

# Análise do conforto quanto à vibração em automóveis de passeio

Francisco Kaderli<sup>1</sup>  
Herbert Martins Gomes<sup>2</sup>

## Resumo

O uso de automóveis vem crescendo atualmente. Então, é de suma importância que esses propiciem bem-estar aos motoristas e passageiros. Este artigo busca determinar o grau de conforto do motorista em relação à vibração transmitida por um veículo, por meio de medições realizadas em quatro automóveis de mesma categoria, disponíveis no mercado brasileiro. A avaliação foi realizada em diferentes condições de tipo de pavimento, velocidade do automóvel e local de medição da vibração. Ainda, para a situação de motoristas profissionais, avalia-se a exposição diária à vibração A (8), para diferentes situações de trabalho, que se compara com os limites de exposição definidos pelas normas vigentes. Segundo a análise de conforto, verifica-se, em uma média geral, que um dos veículos apresentou-se mais confortável que os demais. Em termos da exposição humana à vibração, percebe-se que, para determinadas condições, as vibrações podem ultrapassar os limites de exposição permitidos por norma oficial.

**Palavras-chave:** Conforto veicular. Vibração do corpo inteiro. Vibração do sistema mão-braço.

## Abstract

*The use of automobiles is currently growing. So, it is extremely important that these vehicles propitiate well-being to the drivers and passengers. This article aims to determine the degree of the driver's comfort in relation to vibration transmitted by a vehicle by measurements performed on four vehicles of same category available in Brazil. The evaluation was performed under different pavement type conditions, vehicle speed and vibration measurement location. Also, for the situation of professional drivers, it is evaluated the daily exposure to vibration A(8) for different work situations, which is compared to the exposure limits defined by current standards. According to comfort analysis, it is verified, in a general average, that one of the vehicles presented more comfortable than others. In terms of human exposure to vibration, it is clear that for certain conditions, vibrations may exceed the exposure limits defined by official standard.*

**Keywords:** Vehicular comfort. Whole body vibration. Hand-arm system vibration.

1 Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil. Gerente da Kaderli Motor Peças Ltda. E-mail: kikokaderli@gmail.com

2 Doutor em Engenharia Mecânica pela UFRGS e professor do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: herbert@mecanica.ufrgs.br  
Artigo recebido em 11/03/2011 e aceito em 27/06/2011.

## 1 Introdução

Hoje em dia, com o mercado automobilístico em plena expansão, há cada vez mais interesse por automóveis, sendo esse um meio de transporte atrativo para o homem e de grande utilidade no dia a dia. O número de automóveis em circulação vem aumentando proporcionalmente com o aumento da população. Devido a esse fato, é de suma importância que esses automóveis propiciem bem-estar ao motorista e a seus passageiros (OICA, 2011).

Inúmeras revistas e matérias automotivas buscam informar à população quais são os automóveis produzidos que proporcionam ao usuário melhores condições de uso. Dentre as características avaliadas, pode-se evidenciar o consumo de combustível, aceleração de 0-100 km/h, potência e conforto, sendo esse um dos critérios mais importantes para se medir a qualidade de um veículo exposto a diferentes tipos de vibrações (MAIA, 2002).

Porém, na maioria das avaliações de conforto, provenientes dessas publicações, não é estabelecido nenhum critério ou dados palpáveis que comprovem qual dos automóveis em questão propicia um melhor nível de conforto ao motorista. Sendo, de suma importância, um estudo na área de conforto automotivo decorrente de vibrações, uma vez que as vibrações são manifestações de comportamento dinâmico comum a todos os automóveis.

De acordo com Palmer *et al.* (2000), a vibração é apontada como um dos riscos ocupacionais mais comuns na indústria e também está diretamente ligada à incidência de dores nas costas em motoristas profissionais. Além disso, a utilização de automóveis a motor parece representar um risco significativo, quando correlacionado ao surgimento de problemas nas costas (WHITE; PANJABI, 1990).

O presente estudo visa avaliar o grau de conforto de um motorista submetido a vibrações transmitidas por veículos de passeio em diferentes condições de pavimentação (asfalto e paralelepípedos) e velocidade. Quatro automóveis de uma mesma categoria de

diferentes montadoras disponíveis no mercado automotivo brasileiro foram testados. As medições de vibração foram realizadas no volante, assento e encosto dos respectivos veículos. Foram considerados os sistemas mão-braço e corpo inteiro para a avaliação da exposição humana à vibração, de acordo com as normas ISO 5349-1 (2001) e DIRECTIVE 2002/44/EC (2002). Tem-se como objetivo geral, obter dados suficientes para avaliar qual dos automóveis testados pode ser considerado o mais confortável em termos da transmissão da vibração ao motorista.

Além disso, este estudo apresenta os seguintes objetivos:

- Avaliar entre as configurações medidas, se a exposição diária à vibração ultrapassa os limites indicados pelas normas vigentes, verificando se essas podem ser fontes de possíveis danos à saúde do motorista, no caso de uso intensivo como meio de trabalho;
- Avaliar estatisticamente a influência da vibração transmitida ao motorista, em função da magnitude da velocidade dos automóveis e do tipo de pavimento.

## 2 Referencial Teórico

### 2.1 Vibrações mecânicas

Uma vibração pode ser descrita por um histórico da posição, da velocidade ou da aceleração de um corpo. O mais comum é quantificá-la por meio da aceleração. De acordo com Fernandes (2000 apud SAVIONEK, 2010), um 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, medido em ciclos por segundo ou Hertz (Hz).

Becker (2006) afirma que a vibração está presente em qualquer sistema mecânico que se mova, diferindo de um sistema para outro apenas em nível e conteúdo espectral. Dentro desses sistemas mecânicos, tem-se como referência o corpo humano, no qual sua vibração pode ser definida como toda ou

qualquer vibração produzida por um evento externo, atuando no corpo, como, por exemplo, quando o corpo está sobre uma superfície que está vibrando (BALBINOT, 2001). Os modelos científicos mais utilizados para a representação de vibrações são modelos gráficos que expressam as relações: (i) amplitude de vibração x tempo, e (ii) amplitude de vibração x frequência, sendo esse denominado de espectro de frequência. Diferentes tipos de movimentos oscilatórios apresentam espectros de frequência com características diferentes. Podendo ser espectros discretos, decorrentes de sinais contínuos determinísticos (periódicos), ou espectros contínuos, decorrentes de sinais contínuos randômicos ou de sinais transientes.

Podemos identificar outros parâmetros em um sinal vibratório, tais como, valor de pico, valor pico-a-pico, fatores de forma e de crista e valor *rms* (*root mean square*). Sendo o valor *rms* o de maior importância, pois de acordo com Fernandes (2000), possibilita avaliar a média de energia contida no movimento oscilatório, mostrando o potencial de dano da vibração. Sendo assim, a medida mais importante de um sinal ou de um movimento tem relação direta com a energia contida na onda. Para uma função variável contínua  $f(t)$  definida sobre o intervalo de tempo  $T_1 \leq t \leq T_2$ , o seu valor *rms* é dado pela expressão:

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} [f(t)]^2 dt} \quad (1)$$

A exposição humana à vibração é classificada, de acordo com as suas particularidades, em (ISO 2631-1, 1997):

- Vibrações de corpo inteiro: são as vibrações que atingem o corpo todo, mais particularmente em uma faixa de frequência de 1 a 80 Hz;
- Vibrações das extremidades: são as vibrações transmitidas às mãos e aos braços, em uma faixa de frequência de 6,3 a 1250 Hz.

Vale lembrar que, no presente trabalho, há uma exposição simultânea aos dois tipos de vibração. Ao corpo inteiro, referente ao movimento global do veículo e ao sistema mão-braço, transmitido pelo volante do mesmo.

Sendo assim, a necessidade de padronizar e avaliar essas vibrações originaram diversas normas. As mais importantes normas internacionais são: ISO 2631 (1997) e ISO 5349 (2001) (*International Organization for Standardization*) e normas europeias (*European Directive 2002/44/CE* (2002), DIN EN 13059 (2002), BSI 6841 (1987), OPSI 1093 (2005), etc.).

### 2.1.1 Metodologia de avaliação

Tanto para avaliação do conforto devido à vibração, quanto para a saúde, deve-se seguir uma metodologia baseada em normas. Neste trabalho, são utilizadas duas normas diferentes. A ISO 5349-1 (2001) foi utilizada para avaliação da exposição humana à vibração, transmitida ao sistema mão-braço, neste caso, contemplando a análise do volante dos automóveis. E ainda, para análise de vibração no assento e no encosto, é utilizada a norma ISO 2631-1 (1997), a qual é caracterizada pela avaliação da exposição humana à vibração de corpo inteiro.

De acordo com Griffin (1990), a forma mais comum de se quantificar a vibração é por meio da aceleração. Sendo assim, ambas as normas adotadas, utilizam a aceleração *rms*, para caracterizar as vibrações. Porém, Becker (2006) explica que as formas diretas de quantificar o movimento oscilatório, baseadas no valor *rms*, não levam em conta os possíveis efeitos de frequência. Sinais medidos de vibração com conteúdo espectral diferente podem ter valores idênticos para diferentes parâmetros (média, *rms*, etc.), no entanto, seu efeito no corpo humano pode ser completamente diferente (WALBER, 2009). Para corrigir esse problema, foram idealizadas curvas de ponderação ou compensação para medições de movimentos oscilatórios do corpo. Essas curvas são função da frequência e são utilizadas como um fator que atribui pesos diferentes para movimentos com frequências diferentes e têm como objetivo qualificar as vibrações nas frequências em que o corpo humano apresenta maior sensibilidade. O resultado dessa ponderação é a obtenção de um valor defi-

nido, denominado aceleração *rms*, ponderada pela frequência  $a_{w'}$ , em  $m/s^2$ . A aceleração  $a_w$  é dada pela equação (2):

$$a_w = \left[ \sum_i (W_i \cdot a_i)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

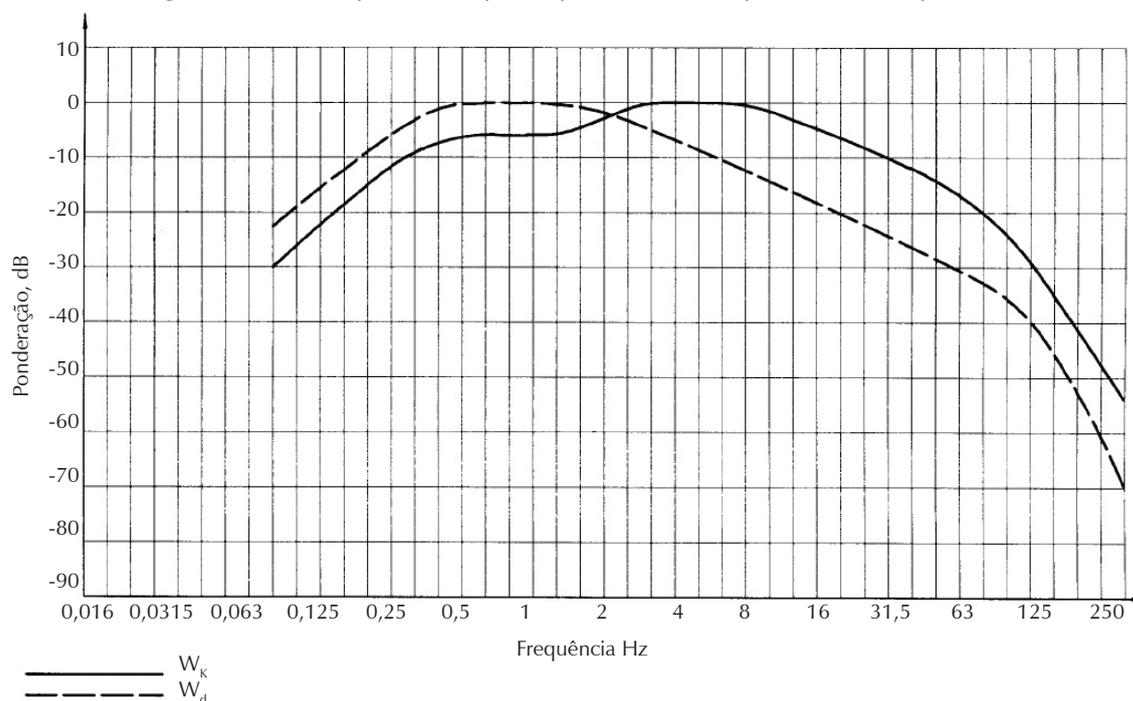
onde:

- $W_i$  é o fator de ponderação;
- $a_i$  é a aceleração *rms*, para as dadas frequências.

A figura 1 apresenta as curvas de ponderação por frequência  $W_k$  e  $W_d'$  utilizadas em diferentes casos, na avaliação da exposição à vibração transmitida ao corpo inteiro.

As demais curvas de ponderação, aplicadas neste trabalho, podem ser visualizadas nas referidas normas ISO. Porém, em todas as curvas utilizadas, observa-se que as faixas de frequência mais prejudiciais ao corpo humano são justamente aquelas que possuem um maior

Figura 1 - Curvas de ponderação por frequência  $W_k$  e  $W_d$  para vibração corpo inteiro



Fonte: ISO 2631-1 (1997).

fator de ponderação. Devido ao fato da medição da vibração ser realizada, seguindo um sistema de coordenadas tri-axial, deve ser obtido, para cada um dos eixos x, y e z, um valor de aceleração *rms*, ponderada pela frequência, representados por  $a_{wx'}$ ,  $a_{wy'}$  e  $a_{wz'}$ , dados

em  $m/s^2$ . Além disso, são utilizados fatores de multiplicação  $k_i$ , os quais têm como objetivo atribuir pesos para os diferentes eixos de coordenadas, de acordo com a medição realizada. Fato que se justifica, pois segundo Griffin (1990), a vibração, em diferentes frequências

Quadro 1 – Curvas de ponderação e fatores de multiplicação utilizados nas medições

		mão-braço (volante)			corpo inteiro ( assento)			corpo inteiro (encosto)		
		eixo x	eixo y	eixo z	eixo x	eixo y	eixo z	eixo x	eixo y	eixo z
curva de ponderação	saúde	Wh	Wh	Wh	Wd	Wd	Wk	Wd	Wd	Wk
	conforto	Wh	Wh	Wh	Wd	Wd	Wk	Wc	Wd	Wd
fator multiplicador (K)	saúde	1,0	1,0	1,0	1,4	1,4	1,0	1,4	1,4	1,0
	conforto	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,5	0,4

Fonte: ISO 2631-1 (1997) e ISO 5349-1 (2001).

ou em diferentes eixos, pode produzir diferentes sensações, em diferentes partes do corpo. Ainda, vale citar que, pela grande quantidade de dados experimentais na direção  $z$ , utiliza-se um fator de ponderação de 1,0 para os casos de análise de saúde. Para outras direções, por falta de dados experimentais e informações, utiliza-se o fator 1,4 por questões de segurança (ISO 2631-1, 1997 e ISO 5349-1, 2001). No quadro 1, podem-se visualizar as diferentes curvas de ponderação e fatores de multiplicação empregados nas medições e têm como referência as normas ISO 2631-1 (1997) e ISO 5349-1 (2001).

Observa-se ainda que esses fatores de multiplicação em questão podem ser empregados para diferentes situações. Dependendo se a avaliação da exposição humana à vibração está vinculada ao conforto ou à saúde, ou ainda, ao diferente local de medição, onde os fatores de multiplicação devem ser observados.

Com esses valores, por meio da soma dos quadrados da aceleração de cada componente multiplicados pelo quadrado do fator de multiplicação específico, obtém-se a vibração

total  $a_v$ , em  $m/s^2$ , conforme a equação (3).

$$a_v = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2} \quad (3)$$

onde  $k_x$ ,  $k_y$  e  $k_z$  são os fatores de multiplicação aplicados a seus respectivos eixos.

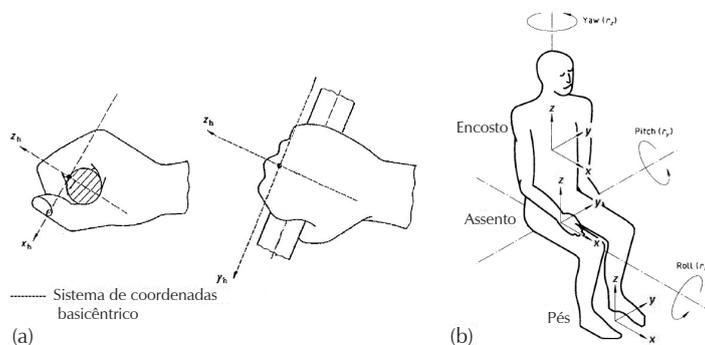
Ainda, para casos onde a exposição à vibração consiste em dois ou mais períodos de exposição para diferentes durações e magnitudes de vibração, calcula-se a vibração total equivalente  $a_{v,e}$  correspondente à duração total de exposição, de acordo com a equação (4):

$$a_{v,e} = \left[ \frac{\sum a_{vi}^2 \cdot T_i}{\sum T_i} \right]^{1/2} \quad (4)$$

onde  $a_{vi}$  é a vibração total para a duração da exposição  $T_i$ .

Como observado na equação (3), as vibrações transmitidas ao corpo humano devem ser medidas em três direções, tanto para medições de vibrações referentes ao corpo inteiro, quanto para o sistema mão-braço, de acordo com um sistema de coordenadas ortogonal. Na figura 2, pode-se visualizar o sistema de coordenadas adotado de acordo com as duas normas utilizadas. Cabe frisar que ambas

Figura 2 - Sistema de coordenadas basicêntrico adotado para vibração (a) mão-braço e (b) corpo inteiro



Fonte: ISO 5349-1(2001) e ISO 2631-1 (1997).

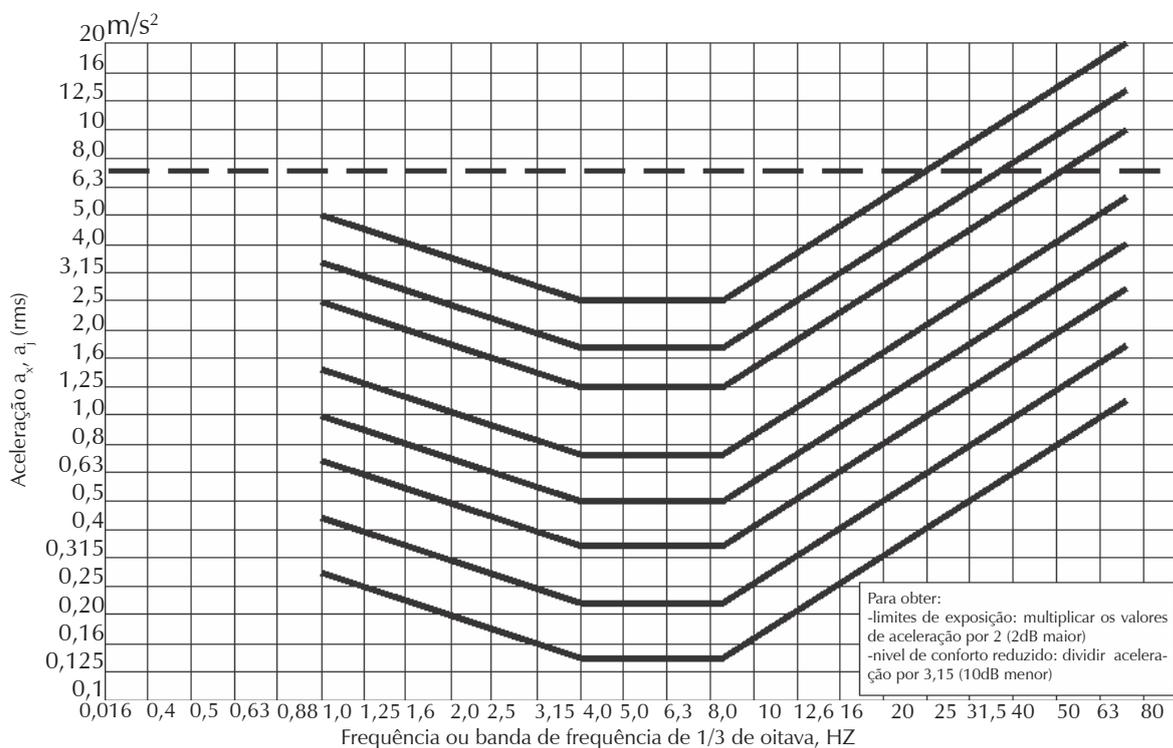
as normas utilizam o sistema de coordenadas basicêntrico, no qual a vibração é medida, seguindo um sistema de coordenadas, originado em um ponto, onde a vibração está entrando no corpo.

### 2.1.2 Metodologia de avaliação do conforto quanto à vibração

Em geral, os limites de conforto ou desconforto em um passageiro ou motorista de

um veículo são difíceis de determinar devido à variação da sensibilidade de cada um para com a vibração (WONG, 2001). Porém, a norma ISO 2631 (1997) estabelece alguns critérios para avaliação do conforto devido à vibração. O gráfico apresentado na figura 3 pode ser utilizado para limitar o tempo de exposição à vibração para determinadas frequências, relacionando fadiga, conforto e saúde na direção  $z$ . Gráficos para direções  $x$  e  $y$  também podem ser utilizados. Com as acelerações  $rms$

Figura 3 – Limites para fadiga, saúde e conforto versus frequência para o eixo z (m/s<sup>2</sup>)



Fonte: Balbinot (2001).

obtidas, para verificar se os limites de conforto são ultrapassados, devem-se colocar os valores de aceleração para a faixa de frequência de 1 a 80 Hz e verificar, se esses ultrapassam os limites estabelecidos pela norma.

Porém, opta-se em utilizar os valores de aceleração *rms* ponderados pela frequência nos três eixos de coordenadas obtidos por meio das equações (2) e (3) com diferentes curvas de ponderação e fatores multiplicadores visualizados no quadro 1, obtendo assim, um valor único para fins de comparação, seguindo a recomendação da mesma norma de 1997. A norma ISO 2631-1 (1997) fornece os seguintes valores de aceleração *rms* ponderadas pela frequência como uma indicação das reações com relação ao conforto.

A referida norma para o sistema mão-braço não quantifica, em qualquer momento, valores para análise de conforto. Assim, o presente trabalho utiliza as mesmas metodologias presentes na norma do corpo inteiro, para verificar o conforto dos automóveis, apenas como critério de comparação entre os mesmos e não para avaliar o nível de conforto transmitido ao

sistema mão-braço

Quadro 2 – Escala de desconforto

Índice de conforto	Escala
Menor do que 0,315 m/s <sup>2</sup>	Confortável
0,315 m/s <sup>2</sup> a 0,63 m/s <sup>2</sup>	Levemente confortável
0,5 m/s <sup>2</sup> a 1,0 m/s <sup>2</sup>	Levemente confortável
1,25 m/s <sup>2</sup> a 2,5 m/s <sup>2</sup>	Desconfortável
Maior do que 2,5 m/s <sup>2</sup>	Extremamente desconfortável

Fonte: ISO-2631-1 (1997).

### 2.1.3 Metodologia de avaliação da saúde quanto à vibração

A única norma, atualmente vigente no Brasil, para fins de avaliação da saúde, quanto à vibração, é a Norma Regulamentadora Nº 15 (NR 15). Em seu Anexo nº 8, há a indicação que todos seus limites de exposição à vibração são definidos pelas normas ISO 2631 e ISO 5349.

Assim, além da análise e avaliação do conforto, o presente artigo tem como objetivo avaliar a exposição humana à vibração, verificando se essas podem ser fontes de possíveis

danos à saúde do motorista. Para avaliação, deve-se levar em consideração a duração diária de exposição  $T$ , em h, o tempo total em que o indivíduo fica exposto à determinada situação durante um dia. A exposição diária à vibração  $A(8)$ , em  $m/s^2$ , é baseada na equação (5)

$$A(8) = a_{v,e} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (5)$$

onde:

- $a_{v,e}$  é a vibração total, equivalente em  $m/s^2$ , dada pela equação (4), sendo que, para casos onde haja apenas um período de exposição;
- $a_{v,e}$  pode ser substituído por  $a_v$ , definido como a aceleração ponderada, combinada nos três eixos, dada pela equação (3);
- $T_0$  é uma duração de referência de 8 horas.

Esse tempo de referência  $T_0$  é adotado a fim de facilitar comparações entre exposições diárias à vibração de diferentes durações.

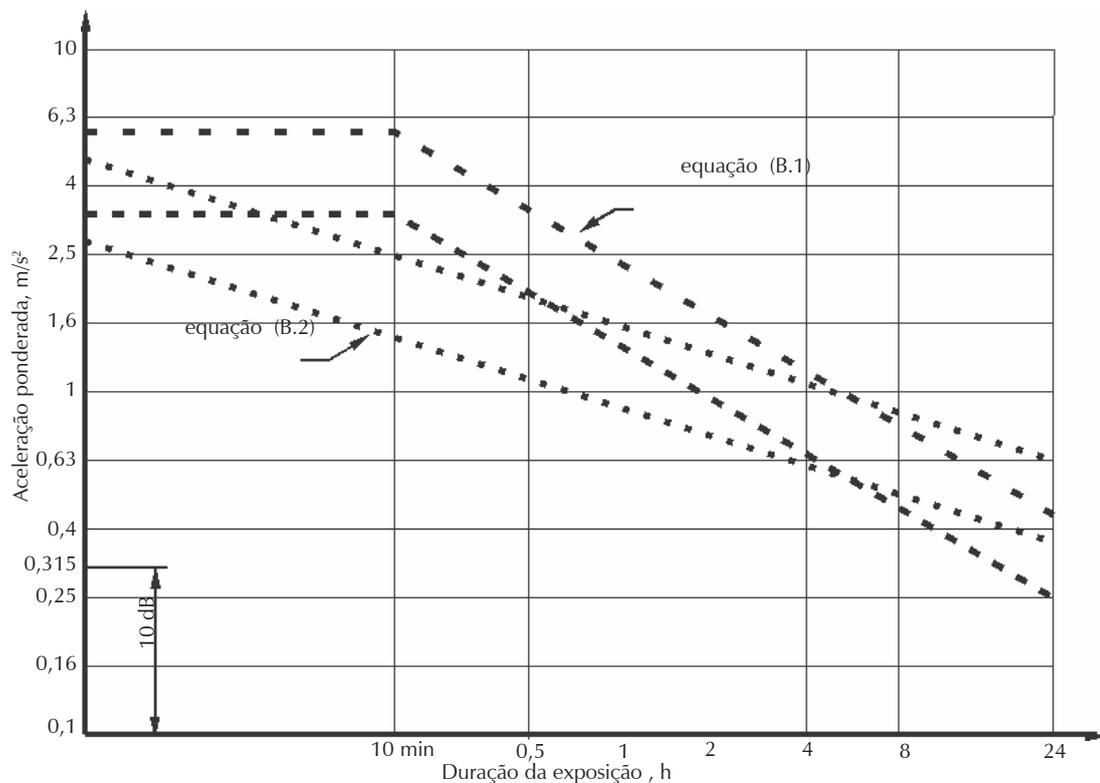
A exposição diária à vibração  $A(8)$  pode ser entendida como um valor total da aceleração (vibração) ponderado pela frequência, equivalente a 8 horas de exposição diária.

Para poder avaliar se o nível de vibração

está ou não sendo prejudicial à saúde, há valores limites para exposição diária à vibração  $A(8)$ . Um desses limites pode ser denominado como VAE (valor de ação de exposição diária - *exposure action value*) no qual, para valores acima desse limite, há a necessidade de medidas que visem à diminuição ou à eliminação dessa exposição, porém sem um grau de preocupação muito elevado. O outro limite é VLE (valor limite de exposição diária - *exposure limit value*), sendo que, para valores acima desse limite, há a necessidade de medidas imediatas para sua diminuição, pois há potencial risco à saúde. Na figura 4, verificam-se os limites de aceleração ponderada em função do tempo de exposição adotados pela norma ISO 2631-1 (1997).

A norma possui a opção de utilizar duas equações (indicadas pela Norma ISO como equação B.1 e equação B.2 na figura 4), para obter esses limites, verificados por dois tipos de marcações no gráfico. Porém, neste artigo, utiliza-se a equação, onde os limites de exposição resultem em valores menores, em função

Figura 4 – Limites de tempo de exposição diária em função da aceleração ponderada pela frequência para o corpo inteiro



Fonte: ISO 2631-1 (1997).

da segurança. Para obter os valores de VAE e VLE, basta visualizar no eixo das abscissas a duração de exposição de 8 horas e projetá-los através da equação B.1 ou B.2 (linhas tracejadas ou pontilhadas, respectivamente) no eixo das ordenadas das acelerações ponderadas. Com a projeção dessas linhas, obtêm-se os valores utilizados VAE e VLE para aceleração.

Na norma vigente, para o sistema mão-braço, não são estabelecidos limites de exposição à vibração. Assim, de modo a obter valores comparativos, utilizam-se os valores presentes na norma da União Europeia (Diretiva 2002/44/EC), como referência de valores para

o sistema mão-braço.

Os valores de ação de exposição diária (VAE) e limite de exposição diária (VLE), utilizados podem ser visualizados no quadro 3:

Quadro 3 – Valores de referência VAE e VLE utilizados nas avaliações

Valores de referência (m/s <sup>2</sup> )		
	VAE	VLE
Mão-braço (Diretiva 2002/44/EC,2002)	2,5	5,0
Corpo inteiro (ISO 2631-1, 1997)	0,43	0,88

Fonte: DIRECTIVE 2002/44/EC (2002) e ISO 2631-1 (1997).

Quadro 4 – Características dos automóveis medidos

Característica	Volkswagem Gol	Renault Sandero	Ford Fiesta	Fiat Palio
Pressão dos pneus frontais	30 psi	29 psi	30 psi	27 psi
Pressão dos pneus traseiros	30 psi	29 psi	30 psi	27 psi
Diâmetro da roda	14"	14"	14"	14"
Especificação do pneu	175/70	185/70	185/70	185/65
Massa total	934 kg	1025 kg	1076 kg	940 kg
Potência do motor G/A	72/76 cv	76/77 cv	71/73 cv	65/66 cv
Ano de fabricação	2009	2009	2008	2007
Ano modelo	2010	2009	2008	2008

Fonte: Os autores (2010).

### 3 Avaliação do conforto vibracional

#### 3.1 Modelos dos automóveis

Realizaram-se as medições em quatro automóveis nacionais da mesma categoria de cilindradas. Todos os automóveis medidos possuem direção hidráulica e enquadram-se na mesma classe, com motores de 1,0 litro. São eles: Volkswagen Gol, Renault Sandero, Ford Fiesta e Fiat Palio. No quadro 4, observam-se as principais características de cada veículo.

Todos os automóveis testados encontravam-se em plenas condições de uso e todas as suas características, tais como pneus e rodas, foram mantidas originais. Os pneus de cada modelo foram calibrados pelo mesmo equipamento, de acordo com as recomendações de pressão de cada fabricante. Durante a realização das medições, todos os carros foram conduzidos pelo mesmo motorista de massa igual a 77 kg, acompanhado de um passageiro de 70 kg, a fim de manter a padronização dos testes.

Figura 5 - Modelos dos automóveis utilizados nas medições



Fonte: Os autores (2010).

Pode-se visualizar, conforme as características citadas no quadro 4, que apesar dos automóveis se enquadrarem na mesma categoria, possuem algumas diferenças, tais como: a massa total, especificações do pneu e potência do motor. Na figura 5, visualizam-se os quatro modelos de automóveis utilizados nas medições.

### 3.2 Instrumentação dos automóveis

As medições de vibração transmitidas pelos veículos foram realizadas por intermédio do equipamento VI-400Pro, S/N 12430, o qual consiste em um analisador de vibração portátil, com acelerômetros. Além de medir essas vibrações, o equipamento é capaz de armazenar os dados em uma memória interna com capacidade de 32 Mb. O aparelho é capaz de medir quatro canais de entrada simultaneamente, sendo três os utilizados para medir a vibração nos três eixos de coordenadas. Na figura 6, é mostrado o conjunto composto pelo Case - medidor de vibração portátil modelo VI400-Pro e transdutores, utilizados para as medições.

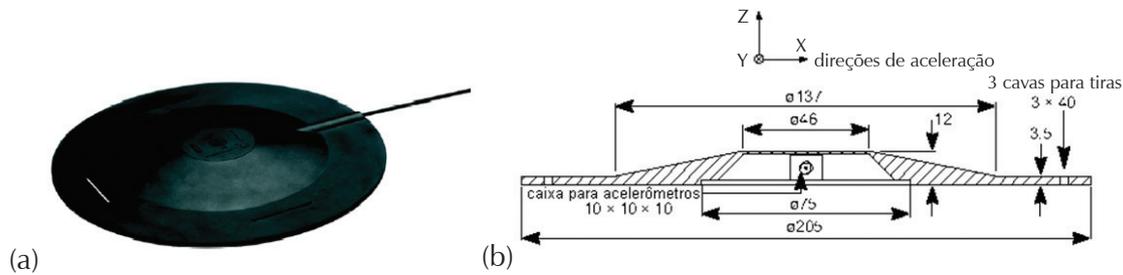
A vibração transmitida pelo veículo é transformada em um sinal da ordem de mV, através de transdutores posicionados em locais específicos. Para vibrações medidas no encosto e no assento, utilizou-se um dispositivo do tipo *seatpad*, em formato de um disco flexível de material semirrígido padronizado, o qual tem o papel de não alterar as propriedades dinâmicas da interface do corpo e do banco, além de mover-se juntamente com toda a estrutura.

Figura 6 – Medidor VI400-Pro e transdutores utilizados nas medições



Fonte: Os autores (2010).

Figura 7 – (a) Vista do *seatpad* e (b) Corte com dimensões (mm) de acordo com a SAE



Fonte: Griffin (1990).

Para medidas de vibração no volante, emprega-se um acelerômetro piezoelétrico triaxial Dytran, modelo 3023A2, S/N 4147 que possui uma sensibilidade nominal de 10mV/g para cada um dos seus eixos x, y e z.

O aparelho conta ainda com um *software* de processamento, o *QuestSuite Professional II*. Com ele, é possível calibrar o instrumento, a fim de definir quais curvas de ponderação serão empregadas, eixos de coordenadas utilizados, dentre outros parâmetros. Além disso, o *software* possui um recurso de

pós-processamento de dados, onde os dados armazenados pelo equipamento são transferidos a um computador, permitindo a posterior análise dos valores obtidos. A instrumentação foi realizada por meio de dois tipos de acelerômetros. Um acelerômetro fixado no volante é de extrema importância que seja posicionado próximo da empunhadura da mão e bem fixado à estrutura como recomenda a ISO 5349. As medições no assento e no encosto foram realizadas por meio do *seatpad*, esse posicionado na interface do motorista com a super-

ficie vibrante, tanto para a região do encosto quanto para região do assento. Cada medição foi realizada isoladamente, tendo um tempo de duração de aproximadamente 60 segundos em cada condição de velocidade de tráfego e tipo da pista. Este tempo de 60s foi estabelecido como valor suficiente para caracterizar as vibrações nas faixas de frequência medidas.

A importância do correto posicionamento dos transdutores, em concordância com a norma utilizada, foi observado durante as me-

dições. Na superfície do assento, o *seatpad* foi posicionado abaixo do cóccix. Para a vibração nas costas transmitida pelo encosto, na área de apoio principal das costas com o banco. Há a necessidade de que ambos os transdutores estejam em um alinhamento com relação aos eixos determinados na norma, apesar da mesma permitir uma tolerância angular de até 15°. A figura 8 apresenta os locais de acoplamento dos transdutores, juntamente com o sistema de coordenadas adotado.

Figura 8 – Acoplamento dos respectivos transdutores no volante, assento e encosto juntamente com o sistema de coordenadas adotado



Fonte: Os autores (2010).

### 3.3 Tipos de pavimentos avaliados

Dois tipos de pavimentação foram escolhidos para realização dos testes: pavimentação de asfalto e de paralelepípedos. A pavimentação de asfalto, onde os testes foram realizados, localiza-se na avenida A. J. Renner em Porto Alegre, que tem como característica ser uma superfície de rolamento lisa, porém com algumas irregularidades, decorrentes do desgaste excessivo e falta de manutenção, cenário muito comum nas vias do Brasil.

A pavimentação de paralelepípedos, localizada na rua José Pedro Boéssio, na mesma cidade, apresenta uma superfície com constantes interrupções, devido as pequenas dimensões de cada paralelepípedo e pelo fato da via possuir um alto número de juntas/remendos, tornando a superfície rica em irregularidades. A figura 9 indica os dois tipos de pavimentos, onde os testes foram realizados.

### 3.4 Velocidades avaliadas

As medidas das vibrações nos quatro veículos foram realizadas durante 60s, nas seguintes faixas de velocidade constante: 0 km/h, 30 km/h e 60 km/h, marcadas no velocímetro de cada veículo em ambos os pavimentos. Essas faixas de velocidade foram escolhidas, pois são comumente desenvolvidas em meios urbanos. A medida da vibração com o veículo parado (0 km/h) tem como objetivo simular os frequentes congestionamentos e paradas em sinais de trânsito, característico de cidades com elevada densidade populacional e alto número de veículos. As vibrações captadas são decorrentes do funcionamento do motor em marcha lenta e dos demais componentes do automóvel. O trabalho limita-se a utilizar três valores de velocidade, devido ao grande número de medições realizadas em diferentes condições e locais.

Figura 9 – Pavimento de (a) asfalto e (b) paralelepípedos utilizados nas medições



Fonte: Os autores (2010).

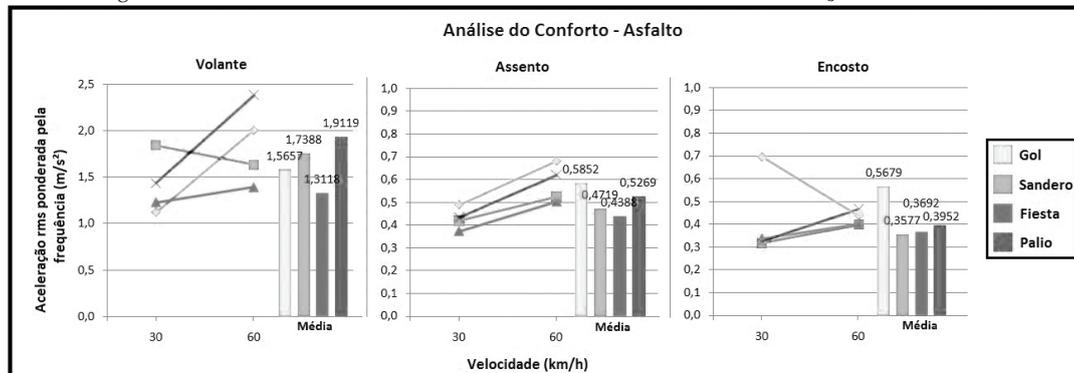
## 4 Resultados e análises

### 4.1 Da avaliação da vibração quanto ao conforto

Nas figuras a seguir, podem ser visualizados os resultados da avaliação do conforto obtidos, por meio de gráficos comparativos entre os modelos de automóveis. Por meio da equação (3), utilizam-se as acelerações medidas em cada eixo do sistema de coordenadas.

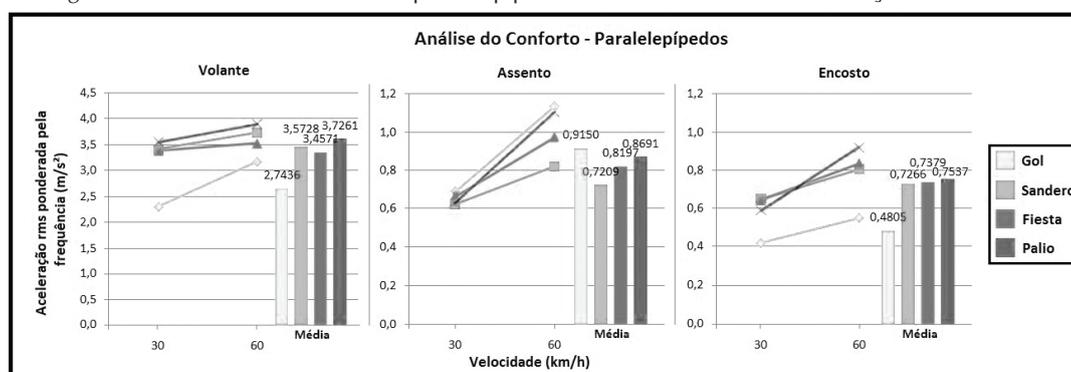
E empregando as corretas curvas de ponderação e fatores de multiplicação, apresentados no quadro 1, calcula-se a aceleração nos três eixos  $a_v$ , dada em  $m/s^2$ . De acordo com os gráficos, pode-se visualizar a magnitude da aceleração em função de duas faixas de velocidade (30 e 60 km/h). Os gráficos, apresentados pelas figuras 10 e 11, representam a análise do conforto no pavimento de asfalto e de paralelepípedos, respectivamente.

Figura 10 – Análise do conforto em asfalto em diferentes locais de medição e velocidades



Fonte: Os autores (2010).

Figura 11 – Análise do conforto em paralelepípedos em diferentes locais de medição e velocidades



Fonte: Os autores (2010).

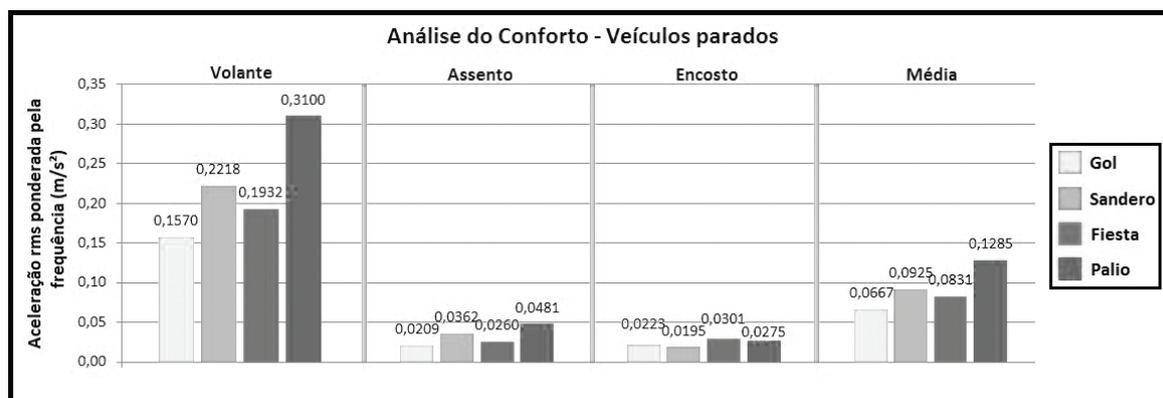
Cada gráfico é separado por local de medição, possuindo no eixo das abscissas a velocidade desenvolvida pelos automóveis e no eixo das ordenadas, a vibração total, dada em  $m/s^2$ . No gráfico de medições no volante, em ambos os pavimentos, verifica-se uma escala maior no eixo vertical, indicando previamente uma magnitude de vibração mais elevada nesse local, em comparação com os demais. Os bancos dos automóveis possuem molas e espuma que são componentes de grande influência na diminuição da vibração transmitida ao ocupante. Percebe-se também que, independentemente do local de medição, a vibração originada no pavimento de paralelepípedo é superior em comparação com o asfalto.

A cada veículo, atribuiu-se uma cor de barra específica, podendo ser visualizado na legenda ao lado direito das figuras. As linhas que ligam os pontos servem para verificar a

tendência de crescimento ou decréscimo da velocidade. Cada ponto representa uma medição. Nas linhas que ligam os pontos, pode-se visualizar, a grande maioria dos casos, o nível de desconforto, ou seja, a aceleração *rms* aumenta com o acréscimo da velocidade, independente do pavimento ou local de medição. As barras, à direita de cada gráfico, representam a média aritmética do local da medição para cada carro referente às duas velocidades analisadas.

Avaliando isoladamente cada caso, verifica-se pelos gráficos a diferença de comportamento de cada veículo, referente às mudanças de pavimento e local de medição. O Ford Fiesta, por exemplo, que em alguns casos apresentou níveis de conforto superiores, comparado com os demais automóveis (volante e assento no asfalto), não manteve o mesmo comportamento em outros locais de medição e pavimentos.

Figura 12 – Análise do conforto em automóveis parados



Fonte: Os autores (2010).

No gráfico apresentado na figura 12, visualiza-se a aceleração verificada em cada local de medição e veículo, considerando que o mesmo esteja parado, sem qualquer deslocamento, apenas com o funcionamento do seu motor em marcha lenta e demais componentes. Esta análise tem como principal objetivo avaliar o conforto dos automóveis, simulando as frequentes paradas em congestionamentos comuns em meios urbanos.

O gráfico da figura 12 é dividido por linhas verticais finas que separam o local de medição (volante, assento, encosto e valores mé-

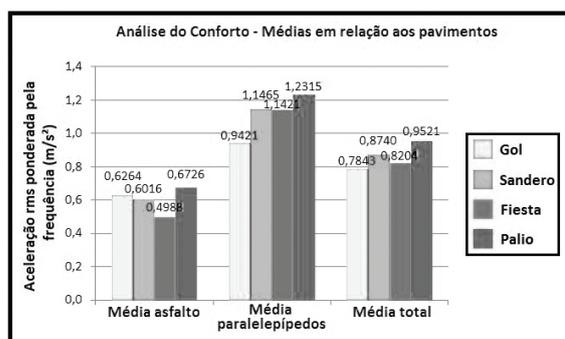
dios), onde cada cor de barra representa um veículo específico (Gol, Sandero, Fiesta e Palio, respectivamente da esquerda para a direita). Além disso, as barras da extremidade direita fornecem a média das acelerações de todos os locais de medição para cada automóvel. Observando os valores apresentados na figura 12 e comparando-os com a escala de desconforto do quadro 2, todos os automóveis podem ser considerados confortáveis nessa situação, de acordo com a norma ISO 2631-1 (1997).

Percebe-se que em vibrações no volante e no assento, o Volkswagen Gol apresenta va-

lores de aceleração menores, podendo-se atribuir um nível de conforto mais elevado para a dada condição. Ainda, de um modo geral, apresentou níveis de vibração inferiores que os demais automóveis e tem uma aceleração média decorrente dos três locais de medição no valor de 0,0667 m/s<sup>2</sup>, uma diferença de 92,6 % em comparação com o Fiat Palio, o pior colocado.

A figura 13, a seguir, apresenta as médias de aceleração de todos os locais de medição e velocidade com relação aos pavimentos, em função de cada veículo, numa tentativa de comparar, de forma global, o desempenho de cada um deles. Como nas figuras anteriormente citados, os automóveis são representados pela legenda, respectivamente da esquerda para a direita, os carros: Gol, Sandero, Fiesta e Palio. As barras, localizadas na extremidade esquerda, representam a média aritmética de todas as medições realizadas no pavimento de asfalto, onde cada barra representa a média de cada veículo. Na região central, encontra-se a média realizada no paralelepípedo e na extremidade direita, a média total de aceleração, englobando todas as medições realizadas em cada automóvel.

Figura 13 – Médias totais das acelerações *rms* em relação aos pavimentos



Fonte: Os autores (2010).

Visualizando a média geral, nota-se que, apesar do Ford Fiesta apresentar resultados favoráveis na superfície de rolamento lisa, o Volkswagen Gol apresentou um melhor nível de conforto, quando referido a todas as medições. Ainda, destaca-se o Fiat Palio, o qual obteve valores de aceleração mais elevados em ambos os pavimentos, comportamento seme-

lhante à análise anterior. É de se esperar que o nível de vibração no pavimento de paralelepípedos deve ser maior que o de asfalto. Fato que se comprova, ao visualizar a figura 13, pois a média total de todos os locais de medição e de todos os automóveis foi superior no pavimento em questão. A diferença média em relação ao tipo de pavimento ficou em torno de 85,9 %, levando em consideração as medições realizadas em todos os automóveis.

#### 4.2 Da avaliação da vibração quanto à saúde

Analisando os dados referentes ao conforto e comparando-os com os valores de aceleração da escala de desconforto da norma ISO-2631-1 (1997), observados no quadro 2, várias situações apresentaram dados que, de acordo com a norma, podem ser interpretados como valores de aceleração extremamente desconfortáveis. Verifica-se a necessidade de uma análise de exposição humana à vibração com foco na saúde, especialmente de motoristas profissionais, a fim de avaliar se os presentes valores de aceleração podem ser prejudiciais à saúde do homem com o uso dos referidos automóveis.

De posse do quadro 1, utilizam-se agora as curvas de ponderação e fatores multiplicadores referentes à saúde, de acordo com a norma ISO. Por meio da equação (3), calcula-se novamente a aceleração *rms* ponderada pela frequência ou vibração total e, em seguida, calcula-se a vibração total equivalente, dado pela equação (4). Levando em consideração que um motorista profissional está exposto a diferentes magnitudes de vibração e tempos de exposição durante sua jornada de trabalho, simulou-se uma jornada de trabalho de 8 horas, por meio de diferentes rotinas, englobando as diferentes combinações de velocidades e pavimentos contidas no presente trabalho. No quadro 5, pode-se verificar as três rotinas de trabalho propostas a um motorista profissional.

Nota-se no quadro 5 que cada rotina apresenta uma característica diferente. A rotina A apresenta uma maior utilização dos auto-

Quadro 5 – Rotinas (tempo em horas) propostas a um motorista profissional

	Veículo desligado	0 km/h	30 km/h paralelepípedos	60 km/h paralelepípedos	30 km/h asfalto	60 km/h asfalto	Tempo de exposição	Horas diárias de trabalho
Rotina A	1	1	0,25	0,25	2,0	3,5	7,0	8,0
Rotina B	0	1	0,5	0,5	2,5	3,5	8,0	8,0
Rotina C	1	1	2	3,5	0,25	0,25	7,0	8,0

Fonte: Os autores (2010).

móveis no pavimento de asfalto, permanecendo ainda 1 hora com o veículo desligado, o que representa momentos ociosos. A rotina B apresenta características semelhantes à rotina A, porém sem qualquer pausa durante a jornada de trabalho, a fim de poder comparar a influência de um descanso em relação à exposição diária à vibração. Na rotina C, apresenta-se uma utilização muito maior no pavimento de paralelepípedos, com o objetivo de verificar se os resultados obtidos nessa condição apresentam valores superiores, comparados ao pavimento de asfalto. Em todas as rotinas, estipulou-se uma hora por dia, com o veículo a 0 km/h, representando o motor ligado em marcha lenta, simulando possíveis congestionamentos e paradas em sinais de trânsito.

Obtendo esse valor da vibração total equivalente por meio da equação (4), calcula-se, conforme a equação (5), a exposição diária à vibração A(8), onde T é o tempo de exposição diária à vibração. No apêndice B, são apresentadas 3 figuras, um para cada local de medição (volante, assento e encosto), comparando a exposição diária à vibração A(8), referente a cada veículo e a cada rotina proposta. As linhas horizontais representam o valor de ação da exposição (VAE) e o valor limite de exposição (VLE), em acordo com os valores apresentados no quadro 3. No eixo horizontal das figuras, enquadram-se todos os automóveis, onde cada barra representa uma rotina e, no eixo vertical, os valores de exposição diária à vibração A(8) correspondentes.

A partir das figuras, é possível visualizar que em todas as medições realizadas no volante, para as rotinas A e B, as avaliações se encontraram abaixo dos valores de ação. Já para a rotina C, três automóveis apresentaram valores acima do valor de ação, onde nessa

situação, há a necessidade de medidas que visem a diminuição ou eliminação dessa exposição. Para as medições de vibração no assento, todas as rotinas propostas apresentaram valores acima do valor de ação (VAE), em todos os automóveis. Situação semelhante ocorreu para medições no encosto, porém, em 3 automóveis detectaram-se valores acima do limite de exposição diária (VLE), para a rotina C, sendo que, com esses valores, necessita-se de uma medida imediata para sua diminuição, pois certamente, acarretará consequências ao condutor para a dada condição, em alguns anos, tais como dores lombares ou problemas na coluna vertebral. Vale lembrar que, cada local de medição foi analisado separadamente, um por vez, devido à limitação do instrumento.

Destaca-se a superioridade do valor de A(8) em todos os automóveis na rotina C, fato já comprovado anteriormente, sendo que, essa rotina possui maiores tendências a transitar pelo pavimento de paralelepípedo. Os resultados revelam o que pode ser observado nas figuras é a importância de uma pausa durante a jornada de trabalho, podendo ser visualizado pela diferença dos valores de exposição diária A(8), entre as rotinas A e B, em todos os locais de medição e em todos os automóveis analisados. Os demais resultados da avaliação da saúde e conforto do presente trabalho podem ser visualizados no quadro do apêndice A por terem resultados semelhantes aos aqui discutidos.

#### 4.3 Análise de variância

Com o objetivo de verificar se existe alguma diferença significativa no nível de vibração, medido dentro dos automóveis, em relação à variação da velocidade, é realizada

uma análise de variância (ANOVA) nos dados coletados. Juntamente com a primeira verificação, uma análise do nível de vibração em relação ao tipo de pavimento foi feita, tendo como objetivo verificar o que as figuras indicavam a respeito das diferenças do nível de vibração, em relação à variação da velocidade e tipo de pavimento. No presente artigo, utiliza-se a análise de variância de fator único. Aqui, assumem-se duas hipóteses:  $H_0$ , os tratamentos não afetam a variável de interesse;  $H_1$ , os tratamentos de alguma forma afetam a variável de interesse, sendo possível investigar de que forma é essa relação. Se o parâmetro da análise F for maior que F crítico, a hipótese  $H_1$  é aceita, indicando uma correlação entre os tratamentos e a variável. Caso contrário, a hipótese  $H_1$  é rejeitada e adota-se  $H_0$ . Essas análises, de uma forma padrão, são realizadas para um nível de significância de 0,05, ou seja, uma confiança de 95 % ( CALLEGARI - JACQUES, 2003).

Para verificação de diferenças do nível de vibração com relação à velocidade, separou-se a velocidade em 3 grupos (0, 30 e 60 km/h), onde cada grupo engloba os valores de aceleração medidos em todos os automóveis e todos os locais de medição. Para análise da influência do pavimento, procedeu-se de maneira semelhante, porém dividindo a análise em apenas dois grupos: asfalto e paralelepípedos. Destaca-se que, em ambas as análises, o fator a ser verificado é a aceleração ponderada *rms*. A análise foi realizada com o auxílio do software *Microsoft Excel 2007*. Os resultados para ambas as análises encontram-se no apêndice C. Em ambas as análises, o valor de  $F$  (variância entre os grupos) foi bem superior ao valor crítico  $F_{crit}$ . Observa-se também nos quadros, que o valor-p (probabilidade) em ambas as situações resultaram menores que o nível de significância de 0,05.

Com base nesses dados, pode-se assegurar que os resultados em ambas as análises são significativos, ou seja, existem diferenças e relações significativas da vibração dentro do veículo em relação às faixas de velocidade para o nível de significância de 0,05. E, também existem diferenças estatisticamente signi-

ficativas na vibração interna do carro em função do tipo da superfície de rolamento, dado um tanto quanto intuitivo, porém comprovado estatisticamente.

## 5 Conclusões

De acordo com a avaliação do conforto quanto à vibração, analisando cada veículo em função de cada faixa de velocidade e de pavimento isoladamente, não houve uma predominância dos valores de vibração atribuídos a um veículo específico, em relação à mudança do tipo de pavimento e velocidade. Ou seja, para dadas condições, automóveis em determinadas situações, manifestaram comportamentos diferentes, sendo que, para alguns casos, apresentaram valores de aceleração superiores, porém em outras situações, o mesmo comportamento não foi seguido. Todavia, verifica-se que a diferença entre as médias das acelerações *rms* totais de cada veículo, apresenta valores muito próximos. Observaram-se diferentes comportamentos para cada veículo, medido de acordo com a velocidade e tipo de pavimento. Porém, de maneira geral, o Volkswagen Gol apresentou uma média de vibração inferior aos demais automóveis, seguidos do Ford Fiesta, Renault Sandero e Fiat Palio. Podendo ser atribuído um nível de conforto superior ao Volkswagen Gol em relação aos demais.

Ainda, em acordo com a escala de desconforto da norma ISO-2631-1 (1997), várias situações em determinados automóveis apresentaram níveis de vibração que podem ser considerados desconfortáveis. Conclui-se também que as magnitudes das vibrações decorrentes do funcionamento do veículo são significativamente menores em comparação com aquelas originadas de seu deslocamento. Elas têm pouca influência nas vibrações transmitidas ao ocupante, em relação àquelas geradas pelo rolamento do veículo em superfícies irregulares.

Quanto à avaliação do efeito da vibração na saúde, destaca-se que uma rotina de trabalho de um motorista profissional

predominante, em superfícies irregulares, bem como as exposições diárias à vibração A(8) atingem valores consideravelmente maiores, podendo ultrapassar o valor limite de exposição diária (VLE). Porém, vê-se que, dificilmente um motorista profissional em meio urbano passará um longo período sobre uma superfície de rolamento irregular. Nota-se que as vibrações decorrentes do encosto e do assento são mais preocupantes, sendo que, em todos os automóveis testados, essas ultrapassaram os valores de ação de exposição diária (VAE), necessitando de medidas que visem à diminuição ou à eliminação desta exposição. Ainda conclui-se que uma pequena pausa no expediente, em caso de motoristas profissionais, pode refletir em uma redução significativa do valor de exposição diária à vibração, sendo um fator que pode ser compensado em casos de ultrapassar os valores estipulados pela norma.

Em relação à variação da vibração dentro do veículo, em função da velocidade e tipo de pavimento, pode-se provar estatisticamente que há uma diferença significativa do valor *rms* da aceleração em função das diferentes condições de piso e velocidade. Observando-se as figuras, verifica-se que, quanto maior a velocidade do veículo em questão, maior será o nível de vibração interna, tanto para uma superfície lisa, como o asfalto; quanto para uma superfície irregular, como o pavimento de paralelepípedos. E que, no geral, pavimentos mais irregulares induzem mais vibração independente da faixa de velocidade.

### Referências

- BALBINOT, A. **Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: um enfoque no conforto e na saúde**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia. UFRGS. Porto Alegre, 2001.
- BECKER, T. **Desenvolvimento de uma mesa vibratória para estudos sobre vibração no corpo humano, medições em um grupo de motoristas e ajuste de um modelo biodinâmico**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia. UFRGS, Porto Alegre, 2006.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15**. Norma Regulamentadora Nº. 15. Atividades e operações insalubres. Disponível em: <[http://www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_15.pdf](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf)>. Acesso em: out. 2010.
- BSI. British Standard Institution. BS 6847. **Measurement and Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Mechanical Vibration and Repeated Shock**. 1987.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Ed. Artmed, 2003.
- DIN, 2002. Deutsches Institut für Normung, DIN EN 13059. **Safety of industrial trucks - Test methods for measuring vibration 2009-06**.
- 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.
- FERNANDES, J. C. **Segurança nas vibrações sobre o corpo humano**. Notas Técnicas. 2000. Disponível em: <[www.saudeetraballo.com.br/](http://www.saudeetraballo.com.br/)>. Acesso em: abr. 2010.
- GRIFFIN, M. J. **Handbook of human vibration**. U.S.A: Academic Press, 1990.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 5349-1:2001**. Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 1: General

requirements. 2001.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 5349-2:2001**. Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace. 2001.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2631-1:1997**. Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 1: General requirements. 1997.

MAIA, R. H. **Análise de sensibilidade aplicada a estudos de conforto vibracional em automóveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia. PUC Minas, Belo Horizonte, 2002.

OICA. **Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles**, World Motor Vehicle Production by Country. Disponível em: <<http://oica.net/category/production-statistics/>>. Acesso em: abr. 2010.

OPSI, 2005. Office of Public Sector Information. OPSI 1093 - Health and Safety- The Control of Vibration at Work Regulations.

PALMER, K. T., et al. Prevalence and pattern of occupational exposure to whole body vibration in Great Britain: findings from a national survey. **Occupational Environmental Medicine**. 2000.

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

SAVIONEK, D. **Medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço durante a atividade ciclística**. 2010. Monografia (Colação de grau como Engenheiro Mecânico) – Faculdade de Engenharia. UFRGS, Porto Alegre, 2010.

WALBER, M. **Avaliação dos níveis de vibração existentes em passageiros de ônibus rodoviários intermunicipais, análise e modificação projetual**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia. UFRGS, Porto Alegre, 2009.

WHITE, A. A.; PANJABI, M. M. **Biomechanics of the spine**. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1990.

WONG, J. Y. **Theory of Ground Vehicles**. 3. ed. USA: John Wiley and Sons, 2001.

## APÊNDICES

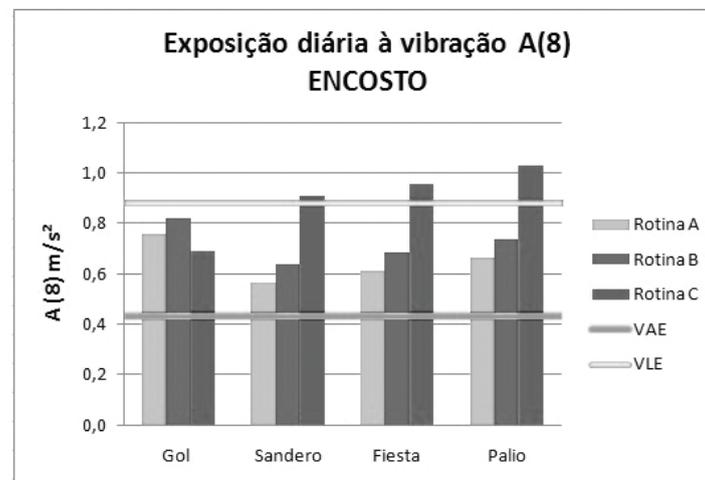
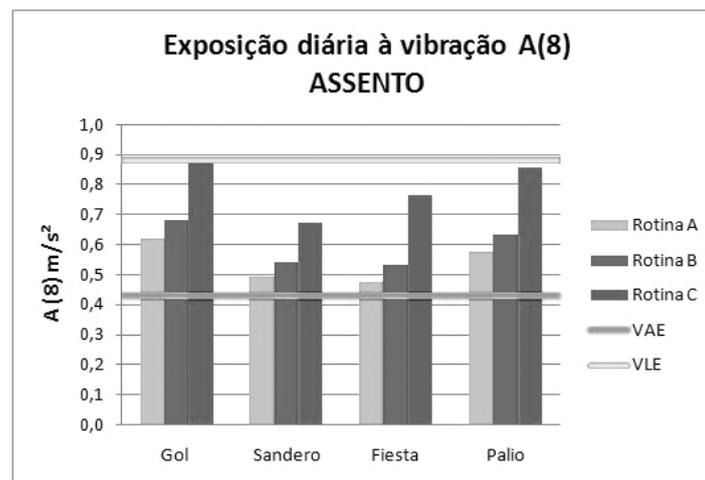
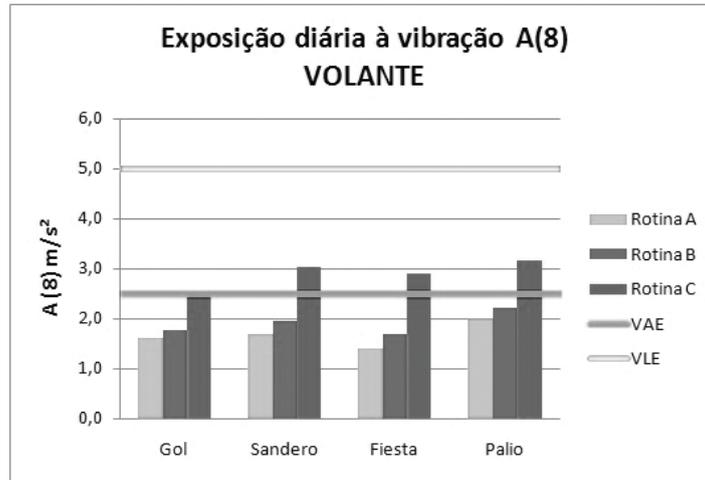
### APÊNDICE A – Tabela geral dos resultados

Medição	ID	Pavimento	Veículo	Local da medição	Velocidade (km/h)	T medição (s)	awx (m/s <sup>2</sup> )	awy (m/s <sup>2</sup> )	awz (m/s <sup>2</sup> )	a rms para conforto (m/s <sup>2</sup> )	a rms para saúde (m/s <sup>2</sup> )
1	VOLAN	ASF	Gol	Volante	0	61	0,0519	0,1327	0,066	0,1570	0,1570
2	VOLAN2	ASF	Gol	Volante	30	61	0,5895	0,6346	0,7163	1,1233	1,1233
3	VOLAN3	ASF	Gol	Volante	60	61	0,8147	1,3568	1,2359	2,0080	2,0080
4	BANCO0	ASF	Gol	Assento	0	61	0,0063	0,0059	0,019	0,0209	0,0225
5	BANCO3	ASF	Gol	Assento	30	61	0,1611	0,178	0,4256	0,4866	0,5423
6	BANCO4	ASF	Gol	Assento	60	61	0,2469	0,2211	0,595	0,6818	0,7558
7	ENCO6	ASF	Gol	Encosto	0	61	0,0191	0,019	0,0331	0,0223	0,0567
8	ENCO7	ASF	Gol	Encosto	30	61	0,8463	0,1966	0,321	0,6378	0,9394
9	ENCO8	ASF	Gol	Encosto	60	61	0,4877	0,2402	0,3974	0,4381	0,8127
10	VOLAN4	ASF	Sandero	Volante	0	61	0,0725	0,1903	0,068	0,2218	0,2218
11	VOLAN7	ASF	Sandero	Volante	30	61	0,6622	1,3552	1,0605	1,8438	1,8438
12	VOLAN8	ASF	Sandero	Volante	60	61	0,7145	1,0839	0,992	1,6338	1,6338
13	BANCO5	ASF	Sandero	Assento	0	61	0,0124	0,0123	0,0317	0,0362	0,0400
14	BANCO8	ASF	Sandero	Assento	30	61	0,1032	0,1811	0,3635	0,4190	0,4661
15	BANCO9	ASF	Sandero	Assento	60	61	0,1945	0,1851	0,4508	0,5247	0,5870
16	ENCO1	ASF	Sandero	Encosto	0	61	0,021	0,0133	0,0183	0,0195	0,0380
17	ENCO4	ASF	Sandero	Encosto	30	61	0,3776	0,1416	0,1528	0,3162	0,4771
18	ENCO5	ASF	Sandero	Encosto	60	61	0,4624	0,1936	0,2861	0,3991	0,6691
19	VOLA	ASF	Fiesta	Volante	0	61	0,0509	0,1591	0,0971	0,1932	0,1932
20	VOLA2	ASF	Fiesta	Volante	30	61	0,5266	0,6607	0,8933	1,2296	1,2296
21	VOLA3	ASF	Fiesta	Volante	60	61	0,6442	0,7852	0,955	1,3941	1,3941
22	BANC	ASF	Fiesta	Assento	0	62	0,0091	0,0128	0,0207	0,0260	0,0302
23	BANC2	ASF	Fiesta	Assento	30	61	0,1216	0,1351	0,3266	0,3738	0,4140
24	BANC3	ASF	Fiesta	Assento	60	61	0,1826	0,1543	0,4436	0,5039	0,5557
25	ENCO4	ASF	Fiesta	Encosto	0	63	0,027	0,0263	0,0406	0,0301	0,0729
26	ENCO57	ASF	Fiesta	Encosto	30	61	0,3922	0,1704	0,2259	0,3374	0,5575
27	ENCO58	ASF	Fiesta	Encosto	60	67	0,4566	0,197	0,3323	0,4010	0,7078
28	VOLA4	ASF	Palo	Volante	0	61	0,0611	0,2544	0,1663	0,3100	0,3100
29	VOLA7	ASF	Palo	Volante	30	61	0,0609	1,1561	0,8521	1,4375	1,4375
30	VOLA8	ASF	Palo	Volante	60	61	1,719	1,2897	1,0375	2,3664	2,3664
31	BANC4	ASF	Palo	Assento	0	62	0,0156	0,011	0,0441	0,0481	0,0516
32	BANC7	ASF	Palo	Assento	30	61	0,1488	0,1948	0,3577	0,4336	0,4957
33	BANC8	ASF	Palo	Assento	60	66	0,248	0,2046	0,5303	0,6201	0,6956
34	ENCO5	ASF	Palo	Encosto	0	61	0,0333	0,0083	0,0133	0,0275	0,0359
35	ENCO52	ASF	Palo	Encosto	30	61	0,3767	0,1635	0,2188	0,3243	0,5368
36	ENCO53	ASF	Palo	Encosto	60	62	0,5346	0,2249	0,3677	0,4660	0,8062
37	VOLAN	CAL	Gol	Volante	0	61	0,0519	0,1327	0,066	0,1570	0,1570
38	VOLAN0	CAL	Gol	Volante	30	61	1,6999	1,332	1,4639	2,3093	2,3093
39	VOLAN1	CAL	Gol	Volante	60	61	1,7885	1,6615	2,0347	3,1779	3,1779
40	BANCO0	CAL	Gol	Assento	0	61	0,0063	0,0059	0,019	0,0209	0,0225
41	BANCO1	CAL	Gol	Assento	30	61	0,166	0,1367	0,6539	0,6884	0,7199
42	BANCO2	CAL	Gol	Assento	60	61	0,3388	0,1652	1,0777	1,1417	1,2000
43	ENCO6	CAL	Gol	Encosto	0	61	0,0191	0,019	0,0331	0,0223	0,0567
44	ENCO9	CAL	Gol	Encosto	30	61	0,492	0,1873	0,2283	0,4148	0,6426
45	ENCO10	CAL	Gol	Encosto	60	61	0,6457	0,2548	0,3094	0,5462	0,8555
46	VOLAN4	CAL	Sandero	Volante	0	61	0,0725	0,1903	0,068	0,2218	0,2218
47	VOLAN5	CAL	Sandero	Volante	30	64	1,2546	2,3851	2,0965	3,4144	3,4144
48	VOLAN6	CAL	Sandero	Volante	60	61	1,6255	2,4155	2,3335	3,7312	3,7312
49	BANCO5	CAL	Sandero	Assento	0	61	0,0124	0,0123	0,0317	0,0362	0,0400
50	BANCO6	CAL	Sandero	Assento	30	61	0,1427	0,1432	0,5868	0,6206	0,6515
51	BANCO7	CAL	Sandero	Assento	60	61	0,2532	0,1503	0,7665	0,8211	0,8703
52	ENCO1	CAL	Sandero	Encosto	0	61	0,021	0,0133	0,0183	0,0195	0,0380
53	ENCO2	CAL	Sandero	Encosto	30	60	0,7907	0,1756	0,2682	0,6476	0,9092
54	ENCO3	CAL	Sandero	Encosto	60	61	0,9772	0,1945	0,4217	0,8056	1,1737
55	VOLA	CAL	Fiesta	Volante	0	61	0,0509	0,1591	0,0971	0,1932	0,1932
56	VOLA0	CAL	Fiesta	Volante	30	61	0,0609	2,3415	2,4462	3,3868	3,3868
57	VOLA1	CAL	Fiesta	Volante	60	61	1,6218	2,1478	2,2803	3,5275	3,5275
58	BANC	CAL	Fiesta	Assento	0	62	0,0091	0,0128	0,0207	0,0260	0,0302
59	BANC0	CAL	Fiesta	Assento	30	61	0,151	0,1422	0,6295	0,6628	0,6932
60	BANC1	CAL	Fiesta	Assento	60	61	0,2231	0,1641	0,9365	0,9766	1,0136
61	ENCO4	CAL	Fiesta	Encosto	0	63	0,027	0,0263	0,0406	0,0301	0,0729
62	ENCO55	CAL	Fiesta	Encosto	30	61	0,7798	0,1714	0,2904	0,6403	0,9116
63	ENCO56	CAL	Fiesta	Encosto	60	61	1,0069	0,2165	0,4847	0,8356	1,2515
64	VOLA4	CAL	Palo	Volante	0	61	0,0611	0,2544	0,1663	0,3100	0,3100
65	VOLA5	CAL	Palo	Volante	30	61	1,3648	2,5615	2,0417	3,5486	3,5486
66	VOLA6	CAL	Palo	Volante	60	73	1,7348	2,7321	2,1827	3,9036	3,9036
67	BANC4	CAL	Palo	Assento	0	62	0,0156	0,011	0,0441	0,0481	0,0516
68	BANC5	CAL	Palo	Assento	30	61	0,1675	0,1437	0,5888	0,6288	0,6649
69	BANC6	CAL	Palo	Assento	60	61	0,3436	0,17	1,0411	1,1094	1,1713
70	ENCO5	CAL	Palo	Encosto	0	61	0,0333	0,0083	0,0133	0,0275	0,0359
71	ENCO50	CAL	Palo	Encosto	30	61	0,7071	0,1875	0,3236	0,5878	0,8799
72	ENCO51	CAL	Palo	Encosto	60	61	1,1079	0,2432	0,5327	0,9196	1,3782

Rotina A		Rotina B		Rotina C	
Aceleração equivalente (m/s <sup>2</sup> )		Aceleração equivalente (m/s <sup>2</sup> )		Aceleração equivalente (m/s <sup>2</sup> )	
VOLANTE		VOLANTE		VOLANTE	
Gol	1,7121	1,6015	1,7680	1,7680	2,6012
Sandero	1,7963	1,6803	1,9584	1,9584	3,2428
Fiesta	1,5044	1,4072	1,6799	1,6799	3,1028
Palo	2,1084	1,9722	2,2110	2,2110	3,3923
ASSENTO		ASSENTO		ASSENTO	
Gol	0,6631	0,6202	0,6814	0,6814	0,9482
Sandero	0,5261	0,4921	0,5410	0,5410	0,7213
Fiesta	0,5073	0,4745	0,5320	0,5320	0,8175
Palo	0,6142	0,5746	0,6342	0,6342	0,9158
ENCOSTO		ENCOSTO		ENCOSTO	
Gol	0,8105	0,7582	0,8204	0,8204	0,7373
Sandero	0,6065	0,5673	0,6364	0,6364	0,9743
Fiesta	0,6524	0,6103	0,6832	0,6832	1,0248
Palo	0,7092	0,6634	0,7360	0,7360	1,0976

APÊNDICE B – Exposição diária à vibração A(8) em função dos automóveis avaliados e rotinas propostas



APÊNDICE C – Resultados das análises de variância – Teste Estatístico ANOVA entre (a)tipos de pavimentos e (b)velocidades.

(a)

Resumo						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Asfalto	24	20,48216	0,853423	0,380675		
Paralelepípedos	24	39,04638	1,626932	1,692388		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	7,179794936	1	7,179795	6,926752	0,011519	4,051749
Dentro dos grupos	47,68043915	46	1,036531			
Total	54,86023408	47				

(b)

Resumo						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Velocidade 0 km/h	24	2,225141	0,092714	0,00969		
Velocidade 30 km/h	24	26,5752	1,1073	1,063286		
Velocidade 60 km/h	24	32,95334	1,373056	1,285093		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor - P	F crítico
Entre grupos	21,91428	2	10,95714	13,93998	8,23E-06	3,129644
Dentro dos grupos	54,23558	69	0,786023			
Total	76,14986	71				