

# ***Níveis de ruídos e vibrações em um veículo protótipo***

LEONARDO CRUZ DA SILVA<sup>1</sup>  
RAFAEL ANTONIO COMPARI LARANJA<sup>2</sup>  
LUIZ CARLOS GERTZ<sup>3</sup>  
CHARLES RECH<sup>4</sup>  
ALEXANDRE BALBINOT<sup>5</sup>  
ROSA LEAMAR DIAS BLANCO<sup>6</sup>

## **RESUMO**

*O levantamento da exposição dos ruídos e vibrações que sofrem o corpo humano, em pessoas que operam máquinas escavadoras, tratores e demais veículos é incompleto. Porém existem evidências de que a exposição regular aos ruídos e vibrações pode contribuir na geração de problemas no aparelho auditivo e de dores nas costas em motoristas profissionais, tais como motoristas de ônibus, de tratores, e helicópteros. Utilizando o protótipo de um mini-baja foram avaliados os níveis de pressão sonora e exposições as vibrações emitidos pelo protótipo fora de estrada de um mini-baja. Os dados adquiridos foram analisados estatisticamente na tentativa de extrair informações úteis como identificar os níveis e frequências que mais afetam os seres humanos.*

**Palavras chaves:** ruído, vibração, veículo automotor.

---

<sup>1</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica/ULBRA – Bolsista PROICT/ULBRA

<sup>2</sup> Professor – Orientador do Curso de Engenharia Mecânica/ULBRA e do Pós-Graduação em Engenharia: Energia, Materiais e Ambiente (rafael.ac.laranja@gmail.com)

<sup>3</sup> Professor do Curso de Engenharia Mecânica/ULBRA e do

Pós-Graduação em Engenharia: Energia, Materiais e Ambiente

<sup>4</sup> Professor do Curso de Engenharia Mecânica/ULBRA

<sup>5</sup> Professor do Curso de Engenharia Elétrica/ULBRA

<sup>6</sup> Professor do Curso de Engenharia Elétrica/ULBRA e do Pós-Graduação em Engenharia: Energia, Materiais e Ambiente

## ABSTRACT

*The exposition rising to the human body vibration, in hard working that operate tractors, machines diggers and too much vehicles is incomplete, however there are evidences that the regular exhibition to the vibration, can contribute in the pains generation in the back in professional drivers such as, drivers by bus, by tractors and helicopters. This way, with the increasing use of off-road vehicles and of new kinds of seats, the acceleration levels investigation and necessary comfort is done, as well as, the dynamic characterization of the same. Using the prototype of a mini Baja the level of vertical accelerations to what a stature median pilot is submitted, it was characterized when the vehicle rolling on a plane track category. The obtained data of sound level will be analyzed statistically in the attempt to extract useful information, how to identify the levels and the frequencies that affect most the human beings.*

**Key words:** noise, vibration, NVH.

## INTRODUÇÃO

Atualmente, na indústria automobilística, há uma crescente necessidade de testes em componentes antes da manufatura como forma de redução de custos de produção e de previsão de falhas quando o produto encontra-se em operação. Fenômenos vibratórios como a excitação dos componentes automotivos originados, por exemplo, pela rotação do motor e pela rugosidade da pista devem ser considerados, pois podem causar uma deformação excessiva da estrutura reduzindo a vida útil e/ou aumentando o desconforto do usuário por meio de vibrações e ruídos. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar os níveis de exposição às acelerações a que o corpo humano está submetido em um veículo fora de estrada relacionado ao conforto e à saúde quando o veículo opera em um terreno plano e liso, simulado por um dinamômetro inercial e o ruído avaliado no piloto.

Pesquisas recentes mostraram que alguns veículos produzem níveis de ruído menores, tanto para o meio ambiente externo quanto para o motorista (BALBINOT & TAMAGNA,

2000; BOVENZI, 1994; GRIFFIN, 1990; JOHANNING et al., 1991; TRIPEPI et al., 2000). Entretanto, não é possível identificar com precisão o que determina esta diferença, mas algumas evidências apontam um resultado efetivo da evolução tecnológica de motores e chassis quanto à redução dos níveis de ruído. Porém, pouco ou quase nada se tem estudado para veículos fora de estrada que constituem uma categoria à parte, mas são cada vez mais utilizados dentro de áreas urbanas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O corpo humano pode ser considerado como uma sofisticada estrutura biomecânica e a sensibilidade à vibração, podem envolver diversos fatores, tais como, postura, tensão muscular, frequência, amplitude e direção da vibração, além do que, a duração e a dose da exposição. A coluna vertebral pode ser compreendida mecanicamente como um conjunto de corpos semi-rígidos (vértebras) separados por ligamentos viscoelásticos (discos e ligamentos).

Evidentemente, é importante ressaltar, que a vibração não é aplicada diretamente na coluna, mas transmitida, sendo que, o maior fator limitante é a rigidez das estruturas através

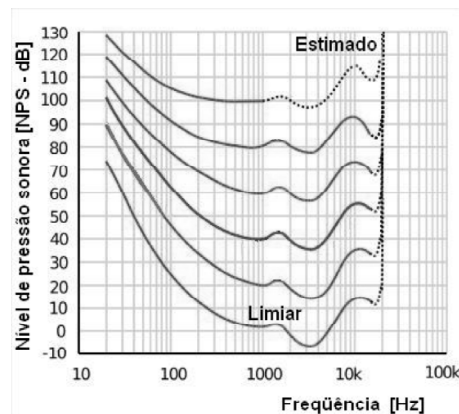
das quais à vibração pode ser transmitida. A Tabela 1 apresenta uma comparação das regiões sensíveis às vibrações e suas principais fontes geradoras.

**Tabela 1** - Sensibilidade do corpo humano às vibrações.

Frequência	Sensibilidade	Fontes de vibração
0 a 2 Hz	Sistema vestibular.	Veículos, aeronaves.
2 a 30 Hz	Ressonância do corpo.	Veículos, guindastes.
> 20 Hz	Músculos, tendões e pele.	Ferramentas e máquinas.

Já no caso de ruídos os níveis sensíveis no ser humano podem ser visualizados conforme a Figura 1 que representa a sensibilidade do ouvido

frente às frequências e a relação da percepção frente ao nível de pressão sonora é dada pela Tabela 2.



**Figura 1** - Curvas de igual sensação sonora por frequência (Fonte: ISO 226, 2003).

**Tabela 2** - Relação entre o nível sonoro em decibéis e a percepção humana.

Mudança no Nível de Pressão Sonora (dB)	Mudança na Percepção
3	Perceptível
5	Notável diferença
10	Duas vezes mais alto
15	Grande mudança
20	Quatro vezes mais alto

- Critérios relacionando limites de exposição à vibração, com relação à saúde e a segurança da população, foram propostos inicialmente em 1967 e então incorporados nas normas ISO. A norma ISO 2631, 1997 na maioria dos países é adotada como padrão, sendo que, a última edição apresenta discussões a respeito da evolução dos estudos experimentais realizados sobre os efeitos na saúde. Esta norma apresenta métodos para a quantificação da vibração no corpo humano em relação à saúde e conforto humano. Pode ser utilizada para avaliar vibrações geradas por veículos (ar, terra e água) e máquinas onde pessoas estão expostas às vibrações mecânicas que podem interferir no conforto, nas atividades ocupacionais e na saúde humana.

Na área das vibrações do corpo humano, o método de análise mais comum é a determinação da amplitude usando o parâmetro aceleração r.m.s. e dos componentes de frequência do respectivo sinal. A amplitude da vibração é obtida através da aceleração r.m.s. dada pela equação (1):

$$a_{RMS} = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T (a^2(t)) dt \right]^{1/2} \quad (1)$$

Sendo  $a_{RMS}$  é a aceleração r.m.s. expressa em  $m/s^2$ ,  $a(t)$  é a aceleração que varia no tempo  $t$  e o período da integração é realizado para um tempo  $T$  (duração da medição em segundos).

O sinal elétrico que caracteriza a vibração deve ser condicionado, amplificado, filtrado (com filtros passa-baixa e filtros *anti-aliasing* com frequência de corte  $\frac{1}{2}$  da frequência de amostragem) e digitalizado com um conversor analógico para digital com resolução suficiente (tipicamente 12 ou 16 bits). O sistema de aqui-

sição deve ser capaz de registrar e amostrar frequências de até 160 Hz, por canal de medida, para o estudo das vibrações no corpo humano.

A resposta humana a vibração está relacionada à amplitude e a faixa de frequência do estímulo. Convenientemente, estas relações podem ser introduzidas eletronicamente, pela filtragem do sinal de estímulo para especificar as amplitudes de vibração, em diferentes frequências, com igual probabilidade de ocasionar uma dada resposta humana ou ferimento (este processo é denominado de compensação ou ponderação). Este conceito é amplamente utilizado, porém deve ser restrito e aplicável somente a sistemas lineares ou a faixas limitadas de vibração. Cabe ressaltar que estas ponderações foram determinadas através de estudos epidemiológicos dos efeitos na saúde, ou pela resposta de humanos, animais, cadáveres ou modelos biodinâmicos para determinado estímulo.

Problemas de saúde estão relacionados à amplitude, ao conteúdo de frequência e a duração do estímulo. Uma expressão generalizada para a exposição é dada pela equação :

$$E(a_w, T)_{mr} = \left[ \int_0^T [F(a_w(t))]^m dt \right]^{1/r} \quad (2)$$

Sendo  $E(a_w, T)_{mr}$  a exposição ocorrendo durante o tempo  $T$ , para uma função estímulo ponderada para equiparar os riscos em diferentes frequências  $F(a_w(t))$ . As funções mais utilizadas são denominadas de energia equivalente, como por exemplo, com  $F(a_w(t)) \equiv a_w(t)$  e  $m=r=2$  (equação):

$$E(a_w, T)_{2,2} = \left[ \int_0^T [F(a_w(t))]^2 dt \right]^{1/2} \quad (3)$$

A energia equivalente para uma exposição contínua, durante um dia de trabalho, com

$T \equiv T_{(8)} = 8h = 28800s$  (manipulando-se as expressões (3) e (1)) é dada pela equação (4):

$$E(a_w, T)_{2,2} = T_{(8)}^{1/2} \left[ \frac{1}{T_{(8)}} \int_0^{T_{(8)}} [F(a_w(t))]^2 dt \right]^{1/2} \quad (4)$$

Logo:  $E(a_w, T)_{2,2} = T_{(8)}^{1/2} \times a_{RMS(8)}$

onde  $a_{RMS(8)}$  é a aceleração r.m.s. ponderada em frequência para a energia equivalente de 8 horas de exposição expressa em  $m/s^2$ .

Além disso, as normas BS 6841 e a ISO 2631-1 fornecem os seguintes valores de aceleração r.m.s. ponderada global como uma indicação das reações com relação ao conforto, que podem ser vista na Tabela 3.

**Tabela 3** - Aceleração ponderada global e indicação das reações em relação ao conforto.

Aceleração r.m.s. [ $m/s^2$ ]	Reação
< 0,315	Confortável
0,315 a 0,63	Um pouco desconfortável
0,8 a 1,6	Desconfortável
1,25 a 2,5	Muito desconfortável
> 2,0	Extremamente desconfortável.

Crítérios relacionando limites de exposição ao ruído, com relação à saúde e a segurança da população, foram amplamente estudados, mas fora critérios trabalhistas brasileiros (NR 15, 1978) e de legislações específicas como as diretrizes do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, resolução 252, pouco ou quase nada está normalizado quando se trata de veículos utilizados em competições.

Quando se deseja caracterizar ruídos, deve-se quantificar um nível equivalente e confrontá-lo com a dose de ruído diária. Avaliando o ruído gerado por veículos e máquinas onde pessoas são expostas ao nível de pressão sonora que podem interferir no conforto, nas atividades ocupacionais e na saúde humana. As principais definições referentes a ruídos estão relacionadas aos seguintes requerimentos gerais (NBR 10151, 2000; NBR 13369, 1995; ISO 6396, 1992; ISO 5128, 1980):

- Como a variação da pressão é em geral aleatória se representa a mesma com o valor eficaz ou valor RMS (raiz quadrática média) e determinado segundo a expressão:

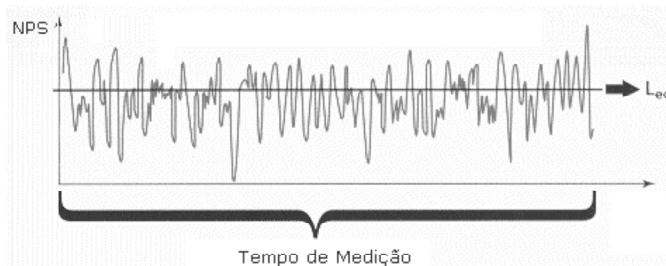
$$p_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t)} \quad (5)$$

O uso desta medida é necessário porque o som apresenta uma flutuação na pressão sonora. Portanto a pressão sonora é sempre medida em valor eficazes. A medição é feita com medidores de pressão sonora, nestes o tempo de integração costuma ser: lenta (1 segundo) ou rápida (0,1 a 0,2 segundos).

- NPS equivalente, é o nível obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora referente a todo o intervalo de medição (Figura 2), ou seja:

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{t} \int_0^t \frac{p^2}{p_0^2} dt \quad [dB] \quad (6)$$

Sendo  $t$  o tempo de integração;  $p$  a pressão sonora instantânea;  $p_0$  a pressão sonora de referência ( $2 \times 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup>).



**Figura 2** - Exemplo do nível de pressão sonora equivalente ( $L_{eq}$ ).

- Entretanto como visto anteriormente, pode-se determinar o  $L_{eq}$  conforme a (NBR 10151, 2000) utilizando a seguinte expressão:

$$L_{Aeq} = 10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (7)$$

Sendo:  $L_i$  é o nível de pressão sonora em dB(A), lido em resposta rápida a cada 5 s (continuamente), durante o tempo de medição do ruído;  $n$  é o número total de leituras.

A dose de ruído é uma variante do nível equivalente, com o tempo de medição fixado em 8h, que é ou deveria ser a jornada diária máxima de trabalho de referência e com o tempo máximo de trabalho considerado na definição dos limites de tolerância brasileiros. A diferença entre dose de ruído e nível equivalente é que a dose é expressa em porcentagem de exposição diária permitida e o  $L_{eq}$  é expresso em decibéis. Assim sendo a dose de ruído de 100% corresponde resumidamente aos valores dados na Tabela 4.

**Tabela 4** - Relação entre o nível sonoro equivalente em decibéis e o tempo de exposição diária máxima.

$L_{eq}$ (Brasil, $\alpha = 5$ ) dB(A)	Tempo de exposição diária máxima
85	8 h
90	4 h
95	2 h
100	1 h
105	30 min
110	15 min

De forma a caracterizar o veículo utilizado no teste, algumas constantes são necessárias, pois essas influenciam o comportamento

vibratório do mesmo. Para a análise, utilizou-se um protótipo de um veículo fora de estrada do tipo mini baja (conforme apresentado na

Figura 3). O veículo possui um motor monocilíndrico estacionário de 7.457 W (10 hp), 305 cc e 23,4 kg de massa e rotação máxima limitada em 3.600 rpm (Figura 4), com

transmissão do tipo CVT (Transmissão Continuamente Variável - *Continuously Variable Transmission*) e suspensão independente nas quatro rodas.



Figura 3 - Veículo fora de estrada utilizado para ensaio.

$$E(a_w, T)_{2,2} = T_{(8)}^{1/2} \left[ \frac{1}{T_{(8)}} \int_0^{T_{(8)}} [F(a_w(t))]^2 dt \right]^{1/2}$$

Figura 4 - Motor e parte do sistema de transmissão do veículo.

O veículo utiliza pneus da marca KT 536A com dimensões de 20x7x8 pol. (0,508 x 0,1778 x 0,2032 m), com garras de 0,01 m de altura, mostrado na Figura 5. Ainda com relação aos pneus, se faz necessário determinar a rigidez do mesmo, além da constante elástica das molas utilizadas na suspensão.

Para tanto, um simples, mas muito eficiente método foi utilizado. Considerando como constante a pressão dos pneus, conhecendo-se a força aplicada e medindo-se a deformação produzi-

da por essa força, a rigidez pode ser obtida pela lei de Hook (RAO, 1995 E THOMSON, 1978). Como resultado a Figura 6 mostra a curva da força aplicada versus deformação do pneu e a força aplicada versus deformação da mola. Devido ao comportamento não linear é necessário usar um método de linearização, como por exemplo, o método dos mínimos quadrados, que resultou em um coeficiente de rigidez de  $1,57 \cdot 10^4$  N/m para as molas e de  $2,13 \cdot 10^5$  N/m para os pneus.



Figura 5 - Pneu utilizado no veículo.

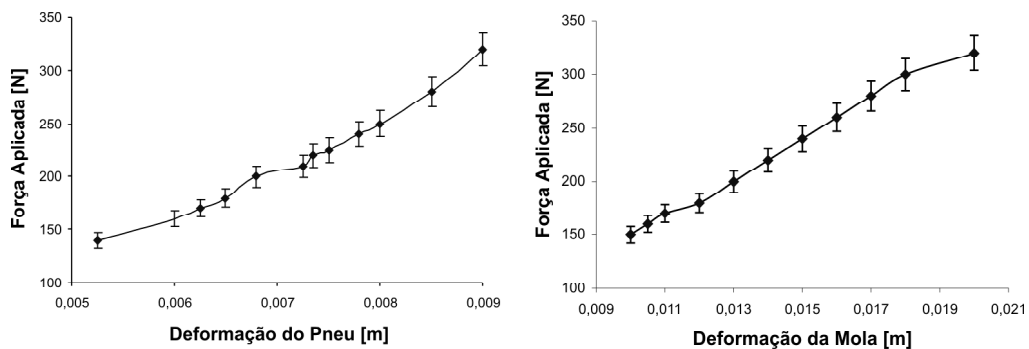


Figura 6 - Curvas da força aplicada versus à deformação do pneu (pressão de insuflamento do pneu de 96,5 kPa) e versus à deformação da mola.



Além da suspensão, foi necessário caracterizar o banco do veículo, pois por meio deste é que as vibrações originadas pelo motor, pela sus-

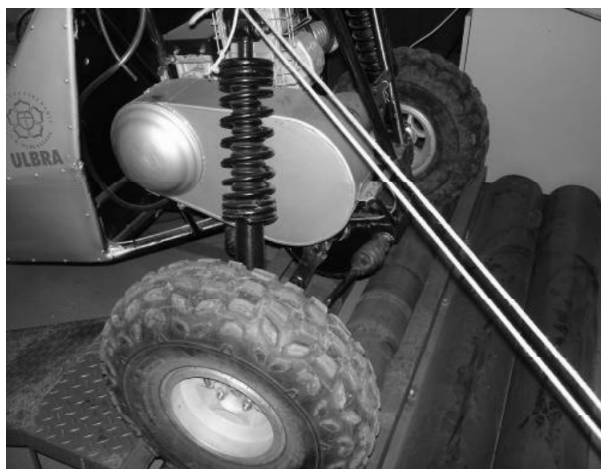
ensão e pela transmissão são transmitidas do chassi ao piloto. O banco utilizado é de fibra de vidro com espessura de 0,007 m (Figura 7).



**Figura 7** - Banco de fibra de vidro comumente utilizado em veículos fora de estrada.

A análise experimental do nível vibratório foi realizada com o veículo suspenso por suportes sobre um dinamômetro inercial como mostrado na

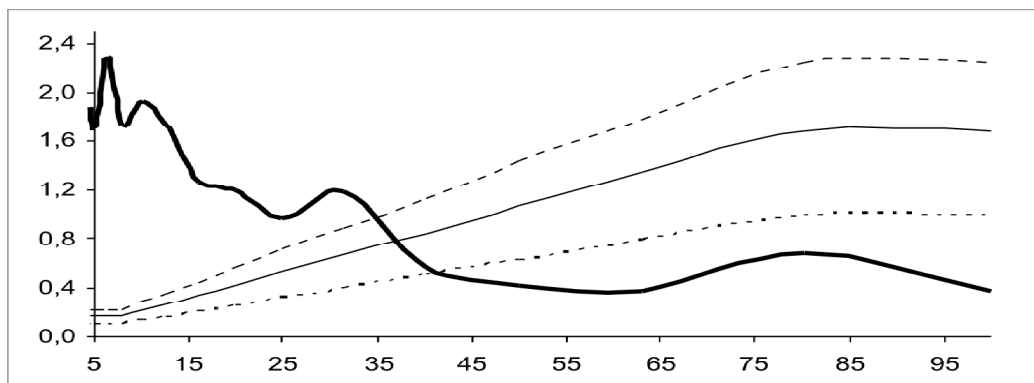
Figura 8, de forma a simular um terreno plano e liso, possibilitando assim a análise específica da excitação originária do motor, transmissão e pneu.



**Figura 8** - Veículo sobre o dinamômetro inercial.

A característica dinâmica de um sistema chassi-assento, quando relacionada a conforto e saúde, é fortemente relacionada com o peso do motorista. Para tanto, os ensaios foram realizados com um motorista de 1,83 m de altura e 745,5 N de peso. A vibração verti-

cal no banco do piloto transmitida pelo chassi (Figura 9) foi caracterizada usando-se um acelerômetro *ADXL 210E* da *Analog Devices*. Este acelerômetro caracteriza-se por ser de pequena dimensão e possuir massa adequada para o ensaio.



**Figura 9** - Destaque para o posicionamento do acelerômetro no banco.

O procedimento experimental realizado consiste em submeter o veículo em três rotações diferentes (100 rpm, 280 rpm e 700 rpm no pneu) e pela aquisição do sinal gerado pelo acelerômetro. As rotações foram coletadas por meio de um sensor Hall posicionado no dinamômetro inercial como forma de avaliar todo o conjunto motriz. Além da medição de vibrações, no mesmo instante foi coletado o si-

nal AC e DC da saída de um medidor de nível de pressão sonora conforme a ISO 5128, 1980.

## RESULTADOS

A Tabela 5 apresenta as acelerações globais dos dados obtidos relacionando a rotação da roda motriz com os valores de aceleração r.m.s. globais.

**Tabela 5** - Rotações e acelerações globais.

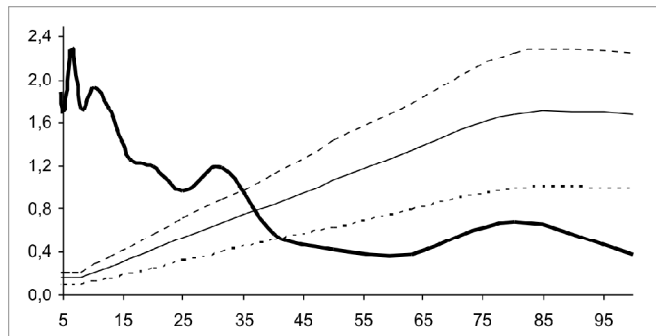
Rotação da roda motriz	Aceleração global r.m.s.
100 r.p.m.	2,4 m/s <sup>2</sup>
280 r.p.m.	4,8 m/s <sup>2</sup>
700 r.p.m.	10,5 m/s <sup>2</sup>

A Tabela 6 apresenta a relação entre as rotações e as acelerações ponderadas globais obtidas pelo sistema de processamento.

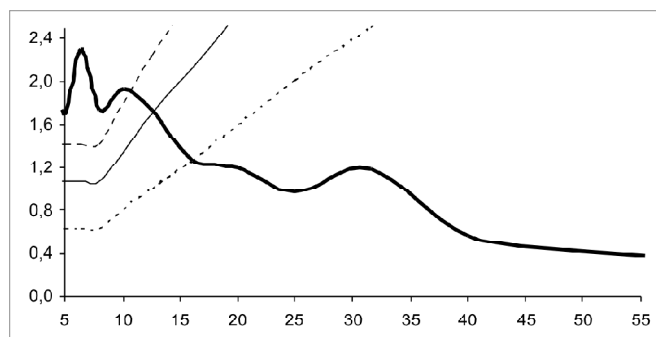
**Tabela 6** - Rotações e acelerações globais ponderadas.

Rotação	Aceleração global ponderada r.m.s.
100 rpm	1,1 m/s
280 rpm	1,6 m/s
700 rpm	2,3 m/s <sup>2</sup>

As Figuras 10 a 11 apresentam, para exemplificar, os dados médios das acelerações globais ponderadas para a rotação de 700 rpm comparados aos níveis estabelecidos pela norma ISO 2631-1, 1997, para conforto e saúde.



**Figura 10** - Dados do ensaio 700 rpm (em negrito) comparados com os níveis para conforto da ISO 2631-1, 1997 (2,5 h [- - -]; 4 h [—] e 8 h [.....]).



**Figura 11** - Dados do ensaio 700 rpm (em negrito) comparados com os níveis para saúde da ISO 2631-1, 1997 (2,5 h [- - -]; 4 h [—] e 8 h [.....]).

A Tabela 7 apresenta os níveis de pressão sonora globais dos dados obtidos relacionan-

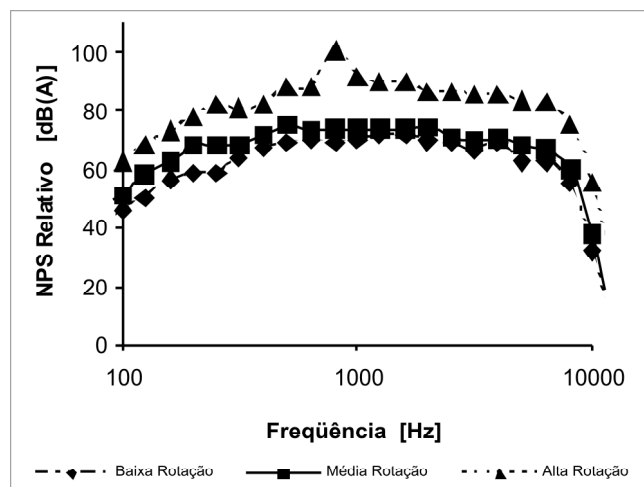
do a rotação da roda motriz com os valores de ruído.

**Tabela 7** - Rotações e Nível de Pressão Sonora global.

Rotação da roda motriz	NPS $L_{eq}$ dB(A)
100 rpm	80,5
280 rpm	84,2
700 rpm	102,4

A Figura 12 apresenta os resultados dos espectros sonoros para os ensaios conforme a rota-

ção convém salientar que os espectros apresentados são médias de 100 espectros.



**Figura 12** - Espectro sonoro do veículo em baixa (100 rpm.), média (280 rpm) e alta rotação (700 rpm).

## CONCLUSÕES

Comparando-se os dados médios registrados na Tabela 4, percebe-se que o sistema chassi-assento é caracterizado por gerar índices de vibrações considerados, por norma, como “desconfortáveis” a “muito desconfortáveis”. Cabe observar que o desconforto está relacionado à fadiga do motorista no ato de dirigir. Os

trabalhos de Tripepi et al., 2000 e Ishitake & Matoba 2000 mostraram que, na faixa de frequência de 1 a 30Hz, as pessoas apresentavam dificuldades para manter a postura e reflexos, exatamente a faixa que apresentou as maiores acelerações neste trabalho. Balbinot & Tamagna (2000), também registraram que veículos a motor são fatores bem estabelecidos como geradores de problemas na região das costas, principal-

mente após 3 horas de exposição. Além disso, observou-se que os maiores índices de aceleração encontraram-se justamente na faixa de frequência de 4 a 8 Hz, onde a massa abdominal, ombros e pulmões apresentam grande sensibilidade à vibração.

Portanto, o fato alarmante é que o maior nível de vibração, independente da rotação que excita o sistema chassi-assento, encontra-se na faixa de frequência de 5 a 25 Hz (Figura 10). A Figura 11 apresenta os dados experimentais comparados com os níveis estabelecidos por norma para saúde, onde é possível observar que os níveis são mais elevados encontram-se nas baixas frequências. Esta faixa (5 a 20 Hz) é de extrema importância, por se tratar da faixa de ressonância da coluna vertebral. Estes resultados demonstram que provavelmente os pilotos destes veículos com estes assentos estão expostos a riscos desnecessários. Sendo assim, é essencial que considerações relativas a conforto e saúde do motorista e sua relação com o assento deveriam fazer parte da avaliação destes veículos.

Como sugestões seguem algumas possíveis soluções para o problema:

- Alterar as características do conjunto da suspensão e fixação do motor;
- Melhorar a fixação do assento utilizando, por exemplo, isoamortecedores;
- E/ou substituição do assento com melhores características ergonômicas e dinâmicas.

Quanto ao ruído, os espectros encontrados nas três faixas de rotações encontram-se na zona sensível do ouvido, e os níveis equivalentes encontrados, principalmente em alta rotação estão muito acima dos recomendáveis. Assim,

como em vibrações, seguem algumas possíveis soluções para o problema:

- Enclausurar o motor, uma vez que ele e o conjunto de transmissão são as maiores fontes de ruído;
- Redimensionar a surdina;
- E/ou utilizar protetores auriculares por parte dos pilotos e pessoas que estejam envolvidas com o veículo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALBINOT, A.; TAMAGNA, A. A study of the vibration levels on urban buses in Porto Alegre – Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WHOLE-BODY VIBRATION INJURIES, 2., 2000, Siena. **Extended Abstracts...** Siena, Italy, National Health Service, Department of Prevention, 2000. p.16-17.

BOVENZI, M. Low back pain disorders and exposure to whole-body vibration in the workplace. **Seminars in Perinatology**, v. 25, n. 4, p. 231-241, 1994.

BS 6841. **Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock**. London: British Standard Guide, 1987.

GRIFFIN, M. J. **Handbook of human vibration**. New York: Academic Press, 1990.

ISHITAKE, T.; MATOBA, T. Frequency weighting for the effects of exposure to whole-body vibration on gastric motility. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON

WHOLE-BODY VIBRATION INJURIES, 2., 2000, Siena. **Extended Abstracts...** Siena, Italy, National Health Service, Department of Prevention, 2000.

ISO 226. **Normal equal-loudness-level contours.** Switzerland: International Standard, 2003.

ISO 2631-1. **Mechanical vibration and shock** – evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part I: general requirements. Switzerland: International Standard, 1997.

ISO 5128. **Acoustics** - Measurement of noise inside motor vehicles. Switzerland: International Standard, 1980.

ISO 6396. **Acoustics** - Measurement at the Operator's Position of Noise Emitted by Earth-Moving Machinery - Dynamic Test. Switzerland: International Standard, 1992.

JOHANNING , E. et al. Whole-body vibration exposure in subway cars and review of adverse health effects. **Journal of Occupational Medicine**, p. 605-612, 1991.

NBR 10151. **Acústica** – avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2000.

NBR 13369. **Cálculo simplificado do nível de ruído equivalente contínuo ( $L_{eq}$ ).** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1995.

NR 15. **Atividades e operações insalubres.** Ministério do Trabalho do Brasil. Portaria n.º 3214, D.O.U, 1978.

RAO, S. S. **Mechanical vibrations.** New York: Addison- Wesley, 1995.

THOMSON, W.T. **Teoria da vibração com aplicações.** Rio de Janeiro: Interciência, 1978.

TRIFEPI, M.G.; CANTIO, M.; SAFFIOTI, G. Risk and effects of WBV in locomotive engineers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WHOLE-BODY VIBRATION INJURIES, 2., 2000, Siena. **Extended Abstracts...** Siena, Italy, National Health Service, Department of Prevention, 2000.