Previdência Social, [http://www.mpas.gov.br/arquivos/office/3\\_111202-105619-646.pdf](http://www.mpas.gov.br/arquivos/office/3_111202-105619-646.pdf) acessado em 13/10/2012.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego - MTE sistema de pesquisa CA. <http://www3.mte.gov.br/sistemas/caepi/PesquisarCAInternetXSL.asp> acessado em 18/11/2012.

BRÜEL & KJAER. **Le vibrazioni del corpo umano**. Folheto Técnico, 2000.

CARMO, L. I. C., **Efeitos do ruído ambiental no organismo humano e suas manifestações auditivas**, Trabalho de conclusão de Curso de Especialização em Audiologia Clínica, 1999, CEFAC- centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica, Goiania.

DIRECTIVE 2002/44/EC. **On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration)**. The European Parliament and the Council of the European Union. Official Journal of the European Communities, L177/13-19, 2002.

GERGES, Samir Nagi Yousri. **RUÍDO: fundamentos e Controle**. 2 ed. – Florianópolis: Ed. SNY Gerges, 2000.

GRIFFIN, M.J. **Handbook of Human Vibration**. Londres: Elsevier Academic Press, 1998. 988p.

ISO 2631-1:1997. **Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 1: General requirements**. International Organization for Standardization, 1997.

ISO 5349-1:2001. **Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 1: General requirements**. International Organization for Standardization, 2001.

MEDEIROS, J. B., 2011. **Eficiência de protetores auditivos ao espectro de bandas de oitava e aos níveis de pressão sonora característicos de um sistema de tratamento de água da corsan – RS**. Tese de especialização em engenharia de segurança do trabalho, UFRGS (Porto Alegre), RS.

NR15. Norma Regulamentadora n.º15. **Atividades e operações insalubres - Anexo N°8 Vibrações**. [http://www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_15.pdf](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf) acessado em 13/10/2012.

NR15. Norma Regulamentadora n.º15. **Atividades e operações insalubres - Anexo N1 Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente**. [http://www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_15.pdf](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf) acessado em 13/10/2012

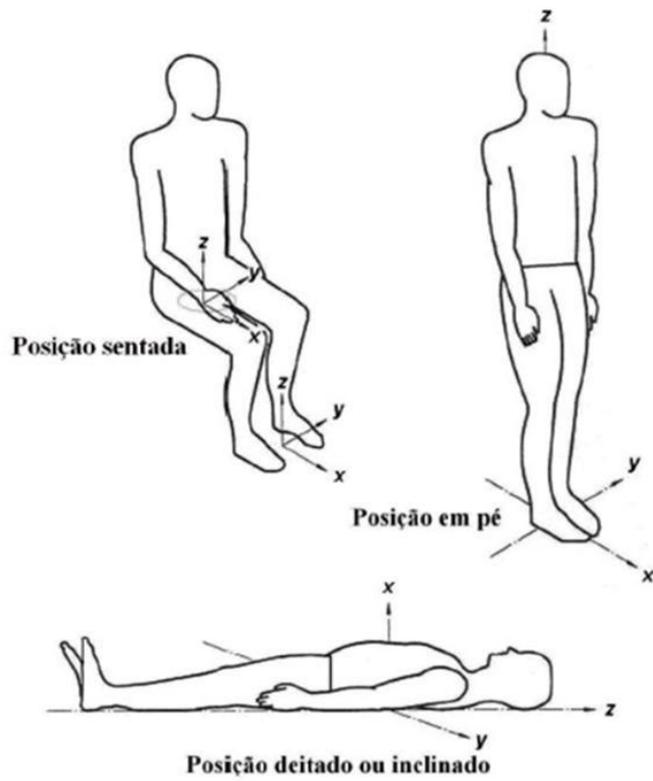
NR15. Norma Regulamentadora n.º15. **Atividades e operações insalubres - Anexo N2 Limites de tolerância para ruídos de impacto**. [http://www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_15.pdf](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf) acessado em 13/10/2012.

QUEST-TECHNOLOGY. **Real-time vibration Analyzers, VI-400PRO, Preliminary owner's manual**. 2005.

SOEIRO, N. S., 2011. **Vibrações e o Corpo Humano: uma avaliação ocupacional**, in: 1º Workshop de vibrações e acústica.

TOSIN, R.C., 2009. **Avaliação do ruído e da vibração no posto de trabalho em dois tratores agrícolas**. Tese de Doutorado em Agronomia, UNESP (Botucatu), SP.

TREBIEN, E.V., MACHADO, M.M., SACKSER, R.M. 2010 **Qualidade de vida no trabalho**, In: 3ª. Jornada de vida no trabalho.



Eixos de direção adotados para medição  
(Fonte: adaptada de ISO 2631:1997)

Figura A.1- Sistema de coordenadas basicêntrico adotado para vibração corpo inteiro (fonte: ISO 2631-1:1997).

ANEXO B

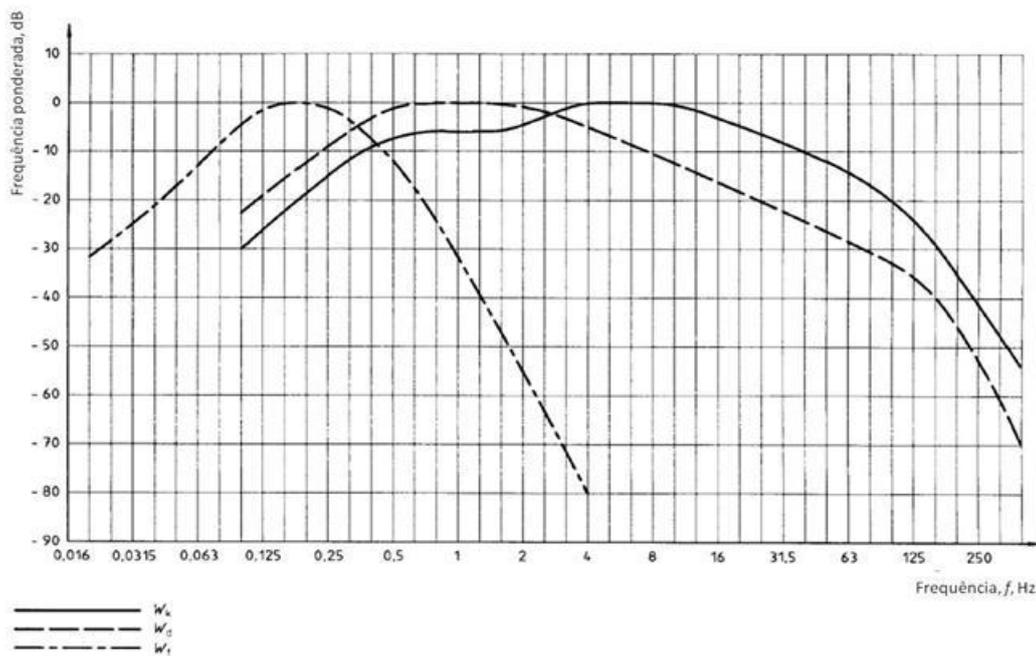


Figura B.1 - Curvas de ponderação  $W_k$ ,  $W_d$  e  $W_t$ , ISO 2631-1 (1997).

## ANEXO C



Secretaria de Inspeção do Trabalho - SIT  
Certificado de Aprovação de Equipamento de Proteção Individual - CAEPI



Secretaria de Inspeção do Trabalho - SIT  
Certificado de Aprovação de Equipamento de Proteção Individual - CAEPI

---

**Pesquisa de CA**

[Visualizar CA](#)

🔍 Certificado de Aprovação de Equipamentos de Proteção Individual

Nº do CA: 5674      Situação: VALIDO

Validade: 09/02/2016

Nº do Processo: 46000.0007012011-19

Nº do CNPJ: 45.985.371/0001-08      Razão Social: 3M DO BRASIL LTDA

Natureza: Nacional

Equipamento: PROTETOR AUDITIVO

**Descrição do Equipamento:**  
Protetor auditivo, tipo inserção moldável, de espuma de poliuretano, no formato cilíndrico.

🔍 Dados Complementares

Marcação do CA: Na embalagem

Referências: 3M 1100 (sem cordão); 3M 1110 (com cordão)

🔍 Laudo

Aprovado Para: PROTEÇÃO DO SISTEMA AUDITIVO DO USUÁRIO CONTRA NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA SUPERIORES AO ESTABELECIDO NA NR 15 ANEXOS I E II, CONFORME TABELA DE ATENUAÇÃO ABAIXO

Nº. do Laudo	Laboratório	Razão Social
052-2010	02.776.988/0001-00	LAERI - LABORATÓRIO DE EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL

🔍 Normas

Norma  
ANSI S. 12.6:1997

🔍 Tabela de Atenuação

Frequência(Hz):	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000	NRRsf
Atenuação db:	16,8	17,7	20,2	21,2	28,2		33,8		33,8	16
Desvio Padrão:	6,0	5,3	6,6	4,1	5,7		6,5		8,0	

**Pesquisa de CA**

[Visualizar CA](#)

🔍 Certificado de Aprovação de Equipamentos de Proteção Individual

Nº do CA: 8092      Situação: VALIDO

Validade: 12/02/2013

Nº do Processo: 46000.028110/2007-11

Nº do CNPJ: 65.555.146/0001-49      Razão Social: BALASKA EQUIPE INDUSTRIA E COMERCIO LTDA

Natureza: Nacional

Equipamento: PROTETOR AUDITIVO

**Descrição do Equipamento:**  
PROTETOR AUDITIVO TIPO INSERÇÃO NO CANAL AUDITIVO, CONFECCIONADO EM BORRACHA DE SILICONE TIPO FARMACÊUTICO FISIOLÓGICAMENTE INERTE, NEUTRO E ANTIALÉRGICO, COM DOIS PLUGUES NO FORMATO DE PINOS COM TRÊS DISCOS CONCÊNTRICOS DE DIMENSÕES VARIÁVEIS ENTRE 8 MM E 11 MM. OS PLUGUES SÃO LIGADOS POR UM CORDÃO DE ALGODÃO OU CORDÃO SINTÉTICO REMOVÍVEIS. DISPONÍVEL EM TAMANHO ÚNICO E NAS CORES AZUL, VERDE, LARANJA E AMARELO. REF.: DURAPLUS-PLUGUE.

🔍 Laudo

Aprovado Para: PROTEÇÃO AUDITIVA DO USUÁRIO CONTRA RUÍDOS, CONFORME TABELA DE ATENUAÇÃO A SEGUIR.

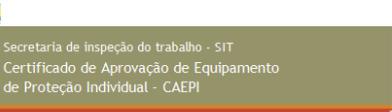
🔍 Tabela de Atenuação

Frequência(Hz):	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000	NRRsf
Atenuação db:	17	18,9	24	21,8	27,5		26,2		35,8	16
Desvio Padrão:	7,7	6,9	5,3	4,8	4,9		4,7		6,3	

---



Secretaria de Inspeção do Trabalho - SIT  
Certificado de Aprovação de Equipamento de Proteção Individual - CAEPI



Secretaria de Inspeção do Trabalho - SIT  
Certificado de Aprovação de Equipamento de Proteção Individual - CAEPI

---

**Pesquisa de CA**

[Visualizar CA](#)

🔍 Certificado de Aprovação de Equipamentos de Proteção Individual

Nº do CA: 28089      Situação: VALIDO

Validade: 14/12/2015

Emitido originalmente em: 14/12/2010

Nº do Processo: 46000.022620/2010-61

Nº do CNPJ: 45.655.461/0001-30      Razão Social: MSA DO BRASIL EQUIP E INSTRUMENTOS DE SEGURANCA LTDA

Natureza: Nacional

Equipamento: PROTETOR AUDITIVO

**Descrição do Equipamento:**  
Protetor Auditivo circum-auricular composto de duas conchas de material plástico rígido preenchidas com espuma, fixadas à duas hastas plásticas móveis (basculantes) que se encaixam em fendas laterais do casco de capacete.

🔍 Dados Complementares

Marcação do CA: Lado interno das hastas plásticas móveis

Referências: Kit Abafador de ruídos MARK V para uso em capacete

🔍 Laudo

Aprovado Para: PROTEÇÃO DO SISTEMA AUDITIVO DO USUÁRIO CONTRA NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA SUPERIORES AO ESTABELECIDO NA NR 15 ANEXOS I E II, CONFORME TABELA DE ATENUAÇÃO ABAIXO.

Observação: O KIT PROTETOR AUDITIVO É PARA USO EM CONJUNTO COM OS CAPACETES DE SEGURANÇA PORTADORES DOS CA 8.304, 498 E 19.727 E COM O KIT PROTETOR FACIAL PORTADOR DO CA 27.950.

Nº. do Laudo	Laboratório	Razão Social
048-2010	02.776.988/0001-00	LAEPI - LABORATÓRIO DE EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL

🔍 Normas

Norma  
ANSI S. 12.6:1997

🔍 Tabela de Atenuação

Frequência(Hz):	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000	NRRsf
Atenuação db:	6,7	15,7	21,3	25,1	29,0		24,5		23,1	15
Desvio Padrão:	4,7	6,4	4,1	5,0	4,4		6,2		6,5	

**Pesquisa de CA**

[Visualizar CA](#)

🔍 Certificado de Aprovação de Equipamentos de Proteção Individual

Nº do CA: 28089      Situação: VALIDO

Validade: 14/12/2015

Emitido originalmente em: 14/12/2010

Nº do Processo: 46000.022620/2010-61

Nº do CNPJ: 45.655.461/0001-30      Razão Social: MSA DO BRASIL EQUIP E INSTRUMENTOS DE SEGURANCA LTDA

Natureza: Nacional

Equipamento: PROTETOR AUDITIVO

**Descrição do Equipamento:**  
Protetor Auditivo circum-auricular composto de duas conchas de material plástico rígido preenchidas com espuma, fixadas à duas hastas plásticas móveis (basculantes) que se encaixam em fendas laterais do casco de capacete.

🔍 Dados Complementares

Marcação do CA: Lado interno das hastas plásticas móveis

Referências: Kit Abafador de ruídos MARK V para uso em capacete

🔍 Laudo

Aprovado Para: PROTEÇÃO DO SISTEMA AUDITIVO DO USUÁRIO CONTRA NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA SUPERIORES AO ESTABELECIDO NA NR 15 ANEXOS I E II, CONFORME TABELA DE ATENUAÇÃO ABAIXO.

Observação: O KIT PROTETOR AUDITIVO É PARA USO EM CONJUNTO COM OS CAPACETES DE SEGURANÇA PORTADORES DOS CA 8.304, 498 E 19.727 E COM O KIT PROTETOR FACIAL PORTADOR DO CA 27.950.

Nº. do Laudo	Laboratório	Razão Social
048-2010	02.776.988/0001-00	LAEPI - LABORATÓRIO DE EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL

🔍 Normas

Norma  
ANSI S. 12.6:1997

🔍 Tabela de Atenuação

Frequência(Hz):	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000	NRRsf
Atenuação db:	6,7	15,7	21,3	25,1	29,0		24,5		23,1	15
Desvio Padrão:	4,7	6,4	4,1	5,0	4,4		6,2		6,5	

Figura C.1 – Certificados de Aprovação.

## APÊNDICE A

Tabela A.A.1 – Resultados das medições da vibração e cálculo de A(8).

Nº Med.	$a_{wx}(m/s^2)$	$a_{wy}(m/s^2)$	$a_{wz}(m/s^2)$	$A_{vx}(m/s^2)$	$A_{vy}(m/s^2)$	$A_{vz}(m/s^2)$	$A_v(m/s^2)$	$A(8) (m/s^2)$
0	0,0087	0,0043	0,0928	0,000148	3,62E-05	0,008612	0,093789	0,00371
1	0,0919	0,0557	0,0578	0,016553	0,006081	0,003341	0,161168	0,00414
2	0,0591	0,0389	0,0547	0,006846	0,002966	0,002992	0,113154	0,004164
3	0,0279	0,0177	0,1652	0,001526	0,000614	0,027291	0,171554	0,001751
4	0,0199	0,0062	0,0218	0,000776	7,53E-05	0,000475	0,036425	0,000774
5	0,0135	0,0087	0,1596	0,000357	0,000148	0,025472	0,161176	0,004749
6	0,0643	0,0388	0,1379	0,008104	0,002951	0,019016	0,173409	0,004683
7	0,0585	0,0515	0,1895	0,006708	0,005198	0,03591	0,218669	0,005905
8	0,0167	0,0178	0,1484	0,000547	0,000621	0,022023	0,152283	0,003358
9	0,0219	0,0217	0,189	0,00094	0,000923	0,035721	0,193866	0,005479

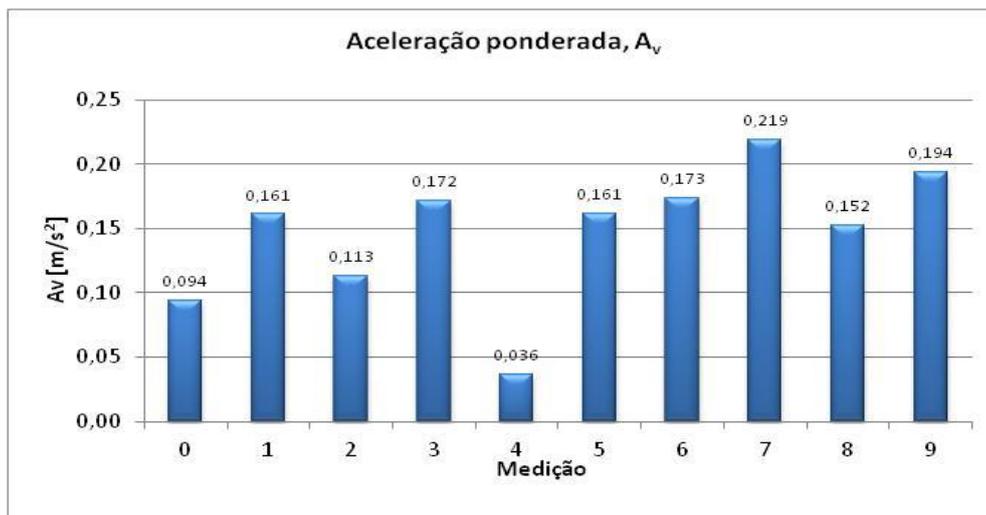
Figura A.A.1 - Aceleração total ponderada rms,  $A_v$  em  $m/s^2$ .

Tabela A.B.1 –  $L_{eq}$  médio das medições de ruído, para montagem do espectro sonoro.

FREQUÊNCIA	Leq MÉDIO dB(A)
16 Hz	46,3
32 Hz	57,0
63 Hz	62,6
125 Hz	78,9
250 Hz	86,3
500 Hz	88,7
1 Hz	81,2
2 Hz	92,1
4 Hz	92,5
8 Hz	88,1
16 Hz	59,4
$NPS_t$	98,2

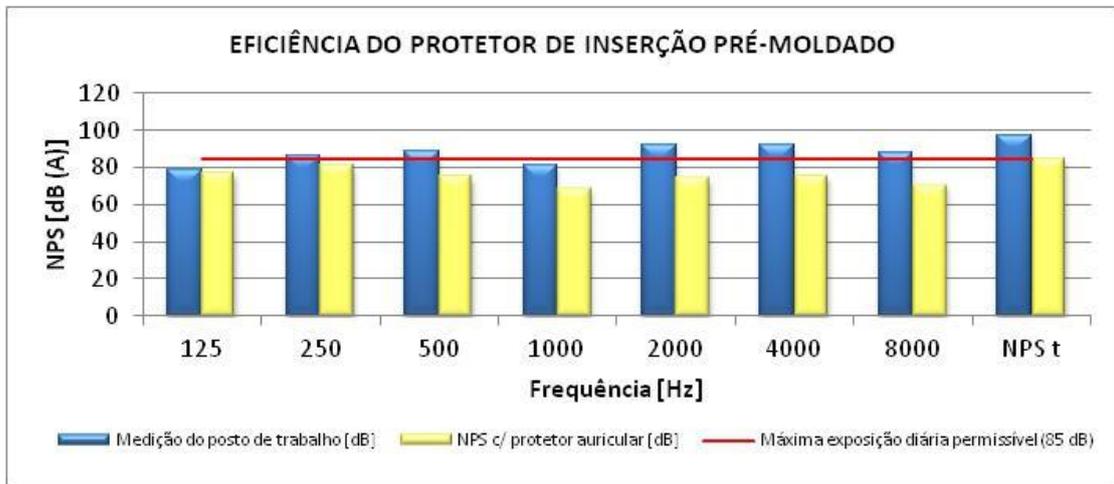


Figura A.B.1 – Eficiência do protetor auricular de inserção pré-moldado, CA 8092.

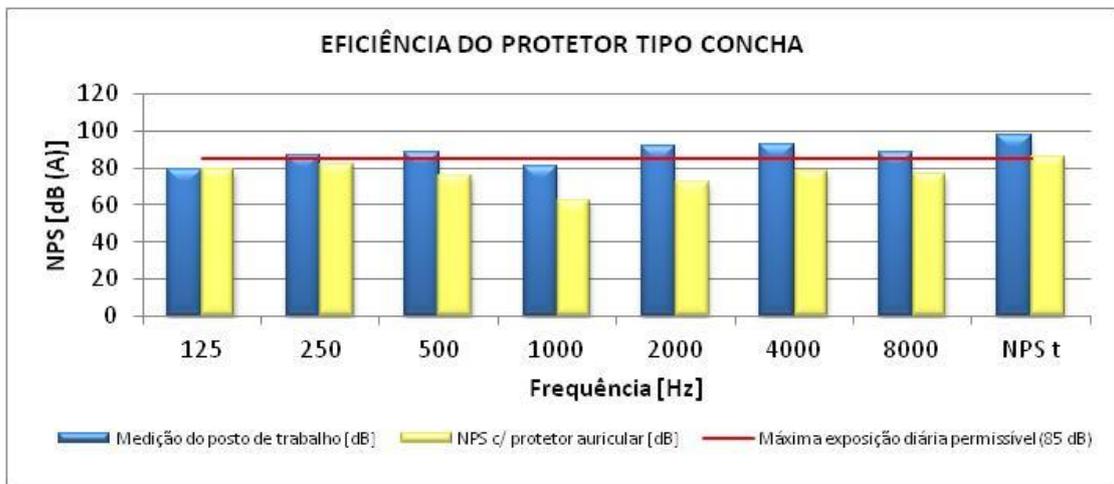


Figura A.B.2 – Eficiência do protetor auricular tipo concha, CA 28089.

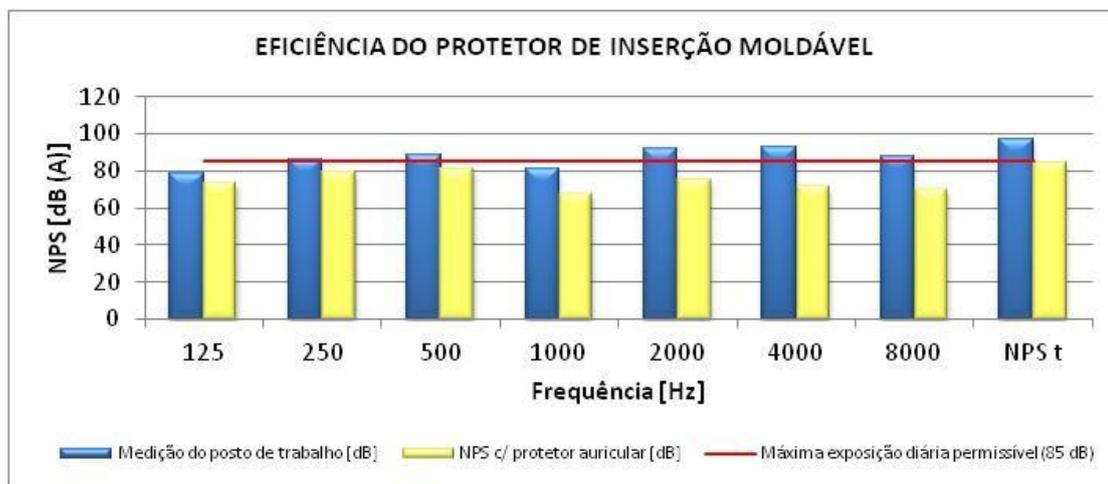


Figura A.B.3 – Eficiência do protetor auricular de inserção moldável, CA 5674.