

SISTEMA ASSISTIDO POR COMPUTADOR PARA AQUISIÇÃO E ANÁLISE DAS VIBRAÇÕES OCUPACIONAIS

Alexandre Balbinot^{1,2}

balbinot@vortex.ufrgs.br

Alberto Tamagna³

tamagna@vortex.ufrgs.br

¹ Universidade Tuiuti do Paraná (UTP) – Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia – FACET

² Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) – Faculdade de Engenharia – FENG

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – Escola de Engenharia – PROMEC

Av. Comendador Franco, 1860 – Curitiba – Paraná – 80.215-909

RESUMO

Este trabalho apresenta um sistema experimental para adquirir e avaliar os níveis de vibrações ocupacionais a que estão sujeitos os motoristas de ônibus urbanos. As medições foram realizadas, no eixo vertical, de acordo com as recomendações da norma ISO 2631-1 (1997) utilizando-se acelerômetros uni-axiais, um computador com placa conversora analógica para digital (A/D) e programas desenvolvidos na plataforma de programação gráfica HPVee para aquisição e avaliação dos níveis de vibrações. A vibração vertical foi simultaneamente medida no assento do motorista e no suporte do banco junto ao piso do veículo em diferentes modelos de ônibus trafegando em uma rota comercial de 18km. Um acelerômetro uni-axial (Endevco Isotron 2250A/AM1-10) foi usado para medir o nível de vibração no assento; enquanto que no piso foi utilizado um acelerômetro uni-axial da Brüel & Kjaer 4338. Os resultados indicaram que os motoristas estão expostos a níveis perigosos de vibrações principalmente na faixa de frequência da ressonância da coluna vertebral.

Palavras-chave: aquisição da vibração, análise da vibração, vibração ocupacional.

ABSTRACT

This work presents a study to evaluate the levels of the whole body vibration to which drivers of urban buses are subjected. The measurements were accomplished, in the vertical axis, in agreement with the recommendations of the norm ISO 2631-1 (1997). Uni-axial accelerometer, a computer with analog-to-digital converter (ADC) and a program developed in the platform of graphic programming HPVee were used for acquisition and analysis of the levels of vibrations. The vertical vibration was simultaneously measured at the driver's seat and at the bus support seat (attached to the floor of the bus). Four different bus models were driven on an 18km-route, which links the north and the south zones of the city. One uni-axial micro-accelerometer (Endevco Isotron 2250A/AM1-10) were used to measure the vibration levels on the seat; whilst a uni-axial accelerometer (Brüel & Kjaer 4338) was bonded to the support seat. The results indicated that the levels of whole body vibration showed that the drivers are exposed to the harmful levels of vibrations to the human body, mainly in the area of the resonance of the spine.

Key-words: vibration acquisition, vibration analysis, whole body vibration.

1 INTRODUÇÃO

Segundo o relatório de pesquisa publicado por PALMER *et al.* (2000), a vibração é um dos riscos ocupacionais mais comuns na indústria britânica. O levantamento da exposição à vibração pelo corpo humano, em trabalhadores que operam tratores, máquinas escavadoras e demais veículos é incompleto, porém existem evidências de que a exposição regular à vibração pode contribuir na geração das dores nas costas em motoristas profissionais. Segundo GRIFFIN *et al.* (1994), a exposição do corpo humano à vibração está relacionada aos problemas na atividade muscular/postural, problemas no sistema circulatório e ao aparecimento de desordens musculoesqueléticas a Organização Mundial da Saúde (ICD-10, 1999) considera as vibrações como agente de risco de natureza ocupacional).

Diversos fatores podem modificar os efeitos da vibração nas pessoas, incluindo a ressonância das diversas partes do corpo humano, duração da exposição, variabilidade individual de cada pessoa e outras variáveis ambientais. Além disso, os efeitos da vibração no corpo humano, são determinados pela faixa de frequência envolvida e, segundo KLINGENSTIERNA *et al.* (1987) e ISHITAKE *et al.* (2000) os prováveis efeitos da exposição às vibrações são:

- a) na atividade muscular/postural, na faixa de 1 a 30Hz, as pessoas apresentam dificuldades para manter a postura e também reflexos lentos;
- b) no sistema cardiovascular, em frequências inferiores a 20Hz, apresentam um aumento da frequência cardíaca;
- c) aparentemente existem alterações nas condições de ventilação pulmonar e taxa respiratória com vibrações na ordem de $4,9 \text{ m/s}^2$ na faixa de 1 a 10Hz;
- d) na faixa de frequência de 0,1 a 0,7Hz diversas pessoas apresentam enjoos, náuseas, perda de peso, redução da acuidade visual, insônia, desordens no labirinto e cólicas no cólon.

Estudos sugerem a existência de uma relação significativa entre a exposição do corpo humano às vibrações e as dores na região do dorso e costas (GRIFFIN *et al.*, 1990) (MANSFIELD *et al.*, 2000) (PALMER *et al.*, 2000) (REHN *et al.*, 2000). Segundo Brinckmann (*apud* MANSFIELD *et al.*, 2000), a redução da incidência das dores na região do dorso, costas e demais efeitos ocasionados pela vibração do corpo humano, podem ser obtidas pela redução da magnitude

do movimento que ocasiona a vibração ou pela redução da energia do movimento em determinadas frequências. Segundo KITAZAKI *et al.* (1998) e MANSFIELD *et al.* (2000), não são conhecidos os mecanismos que causam estes problemas, mas é necessário o desenvolvimento de trabalhos que identifiquem as diferentes frequências da vibração relacionadas a estas enfermidades. (BOVENZI *et al.* 1999) revisaram os estudos epidemiológicos que relacionaram exposição à vibração no corpo humano e dores na coluna de 1986 a 1997. Nos Estados Unidos, Canadá e em alguns países da Europa, estima-se que 4% a 7% dos empregados estão expostos a danos potenciais devido à exposição a vibração.

1.1 JUSTIFICATIVA, OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema experimental, baseado nas normas ISO 2631-1 (1997), que permitiu a aquisição e avaliação dos níveis de vibrações a que estão expostos motoristas profissionais de veículos pesados. Com a utilização desse sistema é possível atuar em ambientes de trabalho que prejudicam a saúde dos trabalhadores devido a exposição às vibrações. Os objetivos gerais deste trabalho são:

- implementar um sistema experimental para aquisição e análise das vibrações no corpo humano;
- medir e avaliar os níveis de vibração a que estão sujeitos alguns motoristas de ônibus urbanos brasileiros.

Originalmente este trabalho avalia os níveis de vibrações a que estão sujeitos os motoristas de ônibus brasileiros no ambiente de trabalho, além do que, apresentar um risco ocupacional desconhecido ou desconsiderado na maiorias das empresas brasileiras.

1.2 PADRONIZAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DA VIBRAÇÃO OCUPACIONAL

Critérios relacionando limites de exposição à vibração, com respeito à saúde e a segurança da população, foram propostos inicialmente em 1967 e então incorporados nas normas ISO (*International Standard Organization*). A norma ISO 2631 na maioria dos países é adotada como padrão nacional, 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 a saúde e conforto humano. Pode ser

utilizada para avaliar vibrações geradas por veículos (ar, terra e água) e máquinas (da indústria e da agricultura) onde pessoas estão expostas às vibrações mecânicas que podem interferir no conforto, nas atividades ocupacionais e na saúde humana. As principais definições da norma ISO 2631-1 (1997) estão relacionadas aos seguintes requerimentos gerais:

- a vibração é medida de acordo com um sistema de coordenadas originado em um ponto em que a vibração está entrando no corpo (Figura 1a);
- existem limites de exposição distintos para cada um dos eixos (z, x e y);
- os transdutores devem ser localizados para indicar a vibração na interface entre o corpo humano e a fonte de vibração, ou o mais próximo possível de tal ponto ou área;
- o parâmetro para avaliação da magnitude da vibração é a aceleração r.m.s. (*root-mean-square*) que deve ser expressa em m/s^2 ;
- dependendo da aplicação e da postura da pessoa, a aceleração r.m.s. deve ser compensada (ou ponderada) com pesos diferentes, pois o corpo humano é mais sensível a determinadas frequências;
- podem ser feitas medições em faixas de terços de oitava e/ou medições ponderadas em frequência;

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Como o interesse na saúde ocupacional é relativamente recente no país e o impacto das vibrações no corpo humano é um assunto de pouca divulgação, optou-se por trabalhar no ramo de transporte de pessoas, em função da sua grande abrangência, importância social e econômica em qualquer cidade.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Após a implementação de um convênio entre uma empresa de transporte público e a universidade foi possível utilizar a sua estrutura veicular e de pessoal. Em função da grande frota de diferentes veículos, rotas e da disponibilidade de ônibus e motoristas para a realização dos ensaios, optou-se por utilizar os ônibus das marcas e modelos mais utilizados nas empresas da região (a Tabela 1 apresenta um resumo das características dos ônibus utilizados nos ensaios).

Características básicas	Fabricantes do chassi			
	F1	F1	F2	F2
ano do veículo	1996	1997	1991	1992
denominação neste trabalho	F1_96	F1_97	F2_91	F2_92
modelo do chassi	MCH1	MCH1	MCH2	MCH2
fabricante da carroceria	FC1	FC2	FC2	FC2
modelo do motor	MM1	MM1	MM2	MM2
combustível	diesel	diesel	diesel	diesel
potência do motor (HP)	180	180	180	180
localização do motor	frente	frente	frente	frente
caixa	manual	manual	manual	manual

Tabela 1: Modelos de ônibus utilizados nos ensaios.

Como um dos objetivos é a verificação dos níveis de vibração a que estão sujeitos os motoristas de ônibus, os ensaios foram realizados em uma rota comercial, permitindo assim, a verdadeira reprodução do ato de dirigir na cidade onde foram realizados os ensaios. O percurso escolhido é um dos mais usados, apresentando dois tipos de pisos: asfalto e paralelepípedo e uma distância da ordem de 18km. A Tabela 2 apresenta as características básicas dos motoristas participantes que previamente aceitaram participar do experimento, assim como, receberam apoio por parte da empresa na participação neste trabalho.

Motorista	Idade	Peso	Altura	Anos na função	Sexo
A	45 anos	65kg	1,76m	10 anos	masculino
B	50 anos	75kg	1,68m	20 anos	masculino

Tabela 2: Características dos motoristas participantes.

As medições foram realizadas no eixo z, segundo a ISO 2631-1 (1997), para as medições no corpo humano com uma frequência de amostragem de 1500Hz. Foram utilizados acelerômetros uni-axiais, um computador com placa A/D interna (PCM-DAS16/330 da *Computer Boards*) e um programa de aquisição e processamento desenvolvido na plataforma HPVee. A vibração vertical (na direção z, segundo a ISO 2631-1) foi simultaneamente medida no assento do banco e no suporte do banco fixado no piso do ônibus. A Figura 1b apresenta um esboço da localização dos acelerômetros neste trabalho.

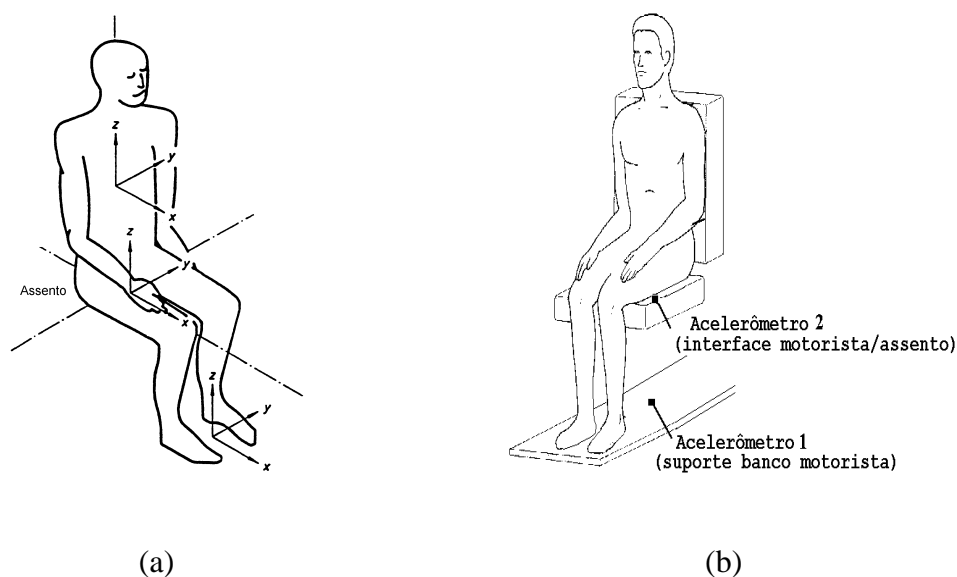


Figura 1: (a) Sistema coordenado para a postura sentada e (b) Esboço da localização dos acelerômetros.

Um micro-acelerômetro (Endevco Isotron 2250A/AM1-10) foi usado para medir o nível de vibração no assento do banco (acelerômetro 2 da Figura 1). Na base do banco (piso do ônibus) foi utilizado um acelerômetro uni-axial (Brüel & Kjaer 4338). Os dados foram adquiridos ao longo do trajeto da rota escolhida, totalizando de 39 a 70 ensaios por viagem (dez segundos em cada ensaio). Os dados foram filtrados em bandas de 1/3 oitava e posteriormente aplicado os fatores de compensação (as funções utilizadas para os filtros passa banda e ponderação foram os sugeridos pela ISO2631-1, 1997). O arranjo experimental elaborado para medir os níveis de vibração, a que estão sujeitos os motoristas de ônibus, pode ser observado no esquema da Figura 2. O sistema de alimentação consistiu no uso das baterias do próprio veículo, de um inversor de frequência e de um estabilizador de tensão.



Figura 2: Esboço do arranjo experimental.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROGRAMA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS EXPERIMENTAIS

Todo o pacote computacional, utilizado neste trabalho, foi desenvolvido na linguagem de programação gráfica HPVee (*Hewlett-Packard Visual Engineering Environment*). O programa de aquisição, utiliza as bibliotecas fornecidas pelo fabricante da placa de aquisição e conversão de dados (*Computer Boards*), que permitem selecionar o processo de varredura da placa A/D, como por exemplo, barramento da placa, quantidade de canais utilizados nos ensaios, taxa de amostragem utilizada e etc. Além disso, o programa de aquisição permite salvar os dados automaticamente, canal por canal, para posteriormente ser processado pelas rotinas de processamento e tratamento de dados.

O programa de processamento é dividido em duas etapas principais: rotinas de processamento básicas (FFT, r.m.s., média, desvio padrão, etc.) e rotinas de avaliação dos níveis de vibração do corpo humano. A Figura 3 apresenta o fluxograma das rotinas de avaliação dos níveis de vibração do corpo humano. Percebe-se no fluxograma, que o arquivo lido nas rotinas anteriores (programa de aquisição), passa pelo processo de filtragem e após pela ponderação, segundo as funções fornecidas na norma ISO 2631-1 (1997).

Após este processo, é possível obter e estudar os parâmetros de avaliação definidos pela norma ISO 2631-1 (1997), como por exemplo, VDV (*Vibration Dose Value*) e etc. Um ponto a salientar é a representação gráfica dos dados adquiridos que são comparados as curvas limites fornecidos pela norma ISO 2631, que servem para avaliação do(s) efeito(s) da vibração medida com relação a saúde, conforto e desempenho no trabalho. Como ilustração a Figura 4 apresenta o espaço de trabalho principal do programa de avaliação das vibrações no corpo humano.

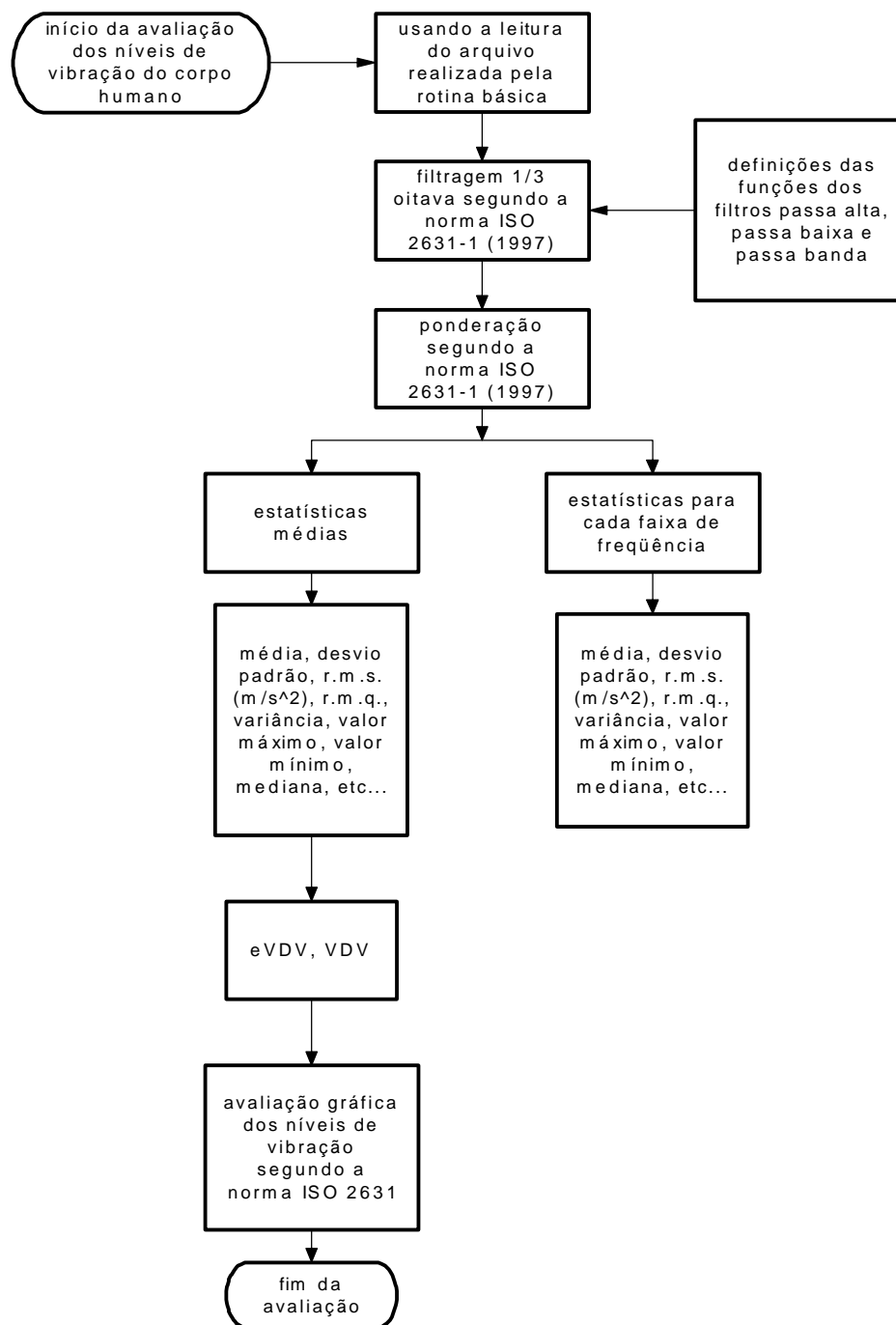


Figura 3: Fluxograma das rotinas de avaliação da vibração no corpo humano.

O espaço de trabalho principal permite ao usuário alterar a sensibilidade do acelerômetro usado, indicar a localização e o nome do arquivo a ser lido pelo programa, além do que a localização e nome do arquivo a ser gravado com os dados da Transformada de Fourier. Além disso, pode-se visualizar parâmetros estatísticos utilizados, como por exemplo, aceleração r.m.s (m/s^2), VDV, eVDV, o gráfico do sinal adquirido e após, o processo de filtragem e ponderação, os dados adquiridos relacionados às curvas padrões para fadiga, conforto e saúde.

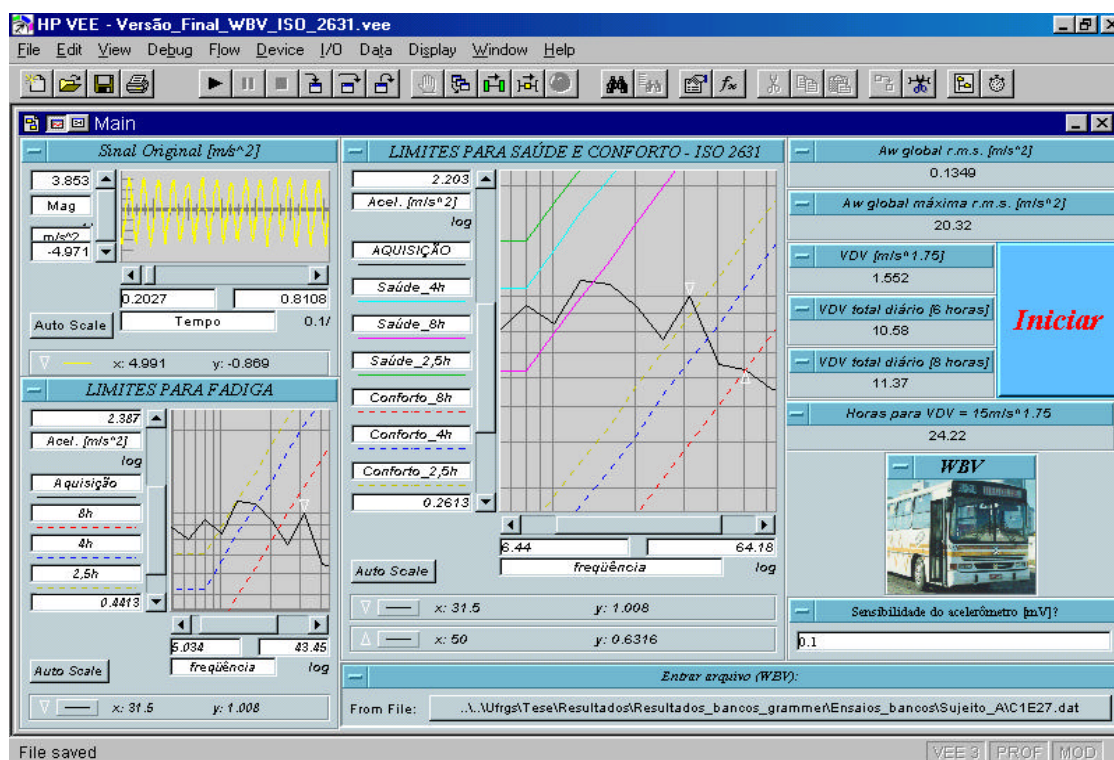


Figura 4: Detalhe da janela principal referente às rotinas de avaliação dos níveis de vibração do corpo humano.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos, para o piso asfalto e paralelepípedo, comparados aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631 para o veículo F292. Os resultados deste trabalho indicaram que, na faixa de frequência de 4 a 8Hz, considerando-se uma exposição de 8 horas por dia, os motoristas apresentaram, independentemente do tipo de piso, acelerações que ultrapassaram os níveis estabelecidos pela norma ISO 2631 para saúde, como pode-se verificar na Tabela 3. Porém, para uma exposição de 4 horas, os níveis para saúde não foram ultrapassados. O trabalho de ISHITAKE *et al.* (2000) mostrou 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.

Os resultados obtidos demonstraram que os motoristas destes veículos não devem exercer suas atividades por 8 horas ou mais, pois estarão sujeitos a índices potencialmente danosos a sua saúde. Além disso, observou-se que os maiores índices de aceleração encontraram-se justamente na faixa de frequência de 4 a 8Hz, onde a massa abdominal, ombros e pulmões apresentam grande sensibilidade à vibração vertical. Com relação ao conforto, todos os veículos apresentaram índices

que ultrapassaram os níveis estabelecidos, o que também pode estar relacionado ao cansaço e problemas físicos que os motoristas profissionais normalmente apresentam. Na frequência de 4Hz, o conforto diminuiu com o aumento do tempo de exposição, exatamente em uma das frequências que apresentaram os maiores níveis de acelerações neste trabalho. Baseado na análise estatística (baseado na Análise de Variância (ANOVA)) pode-se verificar, para um erro máximo de 5% ($\alpha = 5\%$) que existe diferença estatística significativa entre os diferentes modelos de ônibus, tipos de pisos e motoristas.

Frequência central (Hz)	Limites da ISO 2631-1 (1997)				Média \pm desvio padrão	
	Saúde		Conforto		Tipos de Pisos	
	4 horas	8 horas	4 horas	8 horas	Asfalto	Paralelepípedo
4	1,06	0,63	0,17	0,10	0,88 \pm 0,10	0,75 \pm 0,10
5	1,06	0,63	0,17	0,10	0,94 \pm 0,09	1,00 \pm 0,10
6,3	1,06	0,63	0,17	0,10	0,97 \pm 0,07	0,94 \pm 0,10
8	1,06	0,63	0,17	0,10	0,86 \pm 0,10	0,93 \pm 0,12
10	1,34	0,80	0,21	0,13	0,97 \pm 0,07	0,92 \pm 0,07
12,5	1,70	1,00	0,27	0,16	0,94 \pm 0,10	0,95 \pm 0,08
16	2,12	1,26	0,34	0,20	0,88 \pm 0,07	1,06 \pm 0,13
20	2,64	1,60	0,42	0,25	0,83 \pm 0,07	1,00 \pm 0,12
25	3,40	2,00	0,54	0,32	0,72 \pm 0,09	1,01 \pm 0,07
31,5	4,24	2,50	0,67	0,40	0,69 \pm 0,08	0,96 \pm 0,08
40	5,30	3,20	0,84	0,51	0,60 \pm 0,11	0,96 \pm 0,11
50	6,70	4,00	1,06	0,63	0,55 \pm 0,10	0,94 \pm 0,10
63	8,50	5,00	1,35	0,79	0,55 \pm 0,11	0,92 \pm 0,04
80	10,60	6,30	1,68	1,00	0,54 \pm 0,11	1,01 \pm 0,05

Tabela 3: Resultados do veículo F292 comparados aos limites da ISO 2631-1.

4 CONCLUSÕES

Segundo os resultados obtidos neste trabalho, pode-se verificar que os níveis de vibrações excederam os recomendados para conforto (exposição de 4 horas), que normalmente é o tempo médio de exposição diário de um motorista de ônibus. Com relação à saúde, constatou-se que para uma exposição de 4 horas, as vibrações geradas pelos veículos-piso-motor não ultrapassaram os limites recomendados o que não ocorreu para exposição de 8 horas. Estudos anteriores registraram que as vibrações estão relacionadas a diversos fatores de saúde física e mental, sendo portanto, importante à redução dos níveis de vibrações principalmente nas faixas apresentadas neste trabalho.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a FAPERGS pelo apoio financeiro. Cabe também registrar o apoio de empresas de transporte público no desenvolvimento deste trabalho, assim como, dos motoristas envolvidos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOVENZI, M., HULSHOF, C. T. J., “**An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain (1986-1997)**”. Int. Arch. Occup. Environ. Health, pp. 351-365. 1999.
- GRIFFIN, M.J., HAYWARD, R.A. “**Effects of horizontal whole-body vibration on reading applied ergonomics**”. Ergonomics, pp. 165-169. 1994
- ISHITAKE, T., MATOBA, T.. “Frequency weighting for the effects of exposure to whole-body vibration on gastric motility.” 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON WHOLE-BODY VIBRATION INJURIES. 2000
- ISO 2631-1, 1997. “**Mechanical vibration and shock – evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part I: general requirements**”. International Standard.1997
- KITAZAKI, S., GRIFFIN, M. J., “Resonance behaviour of the seated human body and effects of posture”. **Journal of Biomechanics**, pp. 143-149. 1998
- KLINGESTIERNA, U, POPE, M. H.. “**Body height changes from vibration**”. Spine, pp. 566-568. 1987
- MANSFIELD, N. J., GRIFFIN, M. J., “Effect of posture and vibration magnitude on apparent mass and pelvis rotation during exposure to whole-body vertical vibration”. 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON WHOLE-BODY VIBRATION INJURIES, 43-44. 2000.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. “Lista de doenças relacionadas ao trabalho”. Portaria 1339/GM. 1999
- PALMER, K. T., GRIFFIN, M. J., BENDALL, H., PANNETT, B., “**Prevalence and pattern of occupational exposure to whole body vibration in Great Britain: findings from a national survey**”. Occupational Environmental Medicine, pp. 229-236. 2000.
- REHN, B., LÜNDSTRÖM, R., NILSSON, T., BERGDAHL, I. A., AHLGREN, C., SUNDELIN, G., “Musculoskeletal symptoms among drivers of all-terrain vehicles”. 2nd **International Conference on Whole-Body Vibration Injuries**, 7-9. 2000.
- WHO World Health Organization Sustainable Development and Health Environments, 1999. “International statistical classification of diseases and related health problems (ICD-10) in occupational health”.