

Ministério da Educação  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

CARACTERIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO EM MOTORISTAS DE ÔNIBUS: UM  
ENFOQUE NO CONFORTO E NA SAÚDE

Tese de Doutorado

Alexandre Balbinot

Porto Alegre, 2001

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

CARACTERIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO EM MOTORISTAS DE ÔNIBUS: UM  
ENFOQUE NO CONFORTO E NA SAÚDE

por

Alexandre Balbinot

Tese para obtenção do título de  
Doutor em Engenharia

Porto Alegre, novembro de 2001.

CARACTERIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO EM MOTORISTAS DE ÔNIBUS: UM  
ENFOQUE NO CONFORTO E NA SAÚDE

por

ALEXANDRE BALBINOT

Mestre em Engenharia

Tese submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

DOUTOR EM ENGENHARIA

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos - Biomecânica

Orientador: Prof. Dr. Alberto Tamagna, PROMEC - UFRGS

Aprovada por:

Prof. Dr. Arcanjo Lenzi – Faculdade de Engenharia - UFSC

Prof. Dr. Ignácio Iturrioz, PROMEC - UFRGS

Prof. Dr. Marco Vaz, ESEF - UFRGS

Prof. Dr. Alberto Tamagna  
Coordenador do PROMEC

Porto Alegre, novembro de 2001.

**“Toda a nossa ciência,  
comparada com a realidade,  
é primitiva e infantil  
e, no entanto,  
é a coisa mais preciosa que temos”.**  
**Albert Einstein**

**Dedico este trabalho  
a  
minha  
família.**

**Gostaria de registrar meus agradecimentos**

**Ao Professor Dr. Alberto Tamagna por sua orientação, conselhos e amizade. Cabe ressaltar a sua dedicação e competência em transformar o Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica (PROMEC) para um excelente futuro.**

**A Empresa de Transporte Coletivo Carris pela abertura e interesse neste trabalho. Assim como todas as demais pessoas que ajudaram direta e indiretamente no desenvolvimento deste trabalho.**

**Aos verdadeiros mestres que passaram na minha vida.**

**Aos meus pais por possibilitarem toda a minha educação, ressaltando aspectos como, dignidade, honestidade, amor, ensino e sua importância, ... Em especial a Amanda por tudo que significa e por acreditar ... Aos meus irmãos Ricardo e Lílian por fazerem parte disto tudo...**

**Aos colegas do Laboratório Leia, Rafael, Vilson, Paulo e principalmente aos motoristas que ajudaram na realização deste trabalho.**

## **RESUMO**

Este trabalho, consiste em um estudo para avaliar os níveis de vibrações do corpo humano, do segmento mão-braço, e a transmissibilidade a que estão sujeitos os motoristas de ônibus urbanos. As medições foram realizadas, no eixo vertical, de acordo com as recomendações das normas ISO 2631 (1974 e 1997) e ISO 5349 (1986), 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 do corpo humano (direção z – ISO 2631) foi simultaneamente medida no assento do motorista e no suporte do banco junto ao piso do veículo. A vibração no segmento mão-braço (direção x – ISO 5349) foi medida no terceiro metacarpo, no triquetrum carpal e no ombro dos motoristas. Diferentes modelos de ônibus foram utilizados em uma rota de 18km que interliga as zonas norte e sul da cidade. Quatro acelerômetros uni-axiais (Endevco Isotron 2250A/AM1-10) foram usados para medir os níveis de vibração na mão, pulso, ombro do motorista e no assento; enquanto que, no piso, foi utilizado um acelerômetro uni-axial da Brüel & Kjaer 4338. Os resultados indicaram que, para o segmento mão-braço, os níveis de vibrações equivalentes a 4 horas de exposição são menores do que  $2,0 \text{ m/s}^2$ , na maioria dos modelos, o que determina que os motoristas expostos até 25 anos possivelmente não apresentarão problemas relacionados à vibração. Porém, na análise em frequência, os níveis de vibrações, nas faixas de frequência de 6,3 a 50Hz, no terceiro metacarpo e

no triquetrum carpal são superiores a  $2,0 \text{ m/s}^2$  podendo ocasionar danos a partir de 15 anos de exposição. Os níveis de vibrações do corpo humano e a transmissibilidade mostraram que os motoristas estão expostos a níveis perigosos de vibrações principalmente na área da ressonância da coluna vertebral.

#### ABSTRACT

This work presents a study to evaluate the levels of vibrations of the whole-body, of the segment hand-arm and transmissibility to which drivers of urban buses are subjected. The measurements were accomplished, in the vertical axis, in agreement with the recommendations of the norms ISO 2631-1 (1974 and 1997) and ISO 5349 (1986). Uni-axial accelerometers, 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 (z direction – ISO2631) vibration was simultaneously measured at the driver's seat (similar to what was done by Whitham *et al.*, 1977) and at the bus support seat (attached to the floor of the bus). Also, the driver's hand-arm vibration (x direction – ISO5349) was measured on the third metacarpal, on the triquetrum carpal and on the driver's shoulder (acromion). Four different bus models were driven on an 18km-route, which links the north and the south zones of the city. Four uni-axial micro-accelerometers (Endevco Isotron 2250A/AM1-10) were used to measure the vibration levels on the hand, wrist and shoulder of the driver, and on the seat; whilst a uni-axial accelerometer (Brüel & Kjaer 4338) was bonded to the support seat. The results indicated that, for the segment hand-arm, the levels of equivalent vibrations for 4 hours of exposure are smaller than  $2,0 \text{ m/s}^2$ , in most of the bus models, what determines that the drivers exposed up to 25 years probably will not present

problems related to the vibration. However, the frequency analysis showed that, in the carpal triquetrum, vibration levels are greater than  $2.0 \text{ m/s}^2$  for the frequency range of 6,3 to 50Hz, and they may cause lesions after 15 years of exposure, due to vibration. The levels of vibrations of the human body and the transmissibilidade 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.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABELAS.....	XXI
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XXIII
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Justificativa do trabalho.....	3
1.2 Objetivos e questionamentos do autor.....	3
1.3 Contribuições do autor.....	4
1.4 Organização do trabalho.....	4
2 VIBRAÇÕES NO CORPO HUMANO.....	6
2.1 Introdução.....	6
2.2 Critérios para medição e avaliação das vibrações no corpo humano.....	7
2.3 Efeitos da exposição à vibração na saúde e aspectos epidemiológicos.....	20
2.4 Trabalhos sobre medição e avaliação da exposição à vibração no corpo humano.....	33
2.4.1 Medição e avaliação dos níveis de vibração em veículos.....	33
2.4.2 Biodinâmica do corpo humano: uma introdução.....	39

2.4.2.1	Transmissibilidade da vibração e a coluna vertebral.....	39
2.4.2.2	Conforto e sua relação com a vibração.....	48
2.4.2.3	Postura e dinâmica dos assentos.....	55
3	VIBRAÇÕES NO SEGMENTO MÃO-BRAÇO.....	61
3.1	Introdução.....	61
3.2	Fenômeno de Raynaud's.....	63
3.3	Epidemiologia da síndrome da vibração do segmento mão-braço: uma introdução.....	67
3.4	Introdução às medições da vibração do segmento mão-braço.....	72
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	79
4.1	Caracterização dos ensaios experimentais.....	79
4.1.1	Ônibus urbanos.....	79
4.1.2	Avaliação de um banco de motorista de ônibus e de colheitadeira.....	91
4.2	Programa de aquisição e tratamento dos dados experimentais.....	97
4.3	Elaboração de um questionário com relação aos motoristas de ônibus.....	108
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	109
5.1	Ensaio com os ônibus urbanos.....	109
5.1.1	Acelerações ponderadas obtidas nos ensaios com os ônibus.....	109
5.1.2	Acelerações ponderadas obtidas nos ensaios com os ônibus no segmento mão-braço.....	124
5.1.3	Transmissibilidade nos ensaios com os ônibus.....	142
5.1.3.1	Transmissibilidade entre o assento do motorista e o piso do ônibus.....	142
5.1.3.2	Transmissibilidade entre o ombro do motorista e o piso do ônibus.....	147
5.1.3.3	Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista.....	150
5.2	Ensaio com a mesa vibratória: uma análise relacionada à transmissibilidade.....	155
5.3	Avaliação dos questionários.....	167
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	178
6.1	Conclusões.....	178
6.2	Propostas de continuidade.....	182

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	184
APÊNDICE 1.....	193
APÊNDICE 2.....	209
APÊNDICE 3.....	216
APÊNDICE 4.....	222
APÊNDICE 5.....	272

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Sistema coordenado.....	9
Fig. 2.2 – Limites para saúde, conforto e fadiga <i>versus</i> frequências em um terço de oitava: (A) aceleração r.m.s. para o eixo z ( $m/s^2$ ) e (B) aceleração r.m.s. para o eixo x e y ( $m/s^2$ ).....	12
Fig. 2.3 – Curva de ponderação.....	13
Fig. 2.4 – Esboço da interface conforme projeto da SAE (SAE PAD) e de Griffin e Whitham (SIT-BAR).....	15
Fig. 2.5 – Diagrama de blocos e a função de transferência.....	16
Fig. 2.6 – Aceleração r.m.s. correspondendo ao VDV de $1,9 m/s^{1,75}$ a $60m/s^{1,75}$ para períodos de exposição à vibração de 1s a 24horas.....	18
Fig. 2.7 – Sistema mecânico representando o corpo humano sujeito à vibração vertical.....	21

Fig. 2.8 – Percentual de problemas encontrados relacionados à idade do grupo..	25
Fig. 2.9 – Regiões do corpo humano relacionadas no questionário.....	26
Fig. 2.10 – Percentual de problemas musculoesqueléticos obtidos do questionário.....	26
Fig. 2.11 – Dados relativos por 1.000 trabalhadores, dos acidentes ( $\Delta$ ), doenças ocupacionais ( $\bullet$ ) e mortalidade ( ) no Brasil de 1970 a 1995.....	28
Fig. 2.12 – Número estimado de pessoas com relação ao mínimo $eVDV$ .....	30
Fig. 2.13 – Ocupações e indústrias com exposição significativa à vibração na Grã-Bretanha.....	31
Fig. 2.14 – Máquina de uso freqüente no transporte de árvores nos países europeus.....	33
Fig. 2.15 – Alguns resultados comparados aos limites definidos pela norma ISO 2631.....	34
Fig. 2.16 – Localização dos acelerômetros nos trabalhos sobre exposição à vibração em operadores de locomotivas na Finlândia.....	35
Fig. 2.17 – Aceleração vertical comparada aos limites definidos pela ISO 2631.....	35
Fig. 2.18 – Variação dos níveis de aceleração com relação a velocidade do trator.....	38
Fig. 2.19 – Aparato denominado de <i>bit-bar</i> usado para a obtenção da transmissibilidade envolvendo a cabeça.....	40
Fig. 2.20 – Curvas de transmissibilidade para diversas partes do corpo humano.....	41
Fig. 2.21 – Esboço e fotografia do experimento desenvolvido para medir a resposta da espinha à vibração senoidal.....	42
Fig. 2.22 – Transmissibilidade entre a coluna e o assento.....	42
Fig. 2.23 – (a) Localização do eixo. (b) Transmissibilidade entre a vértebra L3 e o assento.....	43
Fig. 2.24 – Equipamento desenvolvido para estudo do efeito das vibrações	

na coluna.....	44
Fig. 2.25 – Mesa vibratória.....	46
Fig. 2.26 – Exemplo da preocupação com o conforto e a segurança do usuário.....	48
Fig. 2.27 – Escalas relacionando conforto com aceleração e frequência.....	50
Fig. 2.28 – Comparação dos resultados experimentais com as curvas de conforto da norma ISO 2631.....	51
Fig. 2.29 – Limites para verificação dos efeitos da vibração no conforto humano.....	52
Fig. 2.30 – Revisão de estudos anteriores realizados por Janeway.....	53
Fig. 2.31 – Espectro da excitação de entrada.....	54
Fig. 2.32 – Regiões do corpo humano envolvidas no ato de sentar.....	56
Fig. 2.33 – O efeito do ângulo de inclinação do encosto na pressão da vértebra L3.....	57
Fig. 2.34 – Exemplo de um bom assento.....	57
Fig. 2.35 – Transmissibilidade de diferentes veículos e os correspondentes <i>SEAT</i> (%).....	60
Fig. 3.1 – Descoloramento da ponta dos dedos – estágio 1 (Escala de Estocolmo).....	64
Fig. 3.2 – Descoloramento da ponta dos dedos para a base – estágio 2 (Escala de Estocolmo).....	65
Fig. 3.3 – Descoloramento da ponta dos dedos para a base – estágio 3 (Escala de Estocolmo).....	65
Fig. 3.4 – Estágio 4 da Escala de Estocolmo.....	66
Fig. 3.5 – Número de trabalhadores expostos à vibração do segmento mão-braço por tipo de indústria.....	67
Fig. 3.6 – Número de trabalhadores expostos à vibração do segmento mão-braço por tipo de ferramenta.....	68
Fig. 3.7 – Ocupações em que à exposição a vibração do segmento	

mão-braço é comum (apenas em homens).....	70
Fig. 3.8 – Indústrias em que à exposição a vibração do segmento mão-braço é comum (apenas em homens).....	71
Fig. 3.9 – Sistema coordenado.....	73
Fig. 3.10 – Anos de exposição à aceleração r.m.s. ponderada equivalente para 4 horas transmitida às mãos necessários para produzir a doença dos dedos brancos na faixa de 10% a 50% das pessoas expostas.....	75
Fig. 3.11 - Zonas de exposição definidas pela norma ANSI S3.34, 1986.....	77
Fig. 3.12 – Proposta para o padrão BS - DD ENV 25349, 1993.....	78
Fig. 4.1 – Ônibus Volkswagen, chassi normal – ano 1996.....	81
Fig. 4.2 – Ônibus Mercedes, chassi normal – ano 1991.....	81
Fig. 4.3 – Ônibus Mercedes, chassi estendido – ano 1998.....	82
Fig. 4.4 – Ônibus Volvo, chassi articulado – ano 1998.....	82
Fig. 4.5 – Trajeto da linha 104 (transversal T4).....	83
Fig. 4.6 – Esboço da localização dos acelerômetros utilizados para medir os níveis de vibração.....	86
Fig. 4.7 – Acelerômetro da Brüel & Kjaer, modelo 4338, utilizado para medir a vibração no eixo z, segundo a norma ISO 2631-1, 1997.....	86
Fig. 4.8 – Interface utilizada para permitir a colocação do acelerômetro entre o assento e o motorista.....	87
Fig. 4.9 – Micro-acelerômetros fixados no pulso e na mão do motorista.....	87
Fig. 4.10 – Detalhe da localização dos micro-acelerômetros fixados no pulso e na mão do motorista.....	88
Fig. 4.11 – Detalhe da localização do micro-acelerômetro fixado no ombro do motorista.....	88
Fig. 4.12 – Esboço do arranjo experimental.....	89

Fig. 4.13 – Detalhe das baterias e cabos utilizados para alimentação dos equipamentos.....	90
Fig. 4.14 – Detalhes da mesa vibratória: (a) base da mesa vibratória e sua fixação; (b) mancais e eixos que suportam as polias; (c) banco fixo na base da mesa vibratória.....	92
Fig. 4.15 – Mesa vibratória com detalhe para o sistema polia-motor.....	93
Fig. 4.16 – Detalhe da localização dos acelerômetros utilizados nos ensaios: (a) acelerômetro B&K na base do banco e (b) interface utilizada entre o banco e as pessoas participantes dos ensaios.....	94
Fig. 4.17 – Banco Grammer utilizado nos ônibus urbanos da Carris: (a) banco e (b) detalhe dos dispositivos de ajustes horizontal e vertical.....	95
Fig. 4.18 – Banco Grammer utilizado nas colheitadeiras da SLC: (a) banco e detalhe dos dispositivos de ajustes horizontal e vertical.....	95
Fig. 4.19 – Fluxograma principal do programa de aquisição e processamento.....	97
Fig. 4.20 – Parte da janela do programa de aquisição, salientando uma das janelas.....	98
Fig. 4.21 – Fluxograma do programa de aquisição da placa A/D PCM-DAS16/330 da <i>Computer Boards</i> .....	100
Fig. 4.22 – Fluxograma do programa de processamento: rotinas básicas incorporadas ao programa de processamento.....	101
Fig. 4.23 – Detalhe da janela do programa de processamento.....	102
Fig. 4.24 – Fluxograma das rotinas de avaliação da vibração no corpo humano.....	103
Fig. 4.25 – Detalhe da janela que interage com o usuário referente às rotinas de avaliação dos níveis de vibração do corpo humano.....	104
Fig. 4.26 – Seleção das janelas do usuário ou principal.....	105

Fig. 4.27 – Detalhe do gráfico dos limites para conforto na janela rincipal.....	105
Fig. 4.28 – Fluxograma das rotinas de avaliação da vibração no segmento mão-braço.....	106
Fig. 4.29 – Janela do usuário com relação as rotinas de avaliação da vibração no segmento mão-braço.....	107
Fig. 5.1 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F1. Localização: assento do motorista. Local do ensaio: asfalto.....	109
Fig. 5.2 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F1. Localização: assento do motorista. Tipo de ensaio: asfalto irregular.....	110
Fig. 5.3 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F1. Localização: assento do motorista. Tipo de ensaio: paralelepípedo.....	110
Fig. 5.4 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F1. Localização: piso de ônibus. Tipo de ensaio: asfalto.....	111
Fig. 5.5 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F1. Localização: piso do ônibus. Tipo de ensaio: asfalto irregular.....	111
Fig. 5.6 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F1. Localização: piso do ônibus. Tipo de ensaio: paralelepípedo.....	112
Fig. 5.7 – Relação do fator F para o assento do motorista.....	117
Fig. 5.8 – Relação do fator F para o piso do veículo.....	118
Fig. 5.9 – VDV6horas médio para o piso asfalto.....	120
Fig. 5.10 – VDV6horas para o piso asfalto irregular.....	121
Fig. 5.11 – VDV6horas para o piso paralelepípedo.....	121
Fig. 5.12 – VDV6horas médio no assento do motorista para os diversos tipos de pisos.....	122

Fig. 5.13 – VDV6horas médio no piso do ônibus para os diversos tipos de pisos.....	122
Fig. 5.14 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ISO S3.34, 1986, nos ônibus F1 e F2. Localização: mão do motorista. Local do ensaio: asfalto.....	124
Fig. 5.15 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ISO S3.34, 1986, nos ônibus F1 e F2. Localização: mão do motorista. Local do ensaio: asfalto irregular.....	125
Fig. 5.16 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ISO S3.34, 1986, nos ônibus F1 e F2. Localização: mão do motorista. Local do ensaio: paralelepípedo.....	125
Fig. 5.17 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ISO S3.34, 1986, nos ônibus F1 e F2. Localização: pulso do motorista. Local do ensaio: asfalto.....	126
Fig. 5.18 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ISO S3.34, 1986, nos ônibus F1 e F2. Localização: pulso do motorista. Local do ensaio: asfalto irregular.....	126
Fig. 5.19 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ISO S3.34, 1986, nos ônibus F1 e F2. Localização: pulso do motorista. Local do ensaio: paralelepípedo.....	127
Fig. 5.20 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ISO S3.34, 1986, nos ônibus F1 e F2. Localização: ombro do motorista. Local do ensaio: asfalto.....	127
Fig. 5.21 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ISO S3.34, 1986, nos ônibus F1 e F2. Localização: ombro do motorista. Local do ensaio: asfalto irregular.....	128
Fig. 5.22 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ISO S3.34, 1986, nos ônibus F1 e F2. Localização: ombro do motorista. Local do ensaio: paralelepípedo.....	128
Fig. 5.23 – Relação do fator F: mão do motorista – análise por faixa de frequência.....	130

Fig. 5.24 – Relação do fator F: pulso do motorista – análise por faixa de frequência.....	131
Fig. 5.25 – Relação do fator F: ombro do motorista – análise por faixa de frequência.....	131
Fig. 5.26 – Relação do fator F: segmento mão-braço (aceleração equivalente 4 horas).....	133
Fig. 5.27 – Aceleração equivalente 4 horas comparada aos diversos pontos de medição para o piso asfalto.....	134
Fig. 5.28 – Aceleração equivalente 4 horas comparada aos diversos pontos de medição para o piso asfalto irregular.....	134
Fig. 5.29 – Aceleração equivalente 4 horas comparada aos diversos pontos de medição para o piso paralelepípedo.....	135
Fig. 5.30 – Aceleração equivalente 4 horas comparada aos diversos pisos com relação a mão do motorista.....	135
Fig. 5.31 – Aceleração equivalente 4 horas comparada aos diversos pisos com relação ao pulso do motorista.....	136
Fig. 5.32 – Aceleração equivalente 4 horas comparada aos diversos pisos com relação ao ombro do motorista.....	136
Fig. 5.33 – Percentil do ensaio F395_0264. Medição na mão do motorista. Localização: paralelepípedo.....	138
Fig. 5.34 – Percentil do ensaio F395_0264. Medição no pulso do motorista. Localização: paralelepípedo.....	138
Fig. 5.35 – Percentil do ensaio F395_0264. Medição no ombro do motorista. Localização: paralelepípedo.....	139
Fig. 5.36 – Ensaio com uma rebidadeira sem luva de proteção.....	139
Fig. 5.37 – Aceleração ponderada por faixa de frequência.....	140
Fig. 5.38 – Curva percentil para a ferramenta rebidadeira.....	140
Fig. 5.39 – Transmissibilidade média entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F196 – tipo de piso: asfalto.....	143
Fig. 5.40 – Transmissibilidade média entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F196 – tipo de piso: asfalto irregular.....	143

Fig. 5.41 – Transmissibilidade média entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F196 – tipo de piso: paralelepípedo.....	144
Fig. 5.42 – Transmissibilidade média entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F196 – tipo de piso: asfalto.....	147
Fig. 5.43 – Transmissibilidade média entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F196 – tipo de piso: asfalto irregular.....	148
Fig. 5.44 – Transmissibilidade média entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F196 – tipo de piso: paralelepípedo.....	148
Fig. 5.45 – Transmissibilidade média entre o pulso do motorista e ombro do motorista. Veículo: F196 – tipo de piso: asfalto.....	150
Fig. 5.46 – Transmissibilidade média entre o pulso do motorista e ombro do motorista. Veículo: F196 – tipo de piso: asfalto irregular.....	151
Fig. 5.47 – Transmissibilidade média entre o pulso do motorista e ombro do motorista. Veículo: F196 – tipo de piso: paralelepípedo.....	151
Fig. 5.48 – ANOVA relacionando as transmissibilidades.....	154
Fig. 5.49 – Comparação das transmissibilidades médias entres os assentos. Ângulos do encosto: 90° – polia utilizada: A.....	155
Fig. 5.50 – Comparação das transmissibilidades médias entres os assentos. Ângulos do encosto: 90° – polia utilizada: B.....	156
Fig. 5.51 – Comparação das transmissibilidades médias entres os assentos. Ângulos do encosto: 90° – polia utilizada: C.....	156
Fig. 5.52 – Comparação das transmissibilidades médias entres os assentos. Ângulos do encosto: 90° – polia utilizada: D.....	157
Fig. 5.53 – Comparação das transmissibilidades médias entres os assentos. Ângulos do encosto: 120° – polia utilizada: A.....	157
Fig. 5.54 – Comparação das transmissibilidades médias entres os assentos. Ângulos do encosto: 120° – polia utilizada: B.....	158
Fig. 5.55 – Comparação das transmissibilidades médias entres os assentos. Ângulos do encosto: 120° – polia utilizada: C.....	158

Fig. 5.56 – Comparação das transmissibilidades médias entres os assentos. Ângulos do encosto: 120° – polia utilizada: D.....	159
Fig. 5.57 – Comparação das transmissibilidades do assento da colheitadeira para os diferentes ângulos do encosto – polia utilizada: A.....	160
Fig. 5.58 – Comparação das transmissibilidades do assento da colheitadeira para os diferentes ângulos do encosto – polia utilizada: B.....	161
Fig. 5.59 – Comparação das transmissibilidades do assento da colheitadeira para os diferentes ângulos do encosto – polia utilizada: C.....	161
Fig. 5.60 – Comparação das transmissibilidades do assento da colheitadeira para os diferentes ângulos do encosto – polia utilizada: D.....	162
Fig. 5.61 – Comparação das transmissibilidades do assento do ônibus para os diferentes ângulos do encosto – polia utilizada: A.....	162
Fig. 5.62 – Comparação das transmissibilidades do assento do ônibus para os diferentes ângulos do encosto – polia utilizada: B.....	163
Fig. 5.63 – Comparação das transmissibilidades do assento do ônibus para os diferentes ângulos do encosto – polia utilizada: C.....	163
Fig. 5.64 – Comparação das transmissibilidades do assento do ônibus para os diferentes ângulos do encosto – polia utilizada: D.....	164
Fig. 5.65 – Fator F – transmissibilidades assento/piso dos bancos: ônibus e colheitadeira...	165
Fig. 5.66 – Percentual de participantes do sexo feminino e masculino.....	168
Fig 5.67 – Percentual de fumantes e não fumantes entre os grupos.....	168
Fig. 5.68 – Percentual indicando a mão dominante.....	169
Fig. 5.69 – Percentual de pessoas expostas ao ar-condicionado.....	170
Fig. 5.70 – Percentual de problemas apresentados nos últimos doze meses.....	170
Fig. 5.71 – Percentual de problemas apresentados na semana passada.....	171
Fig. 5.72 – Percentual de problemas apresentados após um dia de trabalho.....	171
Fig. 5.73 – Percentual de veículos mais usados pelos motoristas participantes.....	172
Fig. 5.74 – Os piores modelos de ônibus segundo os motoristas.....	173
Fig. 5.75 – Percentual de veículos cuja vibração da direção e/ou carroceria.....	174
Fig. 5.76 – Percentual dos motivos para determinar o pior veículo.....	174

Fig. 5.77 – Motivos que levaram a escolha do melhor veículo.....	175
Fig. 5.78 – Anos de exposição dos motoristas participantes.....	176
Fig. 5.79 – Horas de trabalho sem descanso.....	176
Fig. 5.80 – Faixas de pesos dos motoristas.....	177

## LISTA DE TABELAS

Tab. 2.1 – Sensibilidade do corpo humano às vibrações.....	7
Tab. 2.2 – Normas ISO e BS relacionadas à vibração no corpo inteiro.....	8
Tab. 2.3 – Guia para avaliação das compensações.....	11
Tab. 2.4 – Compensações em um terço de oitava.....	13
Tab. 2.5 – Aceleração r.m.s. ponderada equivalente a um VDV de $15\text{m/s}^{1,75}$ para vibração mecânica contínua com magnitude constante.....	19
Tab. 2.6 – Revisão de alguns estudos epidemiológicos com relação aos motoristas de ônibus.....	24
Tab. 2.7 – Indústrias européias e norte-americanas com níveis elevados de exposição.....	27
Tab. 2.8 – Revisão epidemiológica de 1986 a 1997 das desordens Relacionadas as dores nas costas e ocupações com exposição às vibrações no corpo humano.....	29
Tab. 2.9 – Acelerações $a_{wz}$ estimadas para os veículos/máquinas envolvidos na pesquisa.....	32
Tab. 2.10 – Acelerações em caminhões.....	36
Tab. 2.11 – Acelerações relacionadas as velocidades das locomotivas.....	37
Tab. 2.12 – Critérios para vibração ser considerada doença do trabalho.....	37
Tab. 2.13 – Relação de certos fatores epidemiológicos as dores nas costas.....	39
Tab. 2.14 – Diversas faixas de frequências e acelerações para algumas atividades.....	45
Tab. 2.15 – Frequências de ressonância.....	46
Tab. 2.16 – Transmissibilidade (aceleração no capacete/aceleração no assento).....	47
Tab. 2.17 – Comparação dos resultados de quatro experimentos.....	49

Tab. 3.1 – Estágios da vibração dos dedos brancos.....	64
Tab. 3.2 – Escala de Estocolmo para a classificação do fenômeno de Raynaud's induzido pelo frio para a síndrome da vibração do segmento mão-braço.....	66
Tab. 3.3 - Escala de Estocolmo para a classificação dos efeitos sensório neural para a síndrome da vibração do segmento mão-braço.....	66
Tab. 3.4 – Níveis de aceleração de algumas ferramentas manuais.....	68
Tab. 3.5 – Percentual de trabalhadores que apresentam problemas relacionados à vibração do segmento mão-braço.....	69
Tab. 3.6 – Pesos para a aceleração ponderada.....	73
Tab. 3.7 – Tempo de exposição por percentual de pessoas afetadas para um determinado tempo de exposição a uma aceleração r.m.s. ponderada.....	76
Tab. 3.8 – Acelerações r.m.s. ( $m/s^2$ ) correspondendo ao limite de ação dado por $(a_{h,w})_{eq.(8h)} = 2,8m/s^2$ r.m.s.....	76
Tab. 3.9 – TLVs para a exposição à vibração no segmento mão -braço nas direções xh, yh e zh (as mesmas definidas na norma ISO 5349 de 1986).....	77
Tab. 4.1 – Modelos de ônibus utilizados nos ensaios.....	80
Tab. 4.2 – Número de viagens e ensaios por modelos de ônibus.....	84
Tab. 4.3 – Características dos motoristas participantes.....	85
Tab. 4.4 – Frequências de excitação em função das polias usadas.....	92
Tab. 5.1 – As maiores acelerações r.m.s. ponderadas médias.....	114
Tab. 5.2 – ANOVA – acelerações ponderadas nos assentos dos veículos.....	117
Tab. 5.3 – VDV6horas médio e SEAT(%) médio.....	119
Tab. 5.4 – As maiores acelerações r.m.s. ponderadas médias por frequência.....	129
Tab. 5.5 – Acelerações equivalente (4 horas).....	132

## LISTA DE SÍMBOLOS

$a_w$  – aceleração compensada (ponderada) [m/s<sup>2</sup>]

$T$  – duração da medição [s]

$W_i$  – fator de compensação

$a_i$  ou  $R$  – aceleração r.m.s. [m/s<sup>2</sup>]

$\bar{x}$  - média

$\sum x(i)$  - soma de todos os valores da série no tempo  $x(i)$

$N$  – quantidade de amostras

$s$  – desvio padrão

r.m.s – *root mean square*

$VDV$  – *Vibration Dose Value*

$T_s$  – período de duração do movimento

$eVDV$  – *Estimated Vibration Dose Value*

$Z$  – impedância mecânica [N.s.m<sup>1</sup>]

$t_0$  – período total de exposição à vibração

$t_1$  – período de duração de interesse

$a_{z,i}$  – aceleração estimada no eixo  $z$  medida no veículo  $i$  para o tempo  $t_i$

$SEAT$  (%) – *Seat Effective Amplitude Transmissibility*

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), na atualidade, milhões de pessoas no mundo estão empregadas em trabalhos que podem causar problemas relacionados à saúde. Estima-se que danos relacionados ao trabalho sejam responsáveis por aproximadamente 300.000 mortes de 250 milhões de acidentes que acontecem anualmente no espaço de trabalho, sendo que muitos destes acidentes conduzem a incapacidade parcial ou completa do trabalhador. Anualmente, 160 milhões de casos novos de doenças relacionadas ao trabalho ocorrem, incluindo doenças respiratórias, cardiovasculares, câncer, perdas de audição, desordens musculoesqueléticas, desordens reprodutivas, enfermidades mentais e neurológicas.

A avaliação do custo global em função das doenças profissionais é de difícil realização. Na maioria dos países em desenvolvimento, a informação é escassa, principalmente devido às limitações sérias no diagnóstico de enfermidades profissionais e nos sistemas de informação. A saúde dos trabalhadores, em um país, tem um impacto imediato e direto nas economias nacionais e mundiais, pois as perdas econômicas devidas às enfermidades profissionais são consideráveis. Em 1994, o custo global de todos os acidentes de trabalho e doenças ocupacionais, para a economia britânica, foi calculado entre £6.000 milhões a £12.000 milhões. Em 1992, os custos totais e indiretos associados com danos ocupacionais, nos Estados Unidos da América, foram calculados em US\$171.000 milhões. No Brasil, não há um dado exato sobre as doenças relacionadas à atividade profissional, mas é possível fazer aproximações. No ano passado, a Previdência Social pagou R\$ 2,1 bilhões em benefícios a empregados afastados do trabalho em função das doenças e acidentes do trabalho (neste total estão incluídos 92.000 gaúchos)<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Portaria 1339/Ministério da Saúde, 18 de novembro de 1999.

Nos países, em geral, centenas de milhões de trabalhadores estão expostos, no espaço de trabalho, a fatores físicos (vibrações, radiações, calor e etc), substâncias químicas, biológicas (vírus, bactérias, fungos, etc), psico-sociais e problemas de ergonomia (ICD-10<sup>2</sup>). Wasserman (1987) apresenta, em seu livro, uma introdução sobre o impacto das vibrações na sociedade moderna, sendo que o mesmo segue na íntegra abaixo.

*“Provavelmente quando o homem antigo construiu seu abrigo, usando um martelo, notou que suas mãos desprotegidas recebiam impactos. Com a revolução industrial, trabalhadores foram expostos à vibração no ambiente profissional. No século dezanove, desordens nas mãos e dedos começaram a aparecer em trabalhadores que utilizavam ferramentas manuais que vibravam. Com o advento da aviação de alto desempenho, estudos começaram a avaliar como a vibração afetava o desempenho do homem para o trabalho. O potencial problema da exposição à vibração, é ressaltado assumindo que se uma pessoa trabalha na mesma atividade susceptível à vibração, durante 30 anos, 50 semanas por ano, 30 horas por semana de trabalho, pode estar exposto a 45.000 horas à vibração. Nos Estados Unidos, estima-se que 8 milhões de trabalhadores estão expostos à vibração profissional”.*

Wasserman, D. E., 1987.

---

<sup>2</sup> *International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems (ICD-10). World Health Organization Sustainable Development and Health Environment e International Labour Organization – ILO. Fonte: [www.who.int/inf-fs/en/fact084.html](http://www.who.int/inf-fs/en/fact084.html)*

Segundo o relatório de pesquisa publicado recentemente (Palmer *et al.*, 2000), a vibração é um dos mais comuns riscos ocupacionais na indústria britânica. O levantamento da exposição à vibração do 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 tais como motoristas de ônibus, de tratores e helicópteros. Segundo Griffin (1990), a exposição do corpo humano à vibração está relacionada aos problemas na atividade muscular/postural, problemas do sistema circulatório e ao aparecimento de desordens musculoesqueléticas. Em função destes problemas, a Organização Mundial da Saúde (ICD-10, 1999) e o Ministério da Saúde do Brasil (Portaria 1339, 1999) consideram as vibrações como agente de risco de natureza ocupacional.

### **1.1 Justificativa do trabalho**

Considerando os apontamentos, citados anteriormente, que evidenciam a importância da saúde ocupacional, este trabalho apresenta um enfoque científico e social, pois, o método experimental desenvolvido e seus resultados podem ser utilizados pelas empresas fabricantes de veículos de transporte e bancos, o que pode levar a melhorias no espaço de trabalho e, portanto, no desempenho das atividades profissionais dos motoristas de veículos. Portanto, a elaboração de trabalhos envolvendo as áreas da biomecânica e biomédica são extremamente importantes, pois somente com a união das ciências exatas com as humanas é possível atuar em ambientes de trabalho que prejudicam a saúde dos trabalhadores em geral.

### **1.2 Objetivos e questionamentos do autor**

Este trabalho pretende contribuir nos seguintes aspectos:

- medição e avaliação dos níveis de vibração a que estão sujeitos os motoristas de ônibus urbanos brasileiros;

- geração de documentação científica com relação às vibrações no corpo humano de brasileiros;
- desenvolvimento de um programa para avaliação dos níveis de vibração do corpo humano e do segmento mão-braço.

O início deste trabalho permitiu a elaboração das seguintes questões:

- os níveis de vibrações no corpo humano ultrapassam os níveis estabelecidos por norma e podem prejudicar a saúde dos trabalhadores?
- os bancos de motoristas utilizados são projetados para atenuar as vibrações como deveriam?
- os motoristas de ônibus estão sujeitos a vibrações danosas no segmento mão-braço?

No decorrer deste trabalho estas questões serão analisadas.

### **1.3 Contribuição do autor**

Originalmente este trabalho avalia os níveis de vibrações a que estão sujeitos os motoristas de ônibus brasileiros no ambiente de trabalho. Além disso, aplica originalmente os métodos para avaliação das vibrações do segmento mão-braço (normalmente utilizados na área das ferramentas manuais) em motorista de ônibus, para verificar se os mesmos estão sujeitos a níveis de vibrações que possam ocasionar danos ao segmento mão-braço. É importante salientar, que este trabalho permitiu a integração da universidade com uma empresa de transporte urbano (Companhia Carris Porto-Alegrense), da cidade de Porto Alegre, que permitiu o desenvolvimento deste trabalho.

### **1.4 Organização do trabalho**

Este trabalho está organizado, para facilitar a leitura, no formato de capítulos, resumidos a seguir:

- Capítulo 1: apresenta uma breve descrição da área de estudo e sua importância, ressaltando a justificativa e objetivos do trabalho;
- Capítulo 2: neste capítulo é abordada a área das vibrações no corpo humano, apresentando-se trabalhos anteriores, efeitos da vibração no corpo humano com relação à saúde e conforto, estudos epidemiológicos e normas existentes;
- Capítulo 3: de maneira similar ao capítulo 2, compreende o estudo das vibrações do segmento mão-braço;
- Capítulo 4: este capítulo apresenta os procedimentos experimentais, descrevendo as características dos motoristas e veículos participantes deste trabalho, o ensaio experimental no ambiente de trabalho e no laboratório e o programa de aquisição e processamento utilizado;
- Capítulo 5: apresenta os resultados obtidos e as discussões sobre estes;
- Capítulo 6: após a análise dos resultados no capítulo 5, são apresentadas as considerações finais: conclusões e propostas de continuidade;
- Referências bibliográficas e apêndices.

## CAPÍTULO 2

### VIBRAÇÕES NO CORPO HUMANO

Neste capítulo, diversas discussões são apresentadas, com relação às vibrações no corpo humano, salientando-se aspectos como:

- efeitos na saúde humana;
- efeitos no conforto humano;
- estudos epidemiológicos;
- normas existentes relacionadas às vibrações no corpo humano;
- trabalhos anteriormente realizados.

A vibração no corpo humano é definida como toda a vibração produzida por um evento externo, atuando no corpo humano, como por exemplo, quando o corpo está sobre uma superfície que está vibrando. Existem diversas ocupações que podem gerar vibrações no corpo humano, dentre elas, destacam-se o transporte de carga e o transporte de pessoas (Griffin, 1990; Rehn *et al.*, 2000; Palmer *et al.*, 2000a).

#### 2.1 Introdução

Segundo o *Naval Aerospace Medical Institute*<sup>2</sup>, vibração comumente é considerado apenas um problema de engenharia, mas também deve ser considerado um problema médico quando está relacionado ao ser humano. A aviação naval e a força aérea dos Estados Unidos da América, desde 1971, têm desenvolvido estudos com o objetivo e preocupação com relação a exposição à vibração a que estão sujeitos seus pilotos, e o conseqüente efeito desta exposição na saúde física e mental (Smith, 2000).

---

<sup>2</sup> *Naval Aerospace Medical Institute* – <http://www.vnh.or/FsManual/02/04Vibration.html/>

Como as vibrações são parte do ambiente natural, diversas pesquisas, nas últimas três décadas (Kelsey, *et al.*, 1975; Alaranta *et al.*, 1977; Wilder *et al.*, 1982; Backman, 1983; Klingenstierna *et al.*, 1987; Kuorinka *et al.*, 1987; Winkleby *et al.*, 1988; Johanning, 1991a e 1991b; Corbridge *et al.*, 1991; Bovenzi *et al.*, 1992; Miyashita *et al.*, 1992; Bovenzi *et al.*, 1994; Magnusson *et al.*, 1996; Zimmermann *et al.*, 1997; Bovenzi *et al.*, 1999; Palmer *et al.*, 2000b), têm por objetivo avaliar os efeitos patológicos e psicológicos da vibração no corpo humano. De acordo com Chaffin *et al.* (1999), os efeitos biológicos da vibração, cada vez mais são evidentes, e esforços grandiosos devem ser realizados para reduzir tais exposições.

O corpo humano é uma sofisticada estrutura biomecânica, e, a sensibilidade à vibração, pode 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 Tabela 2.1, apresenta uma comparação de regiões sensíveis às vibrações e suas principais fontes geradoras.

TABELA 2.1 – Sensibilidade do corpo humano às vibrações.

<i>Frequência [Hz]</i>	<i>Sensibilidade</i>	<i>Fontes de vibração</i>
0 a 2	Sistema vestibular	Barcos, veículos, aeronaves
2 a 30	Biomecânica: ressonância do corpo	Veículos, aeronaves, guindastes
> 20	Músculos, tendões e pele	Ferramentas e máquinas

FONTE – Chaffin *et al.*, 1999.

## 2.2 Critérios para medição e avaliação das vibrações no corpo humano

Griffin *et al.* (1994 e 1990) apresentam algumas razões para medir a exposição humana à vibração, des tacando-se as seguintes:

- desenvolvimento de documentação padronizada sobre às vibrações no corpo humano;
- determinação dos níveis de vibração e sua redução em faixas de frequência que podem prejudicar o corpo humano;

- fornecimento de dados que podem ser utilizados para comparação entre dois ou mais ambientes ocupacionais.

Segundo Beranek *et al.* (1992), 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 Tabela 2.2, apresenta as principais normas ISO (*International Standard Organization*) e BS (*British Standard*) relacionadas às vibrações no corpo humano (também conhecida como vibração no corpo inteiro).

TABELA 2.2 – Normas ISO e BS relacionadas à vibração no corpo inteiro.

<b><i>Denominação (edições)</i></b>	<b><i>Objetivos principais</i></b>
ISO 2631-1 (1974, 1978, 1985 e 1997)	definição de métodos de avaliação relacionados à saúde e conforto humano.
BS 6841 (1987)	definição de métodos de avaliação relacionados à saúde e conforto humano.
ISO 8041 (1990)	definição das funções de transferência para as funções de compensação e apresentação da nomenclatura utilizada na área.
BS 7085 (1989)	apresentação dos aspectos ligados a segurança de experimentos em que pessoas são expostas à vibração mecânica.
ISO 5008 (1979)	definição de métodos para medição de vibração em operadores de máquinas agrícolas. Apresentação de uma sugestão de desenvolvimento de uma interface para ser colocada entre o banco e a pessoa para posicionamento do acelerômetro.

A preparação da norma ISO 2631 iniciou em 1966, e foi primeiramente publicada em 1974, com o objetivo de fornecer valores numéricos, como limite de exposição relacionados ao corpo humano. Em 1978, o padrão foi reimpresso, apresentando mudanças editoriais e correções de erros de impressão nas tabelas e figuras. Segundo Griffin (1990), em alguns países é adotado como o padrão nacional. A última edição, de 1997, apresenta discussões a respeito da evolução dos estudos experimentais realizados sobre os efeitos na saúde. Cabe ressaltar que os padrões britânicos (BS) relacionados à vibração do corpo humano são similares aos padrões ISO.

A norma ISO 2631 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 (ISO 2631-1, 1997). As principais definições da norma ISO 2631-1 (1974 e 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, dentre as seguintes possibilidades fornecidas pela Figura 2.1;

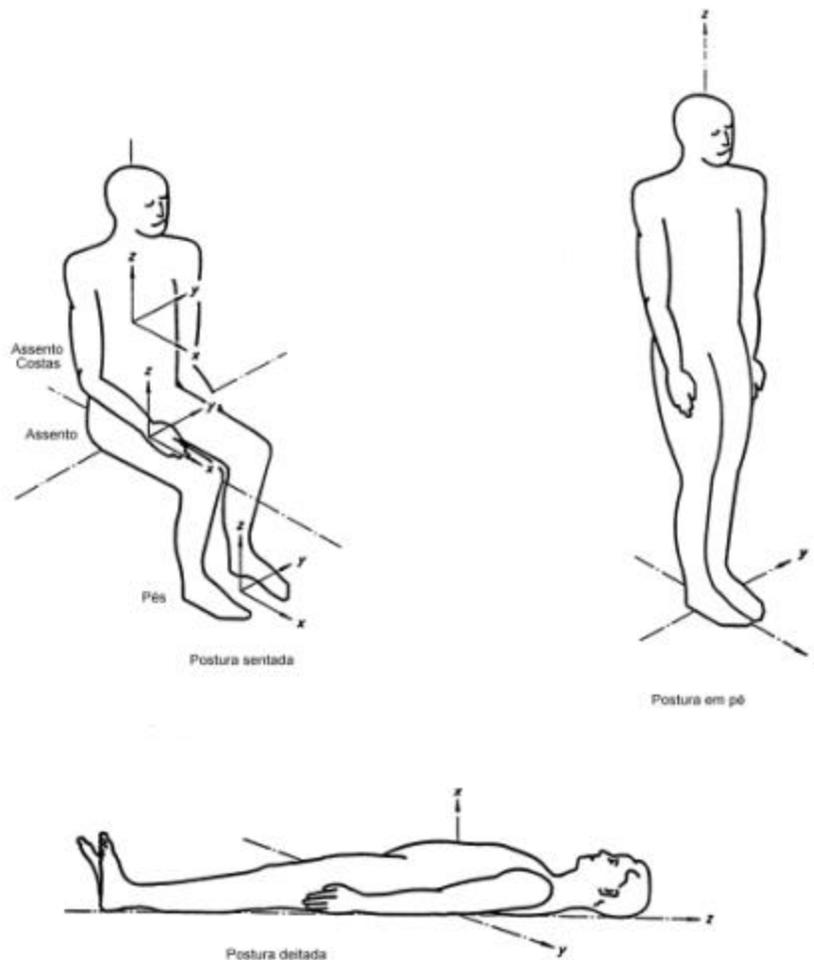


FIGURA 2.1 – Sistema coordenado.

FONTE – ISO 2631-1, 1997.

- 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;
- existindo material resiliente entre a superfície (por exemplo, a estrutura do banco do motorista) e a pessoa, é permissível interpor suportes rígidos para o transdutor;
- 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, conforme mostrado na Tabela 2.3, pois, o corpo humano é mais sensível a determinadas frequências. Segundo Gerges (1992), a direção na qual o corpo humano é mais sensível às vibrações é a vertical. Segundo o autor, na faixa de frequência de 4 a 8Hz, se situam as frequências naturais do corpo humano (massa abdominal, ombros e pulmões) cujas regiões apresentam grande sensibilidade, e, por isso, os limites são menores;
- a aceleração r.m.s. compensada (ou ponderada) é calculada de acordo com a expressão 2.1 (ISO 2631-1, 1997):

$$a_w = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

onde  $a_w$  é a aceleração compensada como uma função do tempo, em  $m/s^2$  e  $T$  é a duração da medição, em segundos;

- podem ser feitas medições em faixas de terços de oitava e/ou medições ponderadas em frequência;

O grupo criador da ISO 2631 (1974) estabeleceu limites, de aceleração máxima, recomendadas para cada tempo de exposição: de um minuto a doze horas. Determinaram que a faixa de frequência na qual o corpo humano apresenta maior sensibilidade é a de 1Hz a 80Hz. A norma determina três grupos de severidade (Figura 2.2):

- limites para o conforto;
- limites para a perda de eficiência causada por fadiga (percepção);

- limites de exposição máxima que, se ultrapassado, pode oferecer riscos à saúde humana.

Os gráficos apresentados na Figura 2.2, podem ser utilizados para limitar o tempo de exposição à vibração, pois apresentam, para determinadas frequências, limites de exposição relacionados à saúde, conforto e fadiga. De posse da aceleração r.m.s., para a faixa de frequência de 1 a 80Hz, basta traçar a curva obtida e verificar se ultrapassa os limites definidos pela norma.

Os limites de tolerância, definidos pela ISO 2631, correspondem à aproximadamente a metade do limiar da dor ou a tolerância voluntária de pacientes saudáveis em pesquisas de laboratório (do sexo masculino), cabendo ressaltar que, para fins legais, no Brasil, utiliza-se esta norma (Saliba, 1996). Conforme salientado, os efeitos da vibração na saúde e no conforto são dependentes do conteúdo de frequência da vibração. Diferentes compensações para diferentes frequências e eixos estão listadas na Tabela 2.3.

TABELA 2.3 – Guia para avaliação das compensações.

<i>Fator de compensação</i>	<i>Efeito na(o)</i>					
	<i>Saúde</i>		<i>Conforto</i>		<i>Percepção (fadiga)</i>	
	<i>eixos</i>	<i>postura</i>	<i>eixos</i>	<i>postura</i>	<i>eixos</i>	<i>postura</i>
$W_k$	z	sentado	z	sentado	z	sentado
			z	em pé	z	em pé
$W_d$	x e y	sentado	x e y	sentado	x e y	sentado
			x e y	em pé	x e y	em pé

FONTE – ISO 2631-1, 1997.

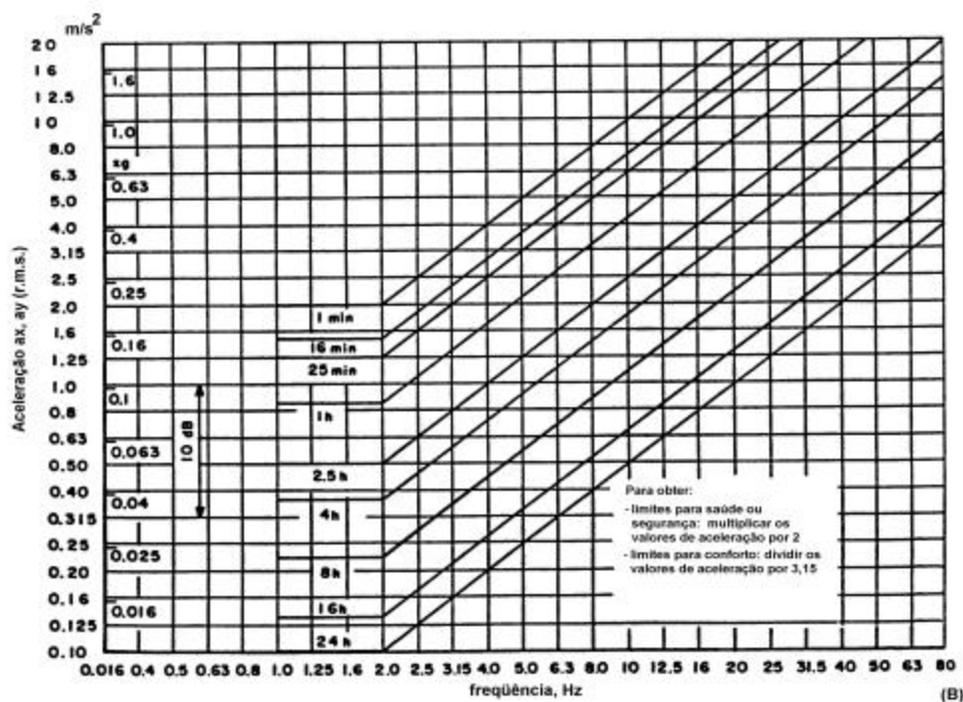
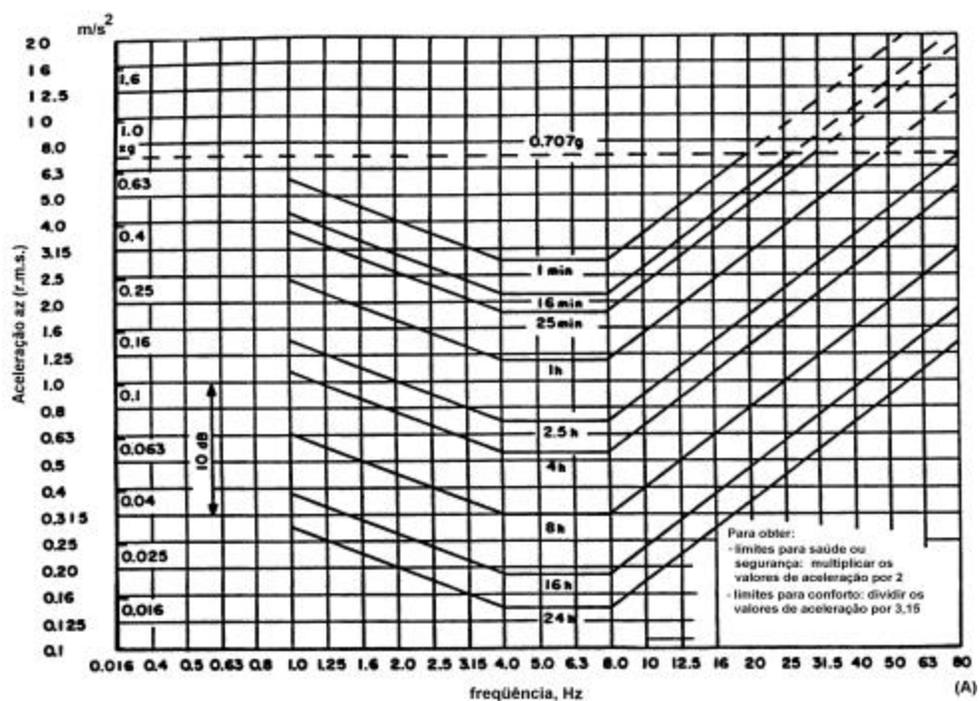


FIGURA 2.2 – Limites para fadiga, saúde (x2) e conforto ( $/3,15$ ) versus frequências em um terço de oitava: (A) aceleração r.m.s. para o eixo z ( $m/s^2$ ) e (B) aceleração r.m.s. para o eixo x e y ( $m/s^2$ ).

FONTE – Beranek *et al.*, 1992.

- os valores das curvas de compensação com relação a faixa de frequência são apresentados na Tabela 2.4 e na Figura 2.3.

TABELA 2.4 – Compensações (fatores de compensação:  $W_k$  e  $W_d$ ) em um terço de oitava.

<i>frequência</i> $f$ [Hz]	$W_k$ ( $\times 10^3$ )	$W_d$ ( $\times 10^3$ )	<i>frequência</i> $f$ [Hz]	$W_k$ ( $\times 10^3$ )	$W_d$ ( $\times 10^3$ )
<b>1</b>	482	1011	<b>10</b>	988	212
<b>1,25</b>	484	1008	<b>12,5</b>	902	161
<b>1,6</b>	494	968	<b>16</b>	768	125
<b>2</b>	531	890	<b>20</b>	636	100
<b>2,5</b>	631	776	<b>25</b>	513	80,0
<b>3,15</b>	804	642	<b>31,5</b>	405	63,2
<b>4</b>	967	512	<b>40</b>	314	49,4
<b>5</b>	1039	409	<b>50</b>	246	38,8
<b>6,3</b>	1054	323	<b>63</b>	186	29,5
<b>8</b>	1036	253	<b>80</b>	132	21,1

FONTE – ISO 2631-1, 1997.

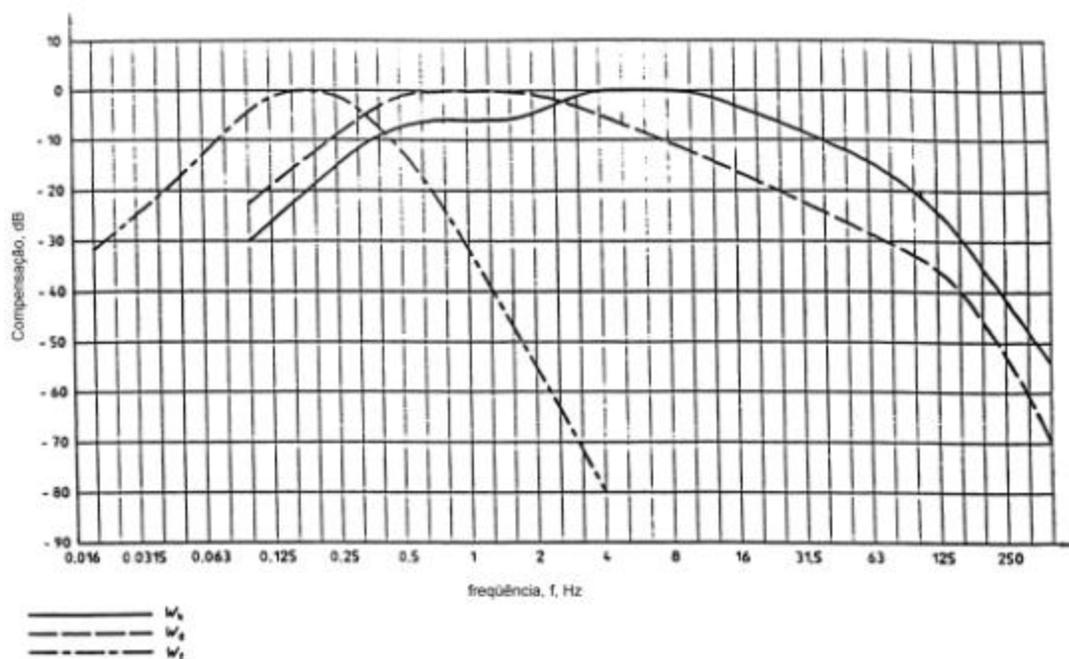


FIGURA 2.3 – Curva de compensação.

FONTE – ISO 2631-1, 1997.

A aceleração compensada (ou ponderada) é dada pela equação (2.2):

$$a_w = \left[ \sum_i (W_i \cdot a_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

onde  $a_w$  é a aceleração compensada, em  $\text{m/s}^2$  ou  $\text{rad/s}^2$ ,  $W_i$  é o fator compensação e  $a_i$  é a aceleração r.m.s. para as frequências dadas na Tabela 2.4. Pode-se utilizar os pesos dados nas Tabelas 2.3 e 2.4 ou as definições matemáticas fornecidas no Apêndice.

As normas BS 6055 (1981) e ISO 5008 (1979) apresentam que, quando possível, a vibração em veículos deve ser medida entre o banco do motorista (ou passageiro) e o corpo do motorista (ou corpo do passageiro). Portanto, é necessário que o transdutor (normalmente o acelerômetro) seja colocado entre o corpo e o banco. Cabe ressaltar que o transdutor, além de mover-se com a estrutura, não deve alterar as propriedades dinâmicas do banco e/ou do corpo. Para facilitar esta medição, a *Society of Automotive Engineers* (SAE) em 1974 (*apud* Griffin, 1990), definiu um dispositivo semi-rígido para ser usado como a interface entre o banco e o corpo da pessoa. Griffin e Whitham em 1977 (*apud* Griffin, 1990) modificaram este aparato, pois o dispositivo da SAE não permitia a colocação de uma série de acelerômetros encontrados no mercado. A Figura 2.4 apresenta o esboço do projeto de tais interfaces que atualmente fazem parte das sugestões das normas BS 6055 (1981) e ISO 5008 (1979).

Segundo Griffin (1990), analisar as vibrações é determinar aspectos e detalhar o movimento. A análise pode fornecer informações suficientes que permitem a identificação das causas da vibração e por conseqüência, se possível, a sua redução. Além disso, a análise das vibrações do corpo humano permite conhecer o ambiente ocupacional no qual os trabalhadores estão inseridos e a resposta humana a este ambiente.

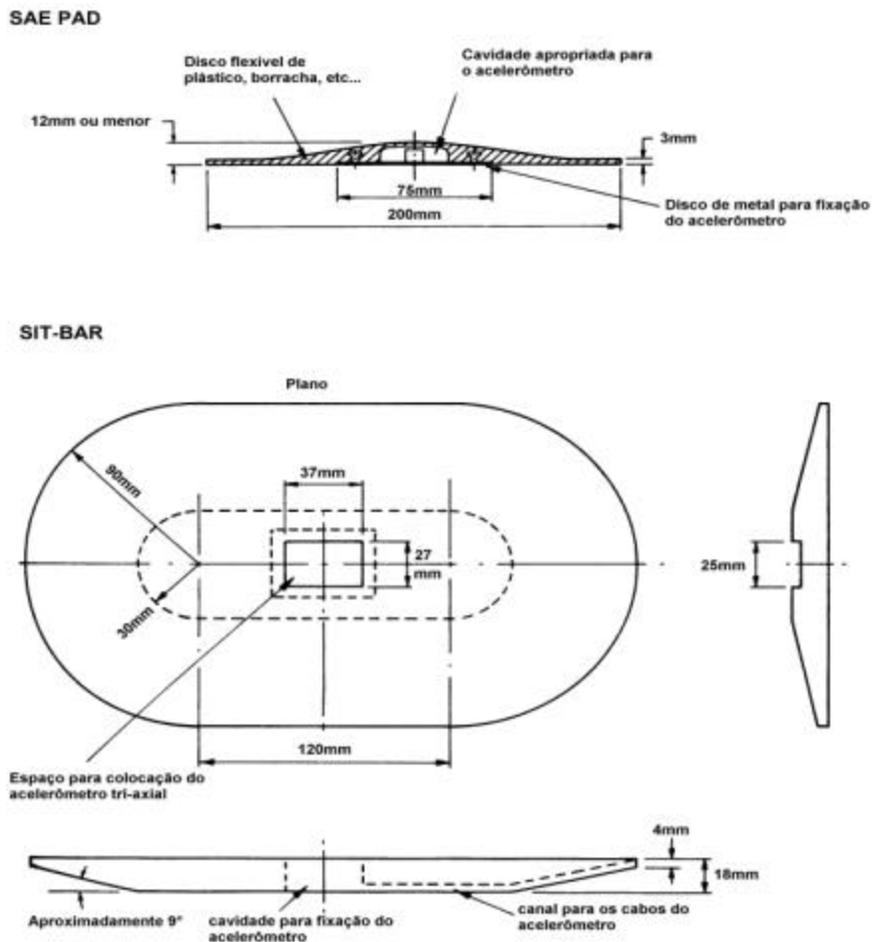


FIGURA 2.4 – Esboço da interface conforme projeto da SAE (SAE PAD) e de Griffin e Whitham (SIT-BAR).

FONTE – Griffin, 1990 e BS 6055, 1981.

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. (ISO 2631-1, 1997) e dos componentes de frequência do respectivo sinal. A seguir são apresentados diversos parâmetros utilizados no estudo das vibrações do corpo humano (Griffin, 1990; ISO 2631-1, 1997; BS 6841, 1987; ISO 5008, 1979; BS 6055, 1981):

(a) média ( $\bar{x}$ ):

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} x(i) \quad (2.3)$$

onde  $\sum x(i)$  representa a soma de todos os valores da série no tempo  $x(i)$  e  $N$  é a quantidade de amostras;

(b) desvio padrão ( $\mathbf{s}$ ):

$$\mathbf{s} = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} \left( x(i) - \bar{x} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.4)$$

(c) valor r.m.s. (RMS: *root mean square*):

$$RMS = \left( \frac{1}{N} \sum x^2(i) \right)^{1/2} \quad (2.5)$$

(d) valor dose de vibração (VDV – *Vibration Dose Value*):

$$VDV = \left[ \frac{T_s}{N} \sum x^4(i) \right]^{1/4} \quad (2.6)$$

onde VDV ( $\text{m/s}^{1,75}$ ) é uma medida cumulativa e é usualmente calculada com a aceleração ponderada  $x(i)$  ( $\text{m/s}^2$ ),  $T_s$  (s) é o período de duração do movimento, ou seja, o período total do dia durante o qual a vibração pode ocorrer e  $N$  a quantidade de amostras;

(e) dose de vibração estimada ( $eVDV$  – *Estimated vibration dose value*):

$$eVDV = \left[ (1,4 \cdot R)^4 \cdot T_s \right]^{1/4} \quad (2.7)$$

onde  $eVDV$  ( $\text{m/s}^{1,75}$ ) é utilizado como uma estimativa da medida cumulativa VDV,  $T_s$  é o tempo de ensaio (s) e  $R$  é o valor r.m.s.;

(f) transmissibilidade: é a razão entre a magnitude de um ponto qualquer com a do ponto de entrada para determinado componente de frequência (Figura 2.5). Caso a razão seja maior do que 1, indica que ocorreu amplificação da vibração na estrutura, caso seja menor do que 1, indica que ocorreu atenuação da vibração original e se for igual a 1, indica que a vibração de entrada é igual a de saída;

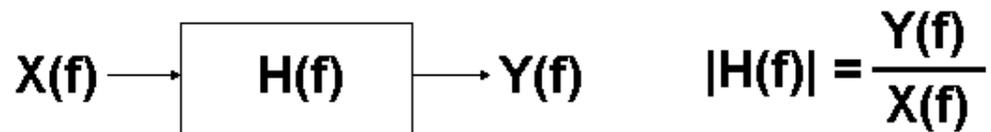


FIGURA 2.5 – Diagrama de blocos e a função de transferência.

(g) impedância mecânica ( $Z$ ): é a razão da força aplicada pela velocidade resultante. Quando a força e a velocidade são medidas no ponto de entrada da vibração, a impedância é denominada de impedância do ponto de entrada. Pode-se aplicar a força e medir em outro ponto a velocidade resultante, isto é chamado de impedância de transferência:

$$Z = \frac{\text{Força}}{\text{Velocidade}} \quad [\text{N.s.m}^{-1}] \quad (2.8)$$

Nos apêndices das normas BS 6841 (1987) e ISO 2631-1 (1997), são apresentadas outras considerações, sobre métodos que permitem estimar os efeitos da vibração no corpo humano, com relação à saúde e conforto humano. Segundo a BS 6841 (1987), é razoável assumir que o aumento no tempo de exposição à vibração causa um aumento no risco de ocorrência de danos nos tecidos. O parâmetro usado para relacionar tempo de exposição baseia-se no envolvimento do cálculo do  $VDV$  (Equação 2.6). Quando as condições de vibração são constantes (ou regularmente repetidas) ao dia, somente um período (de duração  $t_1$ ) pode ser representativo. O  $VDV_{total}$  para o dia, é então dado por  $VDV_1$  e após multiplicado pela relação  $\frac{t_0}{t_1}$  (onde  $t_0$  é o período total de exposição à vibração):

$$VDV = \left[ \frac{t_0}{t_1} \times VDV_1^4 \right]^{1/4} \quad (2.9)$$

Em geral, se em um dia existe um total de  $N$  períodos de várias durações com  $VDV$ 's medidos (ou estimados), então o  $VDV_{total}$  para o dia é definido por:

$$VDV = \left[ \sum_{n=1}^{n=N} VDV_n^4 \right]^{1/4} \quad (2.10)$$

a Figura 2.6 apresenta as acelerações r.m.s. correspondentes a vários  $VDV$ 's e durações da exposição à vibração.

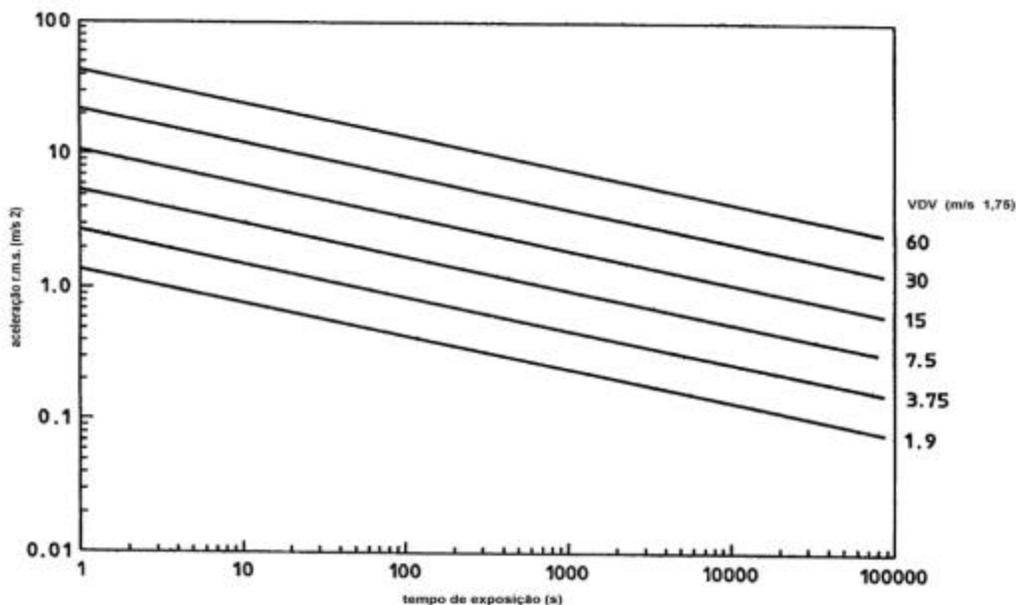


FIGURA 2.6 – Aceleração r.m.s. correspondendo ao VDV de  $1,9\text{m/s}^{1,75}$  a  $60\text{m/s}^{1,75}$  para períodos de exposição à vibração de 1s a 24horas.  
 FONTE – BS 6841, 1987.

Bovenzi *et al.* (1992) recomendam o uso dos seguintes parâmetros para avaliar problemas relacionados com a exposição à vibração:

$$\text{magnitude\_equivalente\_de\_vibração} = \left( \sum_i (a_{z,i}^2 t_i) / t_i \right)^{0,5} \quad (\text{m/s}^2) \quad (2.11)$$

onde  $a_{z,i}$  é a aceleração estimada no eixo z medida no veículo  $i$  para o tempo  $t_i$  em anos e a dose total de vibração para exposições diárias:

$$\text{dose\_vibração\_total} = \left( \sum_i (a_{z,i}^2 t_i) \right) \quad (\text{anos m}^2/\text{s}^4). \quad (2.12)$$

Segundo apresenta a norma BS 6841 (1987), VDV's suficientemente altos podem causar severo desconforto, dores e ferimentos. VDV's também indicam, de uma maneira geral, a severidade da exposição à vibração, porém, não existe um consenso na comunidade científica da relação precisa entre o VDV e o risco de ferimentos a que o corpo humano está

sujeito. A norma salienta que magnitudes de vibração e durações que produzem  $VDV$ 's na região de  $15\text{m/s}^{1,75}$  usualmente causam severo desconforto e na faixa acima de  $8,5\text{m/s}^{1,75}$  desconforto médio. Além disso, as normas BS 6841 e a ISO 2631-1 (1997), fornecem os seguintes valores de aceleração r.m.s. ponderada como uma indicação das reações com relação ao conforto:

- $< 0,315 \text{ m/s}^2 \rightarrow$  confortável
- $0,315 \text{ a } 0,63 \text{ m/s}^2 \rightarrow$  um pouco desconfortável
- $0,8 \text{ a } 1,6 \text{ m/s}^2 \rightarrow$  desconfortável
- $1,25 \text{ a } 2,5 \text{ m/s}^2 \rightarrow$  muito desconfortável
- $> 2,0 \text{ m/s}^2 \rightarrow$  extremamente desconfortável.

A norma BS 7085 (1989), além de tratar dos aspectos de segurança relacionados aos experimentos em que pessoas são expostas à vibração mecânica, recomenda que em um experimento onde a exposição não excede um  $VDV$  de  $15\text{m/s}^{1,75}$  não é necessário o acompanhamento médico, porém acima deste parâmetro, é necessário o acompanhamento médico durante os ensaios. A Tabela 2.5 fornece, para vibração mecânica contínua e magnitude constante, os valores de aceleração r.m.s. máximos por tempo de exposição para um  $VDV$  de  $15\text{m/s}^{1,75}$ .

TABELA 2.5 – Aceleração r.m.s. ponderada equivalente a um  $VDV$  de  $15\text{m/s}^{1,75}$  para vibração mecânica contínua com magnitude constante.

<i>Duração da exposição</i>	<i>Aceleração ponderada r.m.s. (<math>\text{m/s}^2</math>)</i>
1s	10,71
4s	7,57
16s	5,36
1min	3,84
4min	2,72
16min	1,92
1h	1,38
4h	0,98
8h	0,82

FONTE – BS 7085, 1989.

### 2.3 Efeitos da exposição à vibração na saúde e estudos epidemiológicos

Diversos fatores modificam 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); Griffin (1990); Tripepi *et al.* (2000); Stayner (2000); 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 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.

De acordo com Griffin (1990) e Chaffin *et al.* (1999), o corpo humano pode ser considerado como um sistema biomecânico, podendo ser modelado como um sistema linear na faixa de frequência de 2 a 30Hz (nesta faixa o corpo humano pode ser aproximado ao simples sistema massa-mola-amortecedor). A Figura 2.7 apresenta um modelo popular utilizado para demonstrar as ressonâncias do corpo humano. Como indicado neste modelo a ressonância ocorre em diferentes frequências para diferentes pontos do sistema. Exposições à vibração vertical, na faixa de 5 a 10Hz geralmente causam ressonância no sistema tórax-abdômen, na faixa de 20 a 30Hz no sistema cabeça-pescoço-ombros e de 30 a 60Hz no sistema ocular (Chaffin *et al.* 1999 e Brüel & Kjaer, 2000).

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 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.

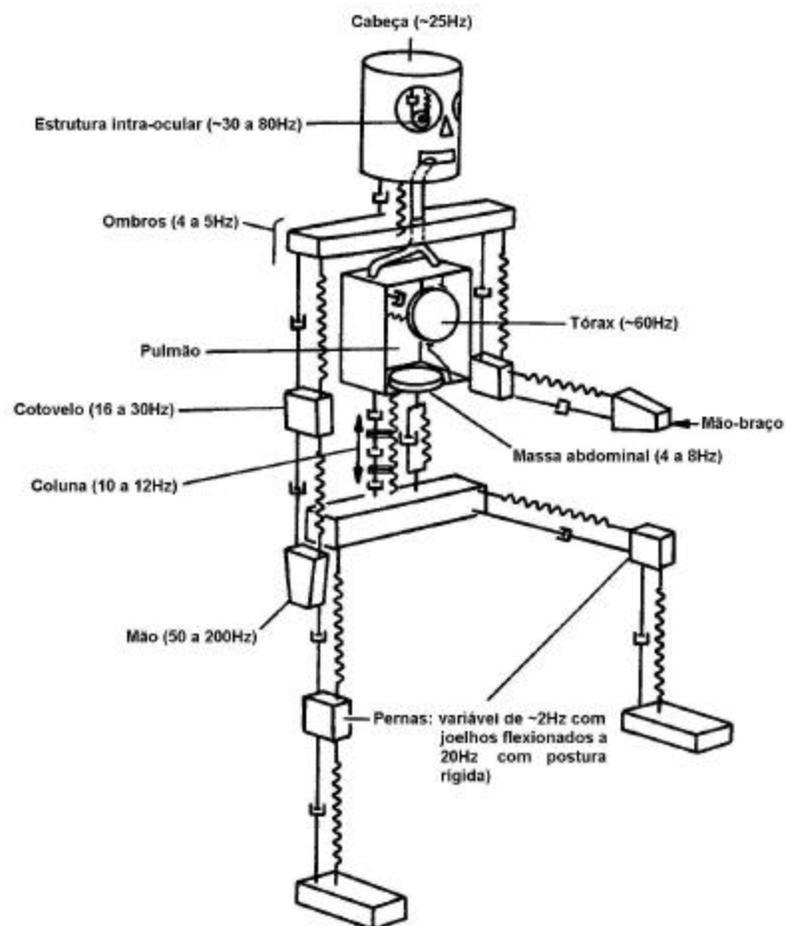


FIGURA 2.7 – Sistema mecânico representando o corpo humano sujeito a vibração vertical.  
 FONTE – Brüel & Kjaer, 2000.

De acordo com o trabalho de Kelsey *et al.* (1975), estudos indicam o aumento significativo de dores nas costas em pessoas que trabalham predominantemente sentadas em ambientes expostos à vibração, como por exemplo, os motoristas de veículos. Bovenzi *et al.* (1994), Bovenzi *et al.* (1996), Griffin (1990), Rehn *et al.* (2000), Hoy *et al.* (2000), Tripepi *et al.* (2000) salientam que motoristas de tratores, de caminhões de lixo e veículos fora de estrada, apresentam uma maior incidência de problemas na região das costas do que outros trabalhadores não expostos a vibração ocupacional.

Magnusson *et al.* (1998) ressaltam que estudos epidemiológicos sobre as dores no pescoço e ombros devem relacionar as características da atividade ocupacional de cada indivíduo, como por exemplo a postura no trabalho, movimentos da cabeça e braços, materiais manuseados e organização do trabalho. Concluíram que um aumento significativo das desordens da espinha, baseados em exames clínicos, foi encontrado em operadores de serras elétricas e motoristas de tratores.

Kelsey *et al.* (1975) desenvolveram um estudo, no período de dois anos, com 223 pacientes que apresentaram problemas relacionados com as costas (desordens lombares). Encontraram que motoristas de veículos apresentam um grande risco de apresentar problemas de hérnia de disco quando comparados a um grupo que não apresenta nenhum problema relacionado com as costas. Determinaram que a maior carga no tronco humano e provavelmente na espinha, ocorre quando a vibração está na frequência natural, ou seja, a carga é maior quando o corpo está na postura sentada vibrando na direção vertical na faixa de 4 a 8Hz. Cabe ressaltar, de acordo com Troup (1978), que, em caminhões, a vibração vertical é dominante e ocorre na faixa de 2 a 15Hz.

Wood (1976) apresentou um cálculo sobre o impacto dos problemas nas costas nos serviços médicos e sociais. Em seu estudo, observou que 25% de todos os trabalhadores do sexo masculino são afetados, a cada ano, por problemas relacionados com as dores nas costas. Estudos na Suécia mostram que de 50 a 80% dos adultos, em algum período da vida profissional, sofrem de dores nas costas. Hult (1974) encontrou que 60% dos homens suecos, de diversas ocupações (1193 pessoas), sofrem de dores nas costas em algum período, devido

aos seguintes fatores: saúde física, postura estática, trabalho repetitivo e vibração. Junghanns (*apud* Andersson, 1981) acumulou dados estatísticos que mostraram um aumento dos sintomas de dores nas costas em diferentes populações sujeitas a vários tipos de vibrações: trens, motoristas de ônibus, motoristas de táxis, motoristas de caminhões, agricultores e marinheiros.

Bongers *et al.* (1988), em uma estimativa, na população da Holanda, mostraram que 300.000 motoristas profissionais estão expostos a níveis de vibração acima de  $0,63\text{m/s}^2$  (aceleração r.m.s.) e que 10.000 trabalhadores da indústria (como por exemplo operadores de guindastes) estão expostos a níveis acima de  $0,32\text{m/s}^2$ .

Gruber *et al.* (1974) investigaram os efeitos da longa exposição à vibração, na saúde de 1448 motoristas de ônibus de grande distância com base nos exames físicos registrados de 1953 a 1974. Várias desordens na espinha e estruturas suporte, incluindo deslocamento do disco intervertebral e dores foram observadas significativamente em motoristas com 35 a 54 anos de trabalho, em comparação aos motoristas com menos de 5 anos de atividade. Os autores concluíram que o efeito combinado da postura de trabalho e vibração podem estar causando estas desordens. Winkleby *et al.* (1988) avaliaram 22 estudos epidemiológicos que examinaram os riscos de saúde apresentados por motoristas de ônibus. A Tabela 2.6 apresenta um resumo dos estudos revisados.

Kuoringa *et al.* (1987) desenvolveram um questionário padrão para análise dos sintomas musculoesqueléticos em ergonomia ou saúde ocupacional. Este questionário foi elaborado como uma ferramenta padrão para facilitar a comparação entre diversos estudos. Segundo os autores, o questionário é um meio que permite a avaliação de estudos epidemiológicos sobre as desordens musculoesqueléticas e uma base para diagnósticos clínicos, além do que uma ferramenta para análise de diversos ambientes de trabalho. Este questionário trata sobre diferentes partes do corpo, como por exemplo, pescoço, costas, ombros e etc, pois estas são as regiões que concentram a maioria dos sintomas cumulativos.

TABELA 2.6 – Revisão de alguns estudos epidemiológicos com relação aos motoristas de ônibus.

<i>Autor(es)</i>	<i>Data(s) do estudo</i>	<i>Localidade do estudo</i>	<i>Amostra estudada</i>	<i>Grupo de Comparação</i>	<i>Registros de saúde<sup>++</sup></i>
Aronsson	1976	Suécia	4500 motoristas de ônibus e metrô	865 trabalhadores de escritório	1, 3, 4, 5, 6
Berlinguer	1956 a 1961	Itália	6400 motoristas não profissionais	850 trabalhadores de escritório	1, 2, 3, 4
Brinton	1930 a 1934	Estados Unidos	5702 motoristas de ônibus e táxis	Não motoristas	1, 4, 6
Dijkstra	1981	Holanda	1751 motoristas não profissionais	275 trabalhadores de escritório	1
Erlam	1978	Inglaterra	12639 motoristas de ônibus	2385 motoristas de táxis	1
Garbe	1974 a 1977	Alemanha Ocidental	811 motoristas de ônibus	417 trabalhadores de escritório	3, 4, 5, 6
Gardell	1977 a 1978	Suécia	1422 motoristas de ônibus e trens	1000 servidores civis	1
Holme	1972 a 1973	Noruega	98 motoristas de ônibus e 129 de táxis	14450 trabalhadores de outras ocupações	8, 9
Netterstrom	1972 a 1977	Dinamarca	1396 motoristas de ônibus	1444 condutores de trens	3, 8
Norman	1949 a 1952	Inglaterra	14000 motoristas de ônibus	12000 cobradores de ônibus	1, 4, 6
Ragland	1977 a 1979	Suécia	52 motoristas de ônibus urbano	motoristas de ônibus sub-urbano	1, 3, 4, 5
<sup>++</sup> Legenda: 1 → Ausências no trabalho 2 → Problemas – todas as causas 3 → Problemas cardiovasculares e hipertensão 4 → Problemas gastrointestinais 5 → Problemas musculoesqueléticos 6 → Outras causas 7 → Morte – outras causas 8 → Morte – cardiovascular 9 → Morte – outras causas					

FONTE – Winkleby *et al.*, 1988.

Backman (1983) desenvolveu um trabalho em 35 empresas de transporte em seis diferentes municípios da Finlândia. O grupo participante foi constituído por 165 motoristas de ônibus local, 122 de longa distância, 159 de caminhões e 33 de caminhões tanque. O estudo mostrou que os problemas mais comuns de saúde estavam relacionados as dores nos ombros e

costas. Destes, 70% sofreram de dores nos ombros, costas e no pescoço durante o último mês, conforme mostrado na Figura 2.8.

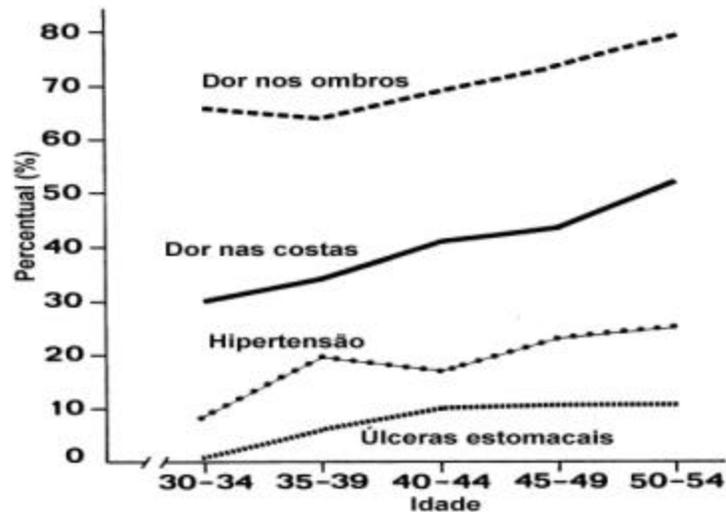


FIGURA 2.8 – Percentual de problemas encontrados relacionados à idade do grupo .

FONTE – Backman, 1983.

Hedberg (1988) desenvolveu um trabalho para investigar as reclamações relacionadas com os problemas musculoesqueléticos entre os motoristas de caminhões da Suécia. Este estudo foi realizado com 570 motoristas do sexo masculino e 13 do sexo feminino na área de Estocolmo. O estudo foi baseado em um questionário, enviado através do correio, relacionado às regiões mostradas na Figura 2.9. A avaliação dos questionários, permitiu elaborar a Figura 2.10, que apresenta o percentual das principais regiões do corpo com problemas musculoesqueléticos.

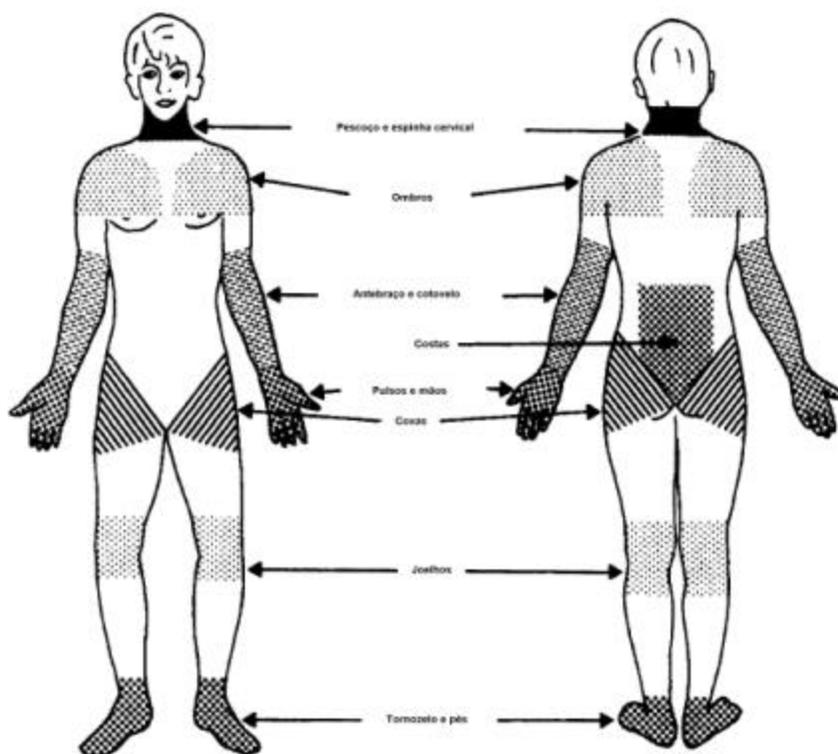


FIGURA 2.9 – Regiões do corpo humano relacionadas no questionário.

FONTE – Hedberg, 1988.

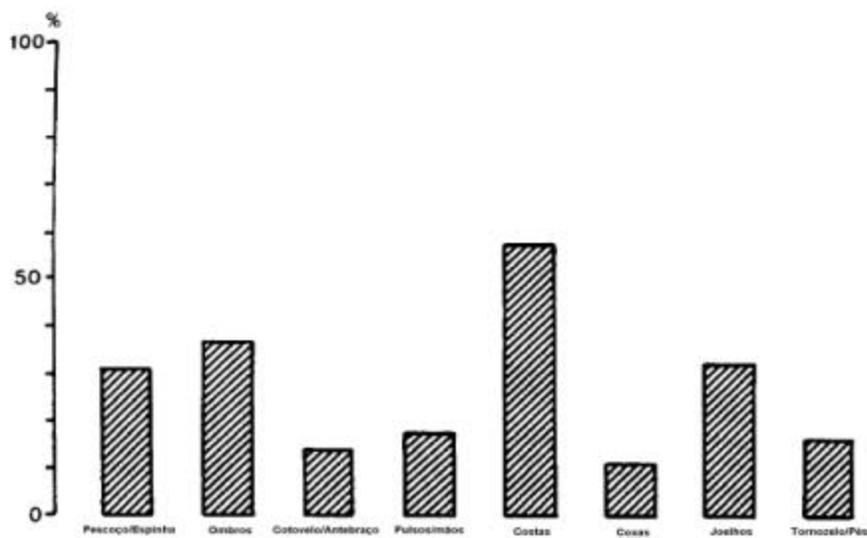


FIGURA 2.10 – Percentual de problemas musculoesqueléticos obtidos do questionário.

FONTE – Hedberg, 1988.

Segundo Johanning (1991a), o custo estimado nos Estados Unidos com relação às dores nas costas é de 11,1 bilhões de dólares. A exposição direta à vibração por prolongado tempo é reconhecida como um fator que acelera as dores nas costas e problemas relacionados à hérnia de disco. Posturas inadequadas, bancos com problemas de ergonomia e fadiga muscular são considerados como variáveis adicionais a serem consideradas. Miyashita *et al.* (1992) estudaram os efeitos da operação de máquinas de construção (guindastes) através de um questionário sobre as vibrações no corpo humano e localizada (no segmento mão-braço). Os sintomas dominantes foram dores nas costas, fadiga e problemas digestivos. Saliba (1996) apresentou um artigo revisando alguns aspectos importantes relacionados à vibração no corpo humano. Relatou que por ser um assunto com pouca divulgação, é fundamental que se apresente alguns exemplos de ocorrências dessa exposição. A Tabela 2.7 apresenta as indústrias/atividades européias e norte-americanas com evidências clínicas de grande exposição ocupacional às vibrações do corpo humano e empresas com significativas exposições.

TABELA 2.7 – Indústrias/atividades européias e norte-americanas com níveis elevados de exposição à vibração.

<i>Indústrias européias com evidências clínicas de exposição ocupacional às vibrações do corpo humano</i>	
<i>Indústria/atividade</i>	<i>Principais fontes de vibração</i>
Agricultura	Operação de tratores
Construção civil	Operação de veículos pesados
Madeireira	Operação de tratores
Mineração	Veículos pesados
Transporte	Veículos – motorista e passageiros
<i>Potenciais exposições à vibração nas indústrias americanas</i>	
<i>Tipo de indústria ou atividade</i>	<i>Principais fontes de vibração</i>
Dirigir caminhões/ônibus	Movimento do veículo
Operação de trator e máquina agrícola	Tratores, colheitadeiras
Fundição	Empilhadeiras, pontes rolantes
Operação de empilhadeira	Movimento do veículo
Refino de metal	Empilhadeiras, pontes rolantes, caminhões
Pedreira	Máquinas e veículos pesados
Mineração (subterrânea/ar livre)	Máquinas e veículos pesados

FONTE – Wasserman *et al.*, 1987.

Com relação ao Brasil, cabe ressaltar que Bedrokov *et al.* (1997) relataram que a saúde ocupacional é um novo campo de estudo, particularmente com a recente industrialização. Acidentes diminuíram, nos últimos 25 anos, em comparação com as doenças ocupacionais e mortalidade, conforme indicado na Figura 2.11.

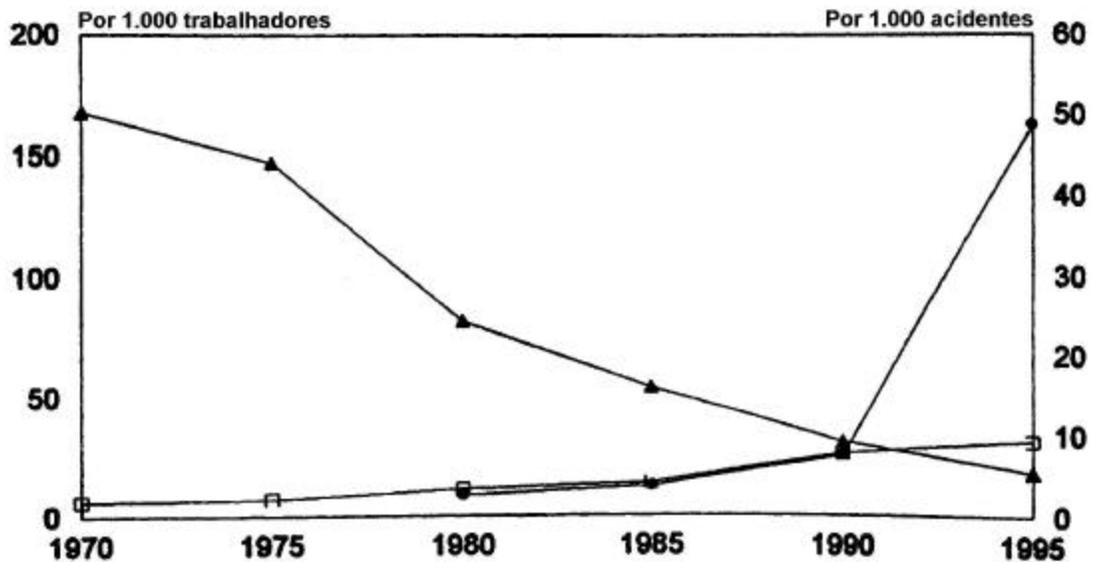


FIGURA 2.11 – Dados relativos, por 1.000 trabalhadores, dos acidentes (Δ), doenças ocupacionais (●) e mortalidade (□) no Brasil de 1970 a 1995.

FONTE - Bedrokov *et al.*, 1997.

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 de 4% a 7% dos empregados estão expostos a danos potenciais. Pesquisas experimentais tem apontado que a exposição à vibração do corpo humano pode afetar a coluna e o sistema nervoso. Em alguns países, as desordens nas costas, em trabalhadores expostos a vibração no corpo humano, são consideradas como doença do trabalho. A Tabela 2.8 apresenta um resumo dos trabalhos revisados, de 1986 a 1997, por Bovenzi e seus colegas.

TABELA 2.8 – Revisão epidemiológica de 1986 a 1997 das desordens relacionadas as dores nas costas e ocupações com exposição à vibração no corpo humano.

<i>Autor(es) e (ano)</i>	<i>Grupo de estudo</i>	<i>Grupo de controle</i>	<i>Magnitude da vibração (a<sub>v</sub>) e/ou duração da exposição (média ou faixa)</i>	<i>Fonte dos dados</i>
Brenstrup (1987)	169 motoristas de caminhões	66 trabalhadores não especializados	7 anos	questionário
Bongers (1988)	743 operadores de guindaste	662 trabalhadores de manutenção	0,25 a 0,67 m/s <sup>2</sup>	registros médicos
Bongers (1990)	341 operadores de guindaste	3130 metalúrgicos	0,3 a 0,5 m/s <sup>2</sup> (estimado)	registros médicos
Boshuizen (1990)	347 motoristas da indústria de transporte	105 outras ocupações da indústria do transporte	0,45 a 1,0 m/s <sup>2</sup> (estimado)	registros médicos
Boshuizen (1990)	450 motoristas de tratores	110 não expostos à vibração	0,72 m/s <sup>2</sup> 10 anos	registros médicos
Bongers (1990)	133 pilotos de helicóptero	228 trabalhadores de escritório	0,48 m/s <sup>2</sup> 9,9 anos	questionário
Bongers (1990)	47 trabalhadores do transporte	52 não expostos à vibração	0,95 m/s <sup>2</sup> 10 anos	questionário
Boshuizen (1990)	196 motoristas de caminhões e de tratores	107 trabalhadores não expostos	0,79 a 1,04 m/s <sup>2</sup> 13,9 anos	questionário
Johanning (1991)	492 operadores do metrô	92 operadores de rebocadores	0,55 m/s <sup>2</sup> 10,4 anos	questionário
Bovenzi (1992)	235 motoristas de ônibus	125 trabalhadores de manutenção	0,43 m/s <sup>2</sup> 13,4 anos	questionário
Burdorf (1993)	94 operadores de guindaste	86 trabalhadores de escritório	0,31 m/s <sup>2</sup> 8,1 anos	intervenção médica
Bovenzi (1994)	1155 motoristas de tratores	220 trabalhadores de escritório	1,06 m/s <sup>2</sup> 21 anos	questionário
Sandover (1994)	100 motoristas de tratores	31 trabalhadores em aviários	0,35 a 1,45 m/s <sup>2</sup> 16 anos	questionário
Magnusson (1996)	101 motoristas de ônibus e 117 de tratores	137 trabalhadores sedentários	ônibus: 0,36 a 0,56 m/s <sup>2</sup> 10 a 16 anos tratores: 0,47 a 0,78 m/s <sup>2</sup> 11 a 18 anos	questionário
Schwarze (1998)	223 motoristas de caminhões	grupo de baixa exposição	0,45 a 0,47 m/s <sup>2</sup> 12,8 a 18,4 anos	exames médicos

FONTE - Bovenzi *et al.*, 1999.

Palmer *et al.* (2000b e 2000d) desenvolveram um estudo para avaliar e estimar o número de trabalhadores, na Grã Bretanha, com exposição significativa à vibração do corpo humano, e identificar as fontes de vibração mais comuns: ocupações e indústrias. Um questionário foi enviado pelo correio em uma amostra aleatória de 22.194 homens e mulheres em idade de trabalho. As estimativas foram realizadas usando o parâmetro *eVDV* (Equação 2.7). Da análise de 12.907 questionários que retornaram, estimaram que 7,2 milhões de homens e 1,8 milhões de mulheres, na Grã Bretanha, estão expostos à vibração do corpo humano, no trabalho, em um período de 1 semana (devido aos automóveis, caminhonetes, ônibus, trens e motocicletas). O *eVDV* de 374.000 homens e 9.000 mulheres excedeu a proposta do padrão BS 6841 (1987) para o nível de  $15\text{ms}^{-1,75}$  (*eVDV*'s altos foram encontrados, em média, em motoristas de caminhões, motoristas de “bons veículos” e motoristas de ônibus). O gráfico da Figura 2.12 apresenta o número de homens e mulheres com relação ao mínimo *eVDV* e a Figura 2.13 as principais ocupações e indústrias com relação ao parâmetro *eVDV*. A Tabela 2.9 apresenta as acelerações estimadas para alguns dos veículos/máquinas usadas nas pesquisas.

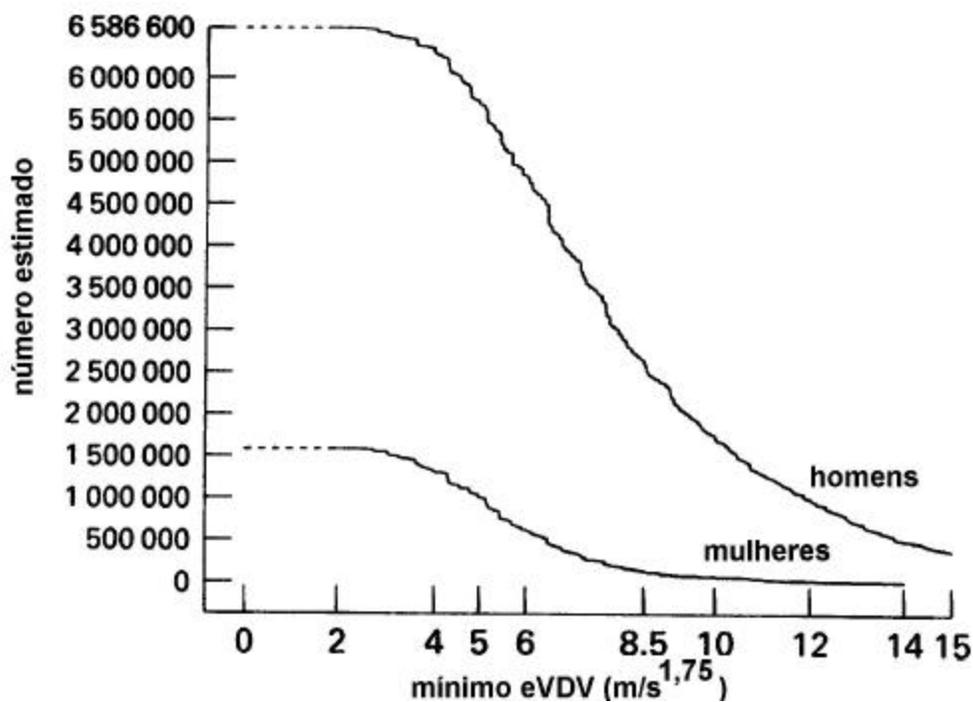
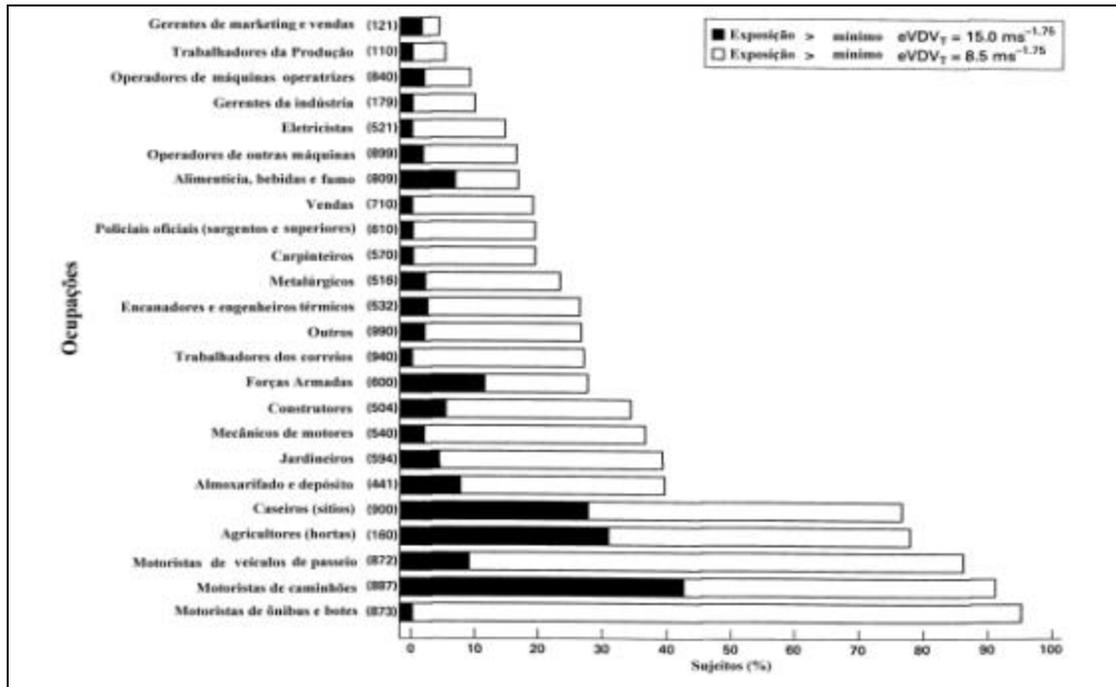
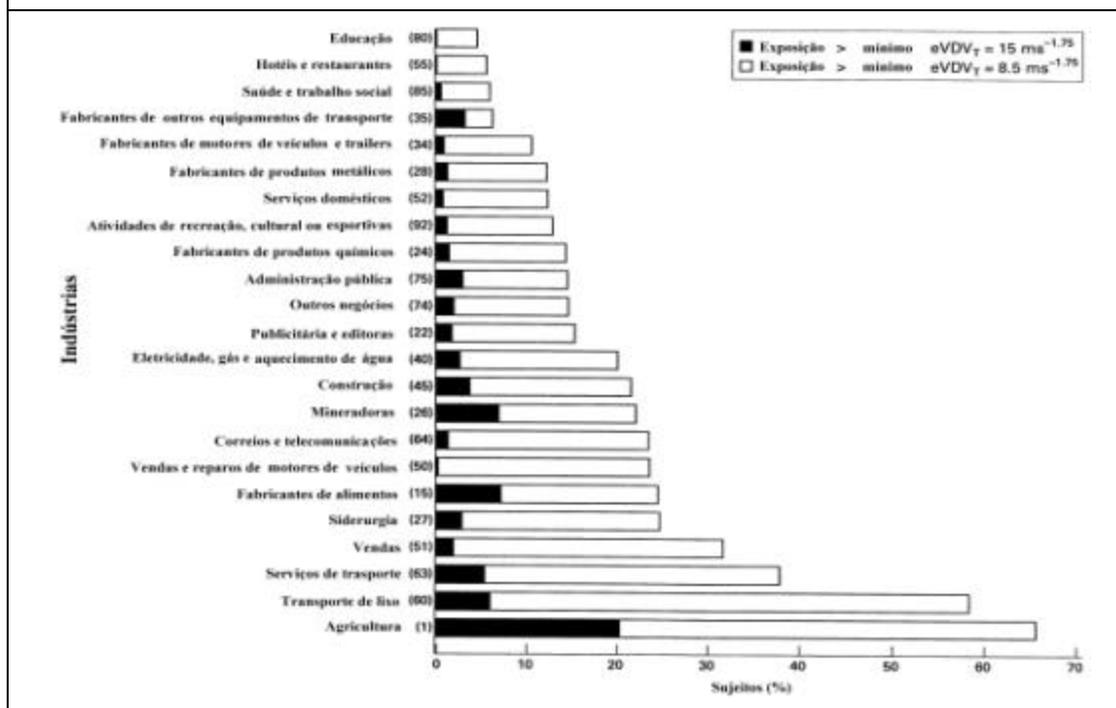


FIGURA 2.12 – Número estimado de pessoas com relação ao mínimo *eVDV*.

FONTE - Palmer *et al.*, 2000b.



(A)



(B)

FIGURA 2.13 – Ocupações (A) e indústrias (B) com exposição significativa à vibração na Grã-Bretanha.

FONTE - Palmer *et al.*, 2000b.

TABELA 2.9 – Acelerações  $a_{wz}$  estimadas para os veículos/máquinas envolvidos na pesquisa.

<i>Veículo/máquina</i>	<i>Aceleração vertical: <math>a_{wz}</math> (<math>m/s^2</math>)</i>
Carro	0,5
Van	0,7
Ônibus	0,6
Trem	0,5
Motocicleta	1,0
Máquina de produção de concreto	1,5
Trator	0,75
Escavadeira	0,6
Veículo fora de estrada	0,75
Caminhão	0,9
Helicóptero	0,8
Aircraft	0,5
Lanchas de alta velocidade	1,5
Bicicleta	1,0
Ambulância	0,7
Botes	0,2
Carro/van fora de estrada	1,5

FONTE - Palmer *et al.*, 2000b.

## 2.4 Trabalhos sobre medição e avaliação da exposição à vibração no corpo humano

### 2.4.1 Medição e avaliação dos níveis de vibração em veículos

Hansson *et al.* (1981) avaliaram os efeitos da exposição à vibração em 42 motoristas de máquinas usadas no transporte de árvores (Figura 2.14). Concluíram que os níveis mais altos de vibração foram encontrados na faixa de frequência de 0,6 a 6,3Hz, durante o uso das máquinas em estradas de chão (Figura 2.15).



FIGURA 2.14 – Máquina de uso freqüente no transporte de árvores nos países europeus.

FONTE - Hansson *et al.*, 1981.

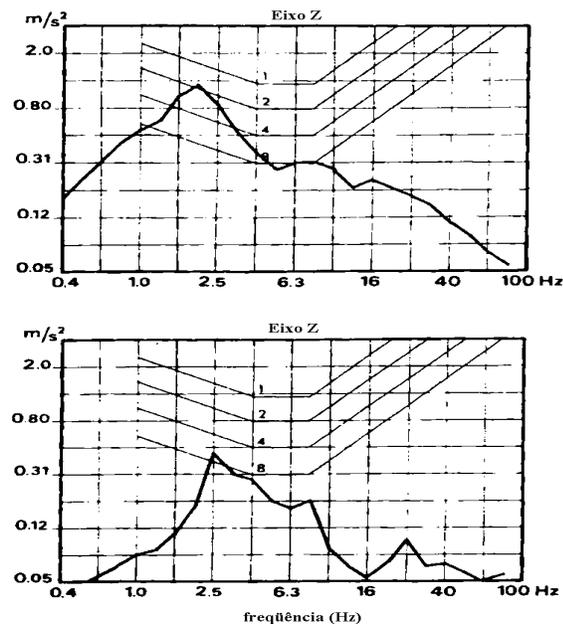


FIGURA 2.15 – Alguns resultados comparados aos limites definidos pela norma ISO 2631.

FONTE - Hansson *et al.*, 1981.

De acordo com Mansfield *et al.* (2000), as magnitudes das vibrações, em veículos de trabalho, variam de 0,25 a 2,5  $m/s^2$  r.m.s., dependendo do veículo, superfície e velocidade. Sorainen *et al.* (1999) desenvolveram um trabalho experimental para verificar se os níveis de vibração a que estão sujeitos os condutores de trens a diesel e elétricos do oeste da Finlândia ultrapassam os níveis da ISO 2631. O parâmetro utilizado para determinar os níveis de vibração foi a aceleração r.m.s. que foi medida simultaneamente ao longo de três eixos perpendiculares (direções x, y e z da ISO 2631) na base do banco e no piso das locomotivas. O acelerômetro tri-axial B&K 4321 (da *Bruel & Kjaer*) foi utilizado para as medições no piso das locomotivas e fixado com fitas adesivas. O acelerômetro tri-axial B&K 4322 foi utilizado no assento do banco, conforme mostrado nas Figura 2.16. As vibrações das locomotivas ficaram próximas ao limite de 8 horas fornecido pela ISO 2631 (1985), com relação à fadiga, na faixa de frequência de 1,6 a 2 Hz e, se fossem excedidos estes limites, um risco significativo poderia ocorrer prejudicando a eficiência do trabalho (Figura 2.17). Determinaram também que a vibração é ocasionada principalmente pelas propriedades do trajeto, das rodas e pelo conjunto de molas das locomotivas.

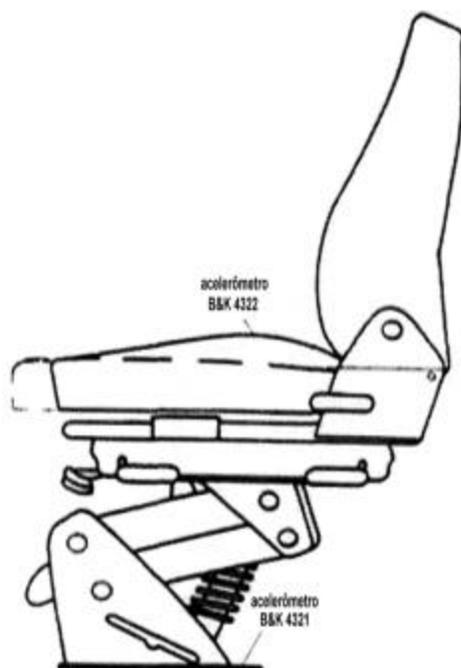


FIGURA 2.16 – Localização dos acelerômetros no trabalho sobre exposição à vibração em operadores de locomotivas na Finlândia.  
 FONTE - Sorainen *et al.*, 1999.

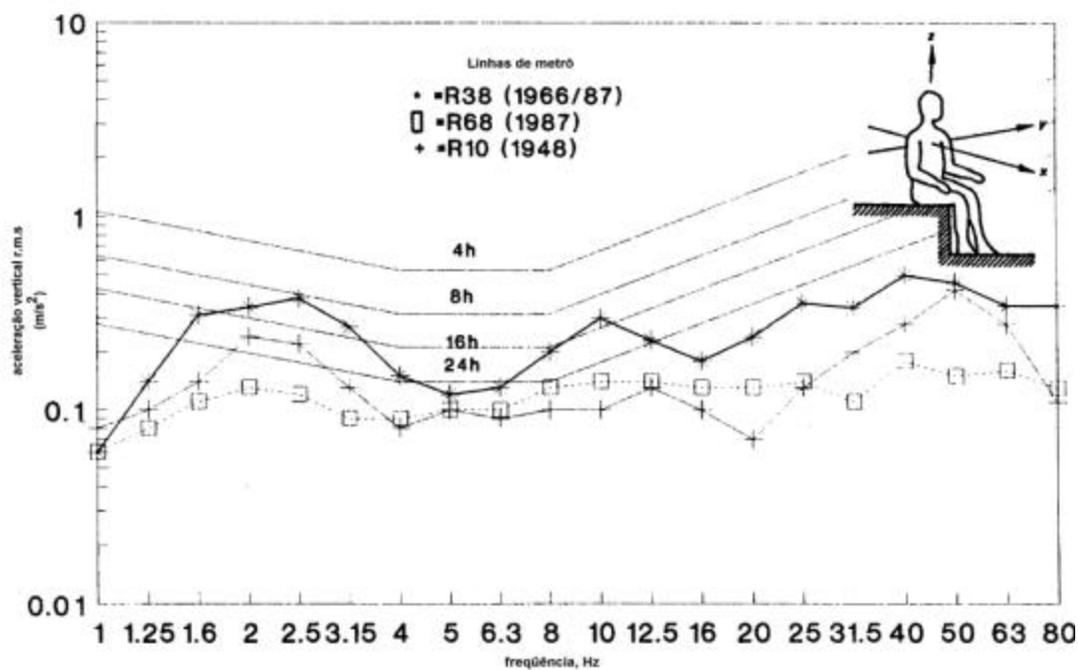


FIGURA 2.17 – Aceleração vertical comparada aos limites definidos pela ISO 2631.  
 FONTE - Sorainen *et al.*, 1999.

Johanning *et al.* (1991b) estudaram o alto índice de problemas nas costas apresentado em operadores dos metrô da cidade de Nova York. Segundo o *Bureau of Labor Statistics* (*apud* Johanning *et al.*, 1991b), um milhão de trabalhadores sofrem, anualmente, de problemas relacionados às costas nos Estados Unidos da América em 1987 (o que representa 20% de todos os problemas de saúde ocupacionais). Em 1974, o *National Institute for Occupational Safety and Health* (*apud* Johanning *et al.*, 1991b) estimou que 8 milhões de trabalhadores, ou 9% da força de trabalho nos Estados Unidos foi exposta a vibração, 80% deste total à vibração no corpo humano. Concluíram que o grande desconforto e, em particular, os problemas das dores nas costas em operadores do metrô, parecem estar relacionados a pobre ergonomia dos metrô, dos bancos e a alta exposição à vibração. Em média, os níveis da vibração vertical estão acima do limites de 8 horas recomendados pela ISO 2631 (1985) e segundo os autores, a exposição não deve ultrapassar 3 horas e 44 minutos.

Hoy *et al.* (2000) desenvolveram um trabalho para verificar os níveis de vibrações em caminhões, pois segundo os autores, na Europa, de 10 a 15% de todas as enfermidades estão relacionadas às dores nas costas e existe uma relação significativa entre a vibração e estas dores. Realizaram ensaios com 14 motoristas do sexo masculino (média de idade de 44,7 anos) que apresentaram os seguintes resultados apresentados na Tabela 2.10.

TABELA 2.10 – Acelerações em caminhões.

Parâmetro	Eixo-z (ISO 2631)
Aceleração média	0,32 a 0,73 m/s <sup>2</sup>
Aceleração de pico	1,24 a 24,46 m/s <sup>2</sup>
VDV	23,91 a 44,87 m/s <sup>1,75</sup>

FONTE – Hoy *et al.*, 2000.

Tripepi *et al.* (2000) registraram que as vibrações na faixa de frequência de 2 a 80Hz, são transmitidas ao corpo humano como fonte potencial de risco para a saúde em pilotos de locomotivas. Desenvolveram um estudo com 106 pilotos de locomotivas na Itália e obtiveram os resultados apresentados na Tabela 2.11.

TABELA 2.11 – Acelerações relacionadas as velocidades das locomotivas.

Velocidade (km/h)	Aceleração ( $m/s^2$ )
12	0,25
20	0,32
30	0,28

FONTE – Tripepi *et al.*, 2000.

Hulshof *et al.* (2000), avaliaram diversos serviços de saúde europeus com relação à vibração e as dores nas costas. Verificaram que a vibração é considerada uma doença ocupacional e que determinados países estabeleceram limites, como por exemplo, a Bélgica em 1978, Alemanha em 1997, Holanda em 1997 e França em 1999. A Tabela 2.12 apresenta alguns dos critérios considerados para estabelecer a vibração como doença ocupacional que mereça insalubridade.

TABELA 2.12 – Critérios para vibração ser considerada doença do trabalho.

<b><i>País</i></b>	<b><i>Critério de diagnóstico</i></b>	<b><i>Critério de exposição</i></b>
Bélgica	Dores nas costas e sinais clínicos. Sinais radiológicos de degeneração	Duração > 5 anos Intensidade > $0,63 m/s^2$ ( $a_{wz8h}$ )
Alemanha	Dores nas costas, síndromes invertebrais e sinais radiológicos	Duração > 10 anos Intensidade > $0,8 m/s^2$
Holanda	Dores nas costas	Duração e intensidade: > 5 anos - $0,5 m/s^2$ > 2,5 anos - $0,7 m/s^2$ > 1 ano - $1 m/s^2$
França	Dor ciática com hérnia de disco	Duração > 5 anos

FONTE – Hulshof *et al.*, 2000.

Mehta *et al.* (2000) desenvolveram um trabalho para verificar os níveis de vibrações em tratores na Índia. Segundo os autores, a Índia é um grande fabricante de tratores e os motoristas destes veículos estão expostos a diversas desordens da coluna vertebral causados pela vibração. A Figura 2.18 apresenta as acelerações médias relacionadas aos limites definidos pela norma ISO 2631 que demonstram que os níveis de aceleração excedem os limites definidos para 4 horas e 8 horas.

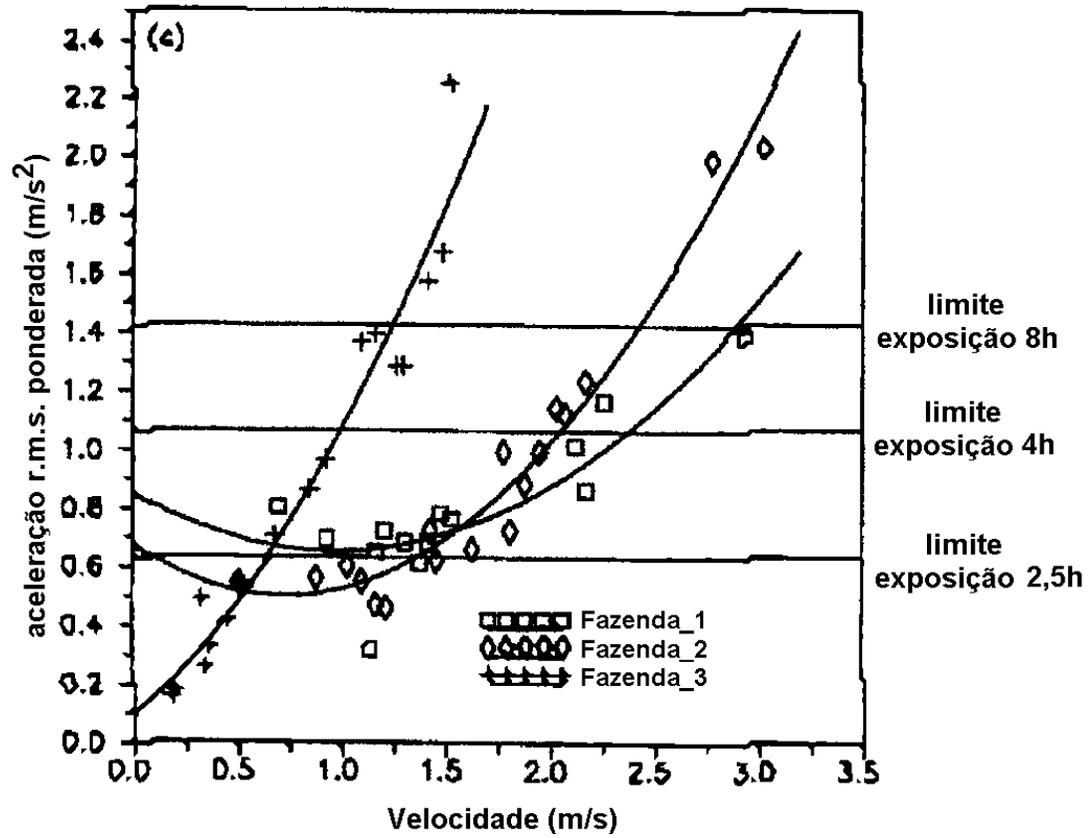


FIGURA 2.18 – Variação dos níveis de aceleração com relação a velocidade do trator.

FONTE - Mehta *et al.*, 2000.

## 2.4.2 Biodinâmica do corpo humano: uma introdução

### 2.4.2.1 Transmissibilidade da vibração e a coluna vertebral

Dor nas costas é um termo usado para relacionar a dor na coluna cervical, torácica e lombar que não está relacionada a infecções, tumores, doenças sistêmicas, fraturas. De acordo com White *et al.* (1990) a dor na espinha aumenta em motoristas expostos a mais de 3 horas por dia a equipamentos que vibram. Os autores elaboraram a Tabela 2.13 que relaciona fatores epidemiológicos com as dores nas costas.

TABELA 2.13 – Relação de certos fatores epidemiológicos as dores nas costas.

<i>Fatores</i>	<i>Riscos</i>
Bem estabelecidos	Veículos a motor, especialmente caminhões Cigarros (fumantes crônicos) Ocupações que mantém postura inalterada
Sugestivos mas não provados	Ocupações <i>stressantes</i> Ocupações sedentárias Discrepância no comprimento das pernas
Não relacionados	<i>Baseball</i> , golfe e tênis Natação e ciclismo Altura e peso

FONTE – White *et al.*, 1990.

Compreender como a vibração é transmitida ao corpo humano é um pré-requisito para entender completamente como a vibração influencia no conforto humano, no desempenho das atividades ocupacionais e na saúde. A medição da resposta dinâmica do corpo humano pode ser obtida por dois tipos de funções de transferência<sup>3</sup>: a impedância mecânica e a transmissibilidade. Porém, para determinar uma função de transferência usando os métodos da

<sup>3</sup> “**Funções de transferência** são comumente usadas para caracterizar as relações de entrada-saída de componentes ou sistemas. A função de transferência é uma propriedade de um sistema em si; no entanto, não fornece qualquer informação concernente à estrutura física do sistema. Porém, se a função de transferência de um sistema for conhecida, a saída ou resposta pode ser estudada para várias formas de entradas com vistas ao entendimento da natureza do sistema. A função de transferência fornece uma descrição completa das características dinâmicas do sistema, distintas de sua descrição física”. Engenharia de Controle Moderno - Katsuhiko Ogata, 1993.

impedância mecânica e da transmissibilidade, assume-se que o corpo humano tem um comportamento linear (Griffin, 1990). Segundo a norma ISO 7962 (1987) a transmissibilidade do corpo humano é uma função de três fatores principais: a postura da pessoa, a direção de entrada da vibração e as características físicas da pessoa. De acordo com a norma, a faixa de frequência de interesse na transmissibilidade é a de 0,5 a 31,5Hz e o corpo humano, nesta faixa de frequência, pode ser aproximado pela linearidade.

Alguns aparatos foram desenvolvidos para permitir a monitoração da transmissibilidade entre a cabeça e o assento, conforme exemplifica a Figura 2.19. Este aparato recebeu o nome de *bit-bar*<sup>4</sup>, e é suportado pelo maxilar utilizando seis acelerômetros para medir em seis eixos (incluindo três rotacionais). Segundo Griffin e Paddan (*apud* Griffin, 1990), não deve pesar mais do que 350g para não ocasionar grandes variações nas medidas.

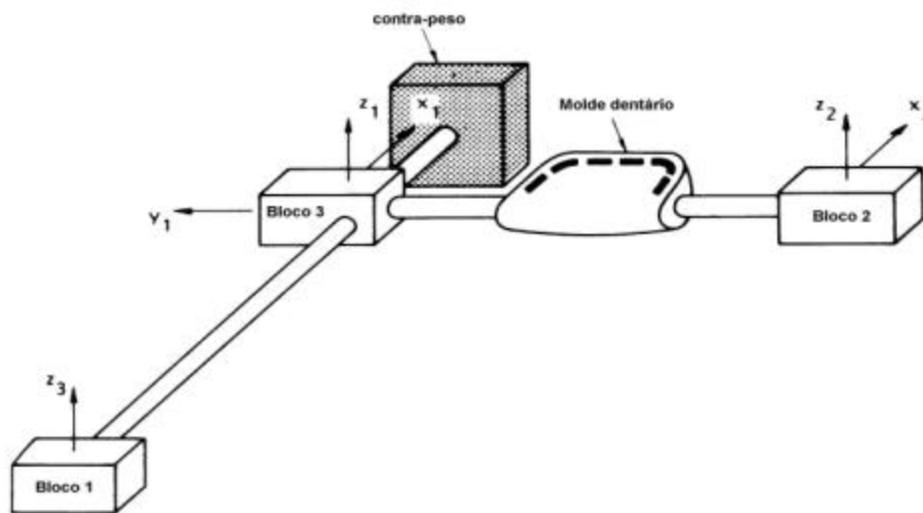


FIGURA 2.19 – Aparato denominado de *bit-bar* usado para a obtenção da transmissibilidade envolvendo a cabeça.

FONTE – Paddan e Griffin, 1988 (*apud* Griffin, 1990).

<sup>4</sup> Nota do autor: a experiência no estudo da região mandibular demonstra que a colocação de um aparato como o *bit-bar* altera a oclusão dentária e os músculos desta região, sendo assim, a transmissibilidade é possivelmente alterada.

A Figura 2.20, mostra alguns dados obtidos sobre a transmissibilidade, em estudos anteriores, em pessoas expostas à vibração vertical (Chaffin *et al.*, 1999). Percebe-se que nas pessoas em pé, a primeira ressonância ocorre no quadril, ombros e cabeça ao redor de 5Hz.

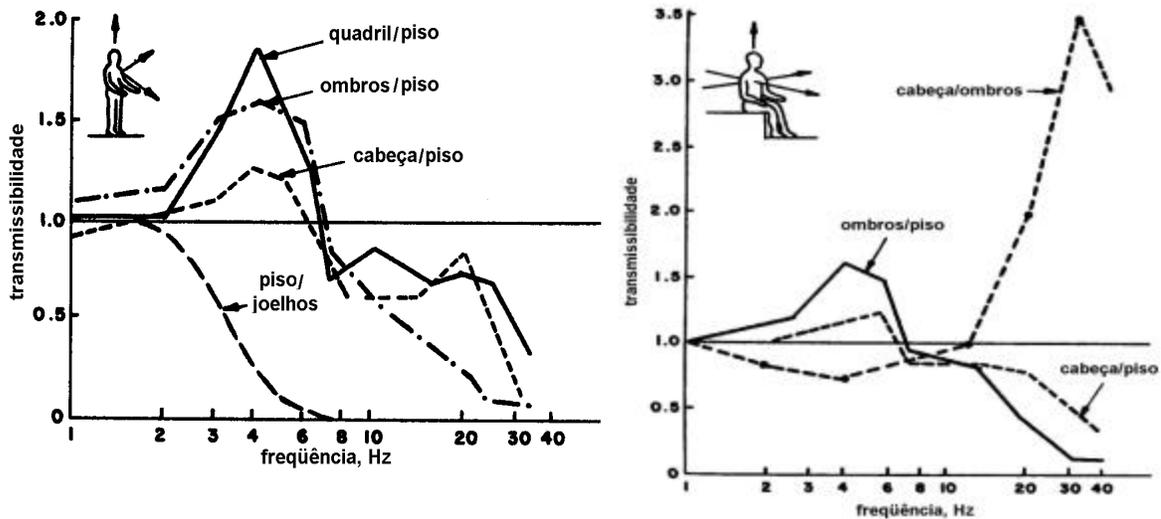


FIGURA 2.20 – Curvas de transmissibilidade para diversas partes do corpo humano.

FONTE – Chaffin *et al.*, 1999.

Panjabi *et al.* (1986) utilizaram um processo invasivo para medir a resposta da coluna vertebral às vibrações senoidais nos eixos z e x (ISO 2631) em 5 pessoas sentadas. Neste trabalho, duas amplitudes de aceleração foram usadas,  $1\text{m/s}^2$  e  $3\text{m/s}^2$ , com frequências na faixa de 2 a 15Hz. Três acelerômetros uni-axiais (Endevco, modelo 7265) foram fixados no transdutor inserido na coluna, conforme mostrado na Figura 2.21, que apresenta um esboço e uma fotografia do ensaio. Um típico resultado de um dos ensaios realizados está representado na Figura 2.22, relacionando a amplitude r.m.s. da coluna vertebral e do assento, ou seja, a transmissibilidade entre a espinha e o assento para a direção vertical e horizontal.

Os autores (Panjabi *et al.*, 1986) concluíram que a transmissibilidade foi maior na faixa de 4 a 5 Hz, e que muitos dos veículos a motor apresentam frequências nesta particular faixa e, portanto, é uma fonte potencial de risco à coluna vertebral.

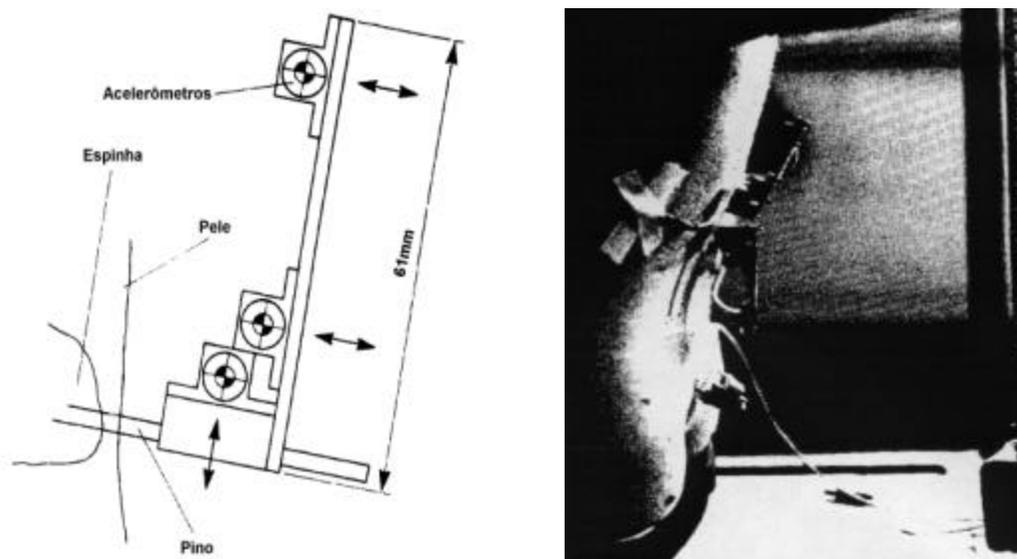


FIGURA 2.21 – Esboço e fotografia do experimento desenvolvido para medir a resposta da espinha à vibração senoidal.  
 FONTE - Panjabi *et al.*, 1986.

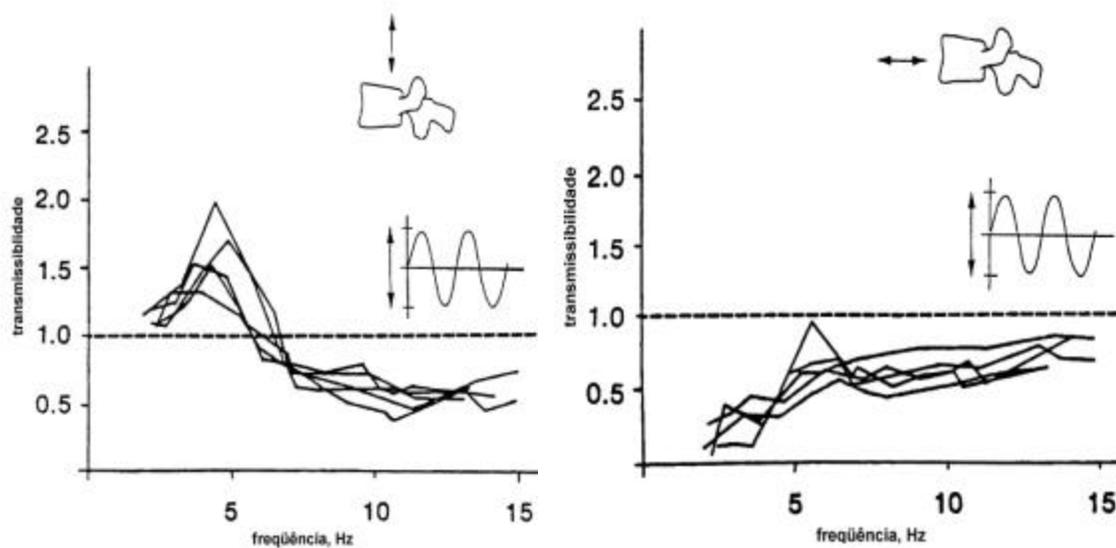


FIGURA 2.22 – Transmissibilidade entre a coluna e o assento.  
 FONTE - Panjabi *et al.*, 1986.

Pope *et al.* (1986), desenvolveram um trabalho similar a Panjabi *et al.* (1986), para estudar a transmissibilidade da vibração entre a espinha e a base do banco. Uma mulher participou deste experimento (31 anos de idade, 65kg e altura de 1,73cm) e, após ser anestesiada, foi inserido um eixo de 2,4 mm de diâmetro na vértebra L3 (processo lombar L3) no qual foi fixado na sua base um acelerômetro uni-axial (Figura 2.23a). A Figura 2.23b mostra a transmissibilidade obtida entre a vértebra L3 e o assento para a exposição à vibração vertical de 2g (19,62 m/s<sup>2</sup>) nas frequências de 2, 4, 5 e 7Hz para duas posturas diferentes. Verificaram que a maior transmissibilidade está na faixa de 4Hz em ambas as posições: relaxada e ereta. Segundo Pope *et al.* (1987), a dor na região das costas ocorre mais frequentemente em motoristas de veículos do que em outros grupos. Para verificar esta afirmação, desenvolveram um trabalho para investigar a resposta da espinha a impactos senoidais. O aparato desenvolvido pode ser verificado na Figura 2.24, e consiste basicamente de uma mola suspendendo uma plataforma e um pêndulo para liberar a energia do impacto. As frequências avaliadas estão na faixa de 2Hz a 30Hz, e a transmissão da aceleração foi medida através de dois acelerômetros Endevco modelo #7265-10 localizados no banco e um na pessoa com o uso do *bit-bar* (Figura 2.19, dez pessoas foram avaliadas).

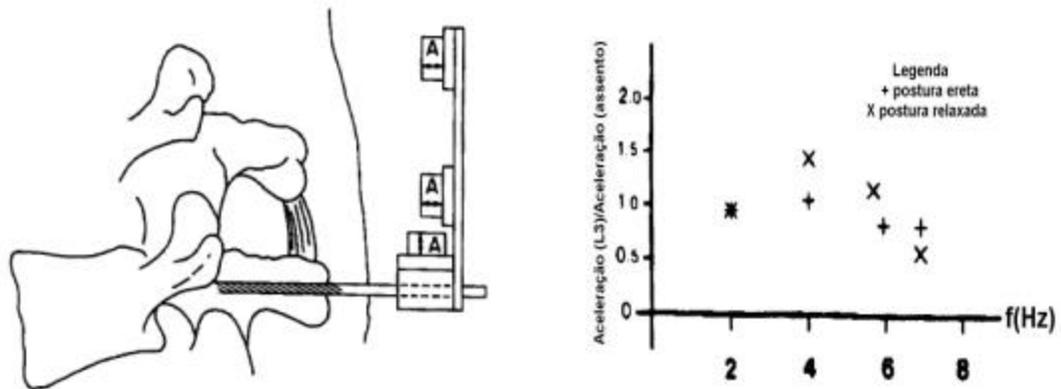


FIGURA 2.23 – (a) Localização do eixo. (b) Transmissibilidade entre a vértebra L3 e o assento.

FONTE - Pope *et al.*, 1986.

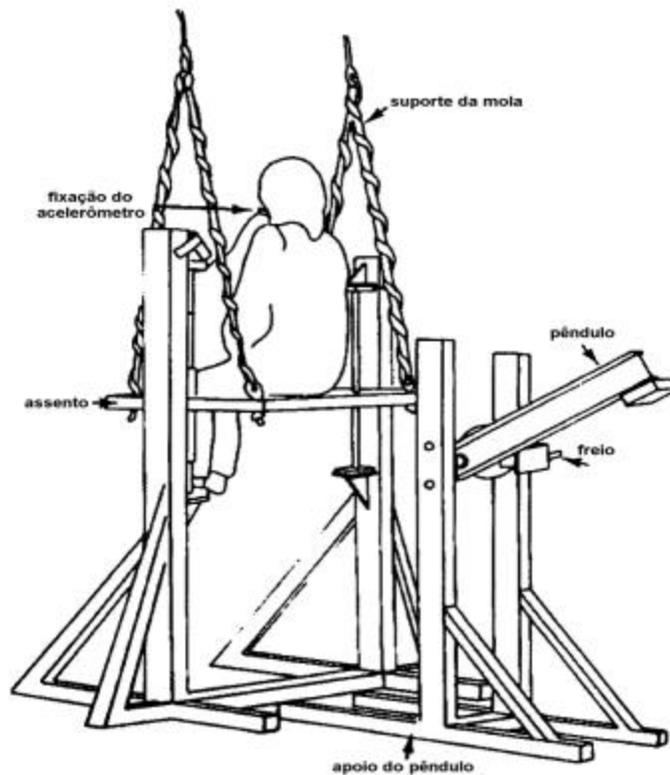


FIGURA 2.24 – Equipamento desenvolvido para estudo do efeito das vibrações na coluna.

FONTE - Pope *et al.*, 1987.

Kelsey *et al.* (1975) encontraram um aumento da incidência de hérnia de disco em pessoas expostas a níveis elevados de vibrações gerados por automóveis e caminhões. Em um estudo anterior, com 3500 pacientes, foi determinado que o aparecimento de dores nas costas são mais comuns em indivíduos expostos à vibração, por exemplo, em motoristas de caminhões e de tratores. Wilder *et al.* (1982), em seu artigo, apresentaram uma avaliação dos níveis de vibração no assento dos motoristas de diferentes veículos (Tabela 2.14).

TABELA 2.14 – Diversas faixas de frequências e acelerações para algumas atividades.

<i>Veículo</i>	<i>Condições da vibração vertical: velocidade do veículo (m/s) e localização</i>	<i>Localização Do acelerômetro **</i>	<i>Número de veículos no estudo</i>	<i>Maior frequência (Hz)</i>	<i>Aceleração na maior frequência (m/s<sup>2</sup>)</i>
trem	26,8	Se	1	6,00	0,88
ônibus	8,9 - estradas locais	Se	7	6,00	3,79
ônibus	8,9 - estradas locais	Bb	8	4,25	1,71
jeep	4,5 – estrada de chão	Se	9	4,50	6,04
motocicleta	15,6 - estradas locais	Se	10	4,00	0,68
trator	6,7 - estrada de chão	Se	13	3,75	4,43
caminhão (concreto)	descarregado - estradas locais	Se	16	7,50	3,68
caminhão (concreto)	descarregado -estrada de chão	Se	17	4,50	1,29
caminhão (concreto)	carregado -estradas locais	Se	18	6,50	3,62
caminhão (concreto)	carregado - estrada de chão	Se	19	5,25	6,34
balsa	convés	Se	24	6,00	4,28
balsa	convés	Bb	25	4,25	6,64
balsa	convés	St	26	4,25	2,05
balsa	convés	Bb	27	6,00	2,23
balsa	casa das máquinas	Se	28	4,75	1,04
balsa	casa das máquinas	St	29	5,25	1,36
lancha	3,1	Se	30	5,25	0,71
lancha	8,9	Se	31	3,50	1,82
lancha	13,4	Se	32	5,50	1,26

\*\*Se: acelerômetro colocado entre o assento e a nádega, St: acelerômetro colocado entre os pés e o piso, Bb: acelerômetro colocado no suporte mantido pelos dentes (*bit-bar*).

FONTE - Wilder *et al.*, 1982.

Wilder *et al.* (1982) utilizaram uma mesa vibratória, conforme mostrado na Figura 2.25, para recriar um ambiente no laboratório similar ao da indústria. O dispositivo foi desenvolvido para gerar uma vibração senoidal de até 30Hz, em qualquer uma das três direções da ISO 2631-1 (eixos z, x e y), para estudar a transmissibilidade das pessoas. A aceleração foi medida na base da plataforma, através de acelerômetros, e na cabeça usando um acelerômetro similar rigidamente montado em um capacete. A Tabela 2.15 apresenta os resultados obtidos para homens e mulheres (diferenças sem significado estatístico).

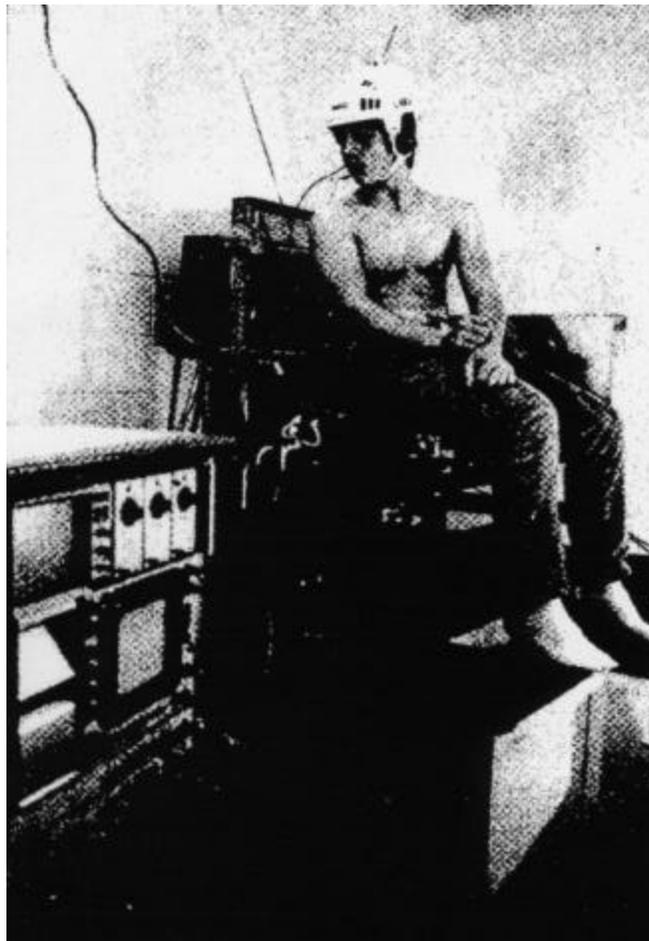


FIGURA 2.25 – Mesa vibratória.

FONTE - Wilder *et al.*, 1982.

TABELA 2.15 – Freqüências de ressonância.

<i>Freqüências de ressonância</i>	<i>Homens</i>		<i>Mulheres</i>	
	média (Hz)	d.p.(Hz) *	média (Hz)	d.p.(Hz) *
primeira	4,90	0,24	4,75	0,30
segunda	9,50	0,70	9,50	1,90
terceira	12,70	1,70	12,70	1,70

\*Desvio padrão.

FONTE - Wilder *et al.*, 1982.

Para cada uma das frequências de ressonância, da Tabela 2.15, a transmissibilidade foi determinada (a razão da aceleração medida no capacete pela aceleração obtida no assento da mesa vibratória) e cujos valores são apresentados na Tabela 2.16.

TABELA 2.16 – Transmissibilidade (aceleração no capacete/aceleração no assento).

<b><i>Frequências de ressonância</i></b>	<b><i>Homens</i></b>		<b><i>Mulheres</i></b>	
	média (Hz)	d.p.(Hz) *	média (Hz)	d.p.(Hz) *
primeira	1,79	0,23	1,62	0,20
segunda	0,69	0,20	0,66	0,20
terceira	0,59	0,10	0,59	0,10

\*Desvio padrão.

FONTE - Wilder *et al.*, 1982.

Em estudos anteriores, a exposição à vibração no assento dos operadores de diferentes tipos de veículos foi avaliada (Tabela 2.14) e verificou-se que a frequência dominante está na faixa de 3 a 6,0 Hz (esses indivíduos estão colocando sua espinha em risco). Essas observações, segundo os autores, podem explicar dados epidemiológicos que apresentam um aumento do problema de hérnia de disco ou na região, observado em motoristas profissionais. Similarmente, Wilder *et al.* (1982) observaram um aumento da incidência das dores nas costas (aumento da severidade dos sintomas) em sujeitos que usavam excessivamente seus veículos.

## 2.4 Trabalhos sobre medição e avaliação da exposição à vibração no corpo humano

### 2.4.1 Medição e avaliação dos níveis de vibração em veículos

Hansson *et al.* (1981) avaliaram os efeitos da exposição à vibração em 42 motoristas de máquinas usadas no transporte de árvores (Figura 2.14). Concluíram que os níveis mais altos de vibração foram encontrados na faixa de frequência de 0,6 a 6,3Hz, durante o uso das máquinas em estradas de chão (Figura 2.15).



FIGURA 2.14 – Máquina de uso freqüente no transporte de árvores nos países europeus.

FONTE - Hansson *et al.*, 1981.

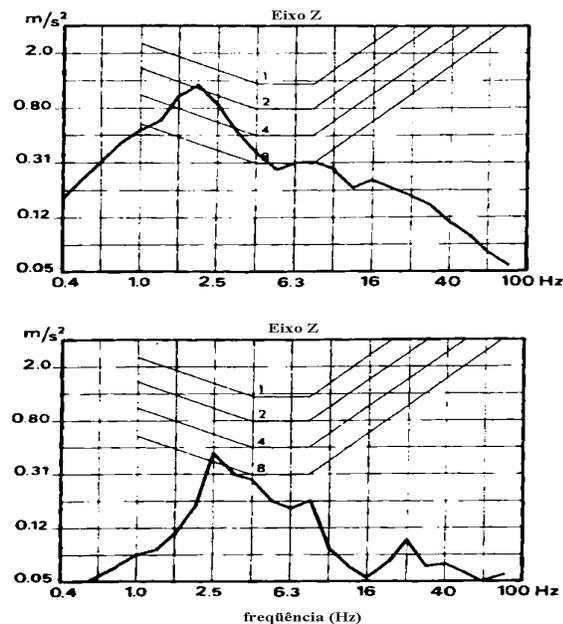


FIGURA 2.15 – Alguns resultados comparados aos limites definidos pela norma ISO 2631.

FONTE - Hansson *et al.*, 1981.

De acordo com Mansfield *et al.* (2000), as magnitudes das vibrações, em veículos de trabalho, variam de 0,25 a 2,5m/s<sup>2</sup> r.m.s., dependendo do veículo, superfície e velocidade. Sorainen *et al.* (1999) desenvolveram um trabalho experimental para verificar se os níveis de vibração a que estão sujeitos os condutores de trens a diesel e elétricos do oeste da Finlândia ultrapassam os níveis da ISO 2631. O parâmetro utilizado para determinar os níveis de vibração foi a aceleração r.m.s. que foi medida simultaneamente ao longo de três eixos perpendiculares (direções x, y e z da ISO 2631) na base do banco e no piso das locomotivas. O acelerômetro tri-axial B&K 4321 (da *Bruel & Kjaer*) foi utilizado para as medições no piso das locomotivas e fixado com fitas adesivas. O acelerômetro tri-axial B&K 4322 foi utilizado no assento do banco, conforme mostrado nas Figura 2.16. As vibrações das locomotivas ficaram próximas ao limite de 8 horas fornecido pela ISO 2631 (1985), com relação à fadiga, na faixa de frequência de 1,6 a 2 Hz e, se fossem excedidos estes limites, um risco significativo poderia ocorrer prejudicando a eficiência do trabalho (Figura 2.17). Determinaram também que a vibração é ocasionada principalmente pelas propriedades do trajeto, das rodas e pelo conjunto de molas das locomotivas.

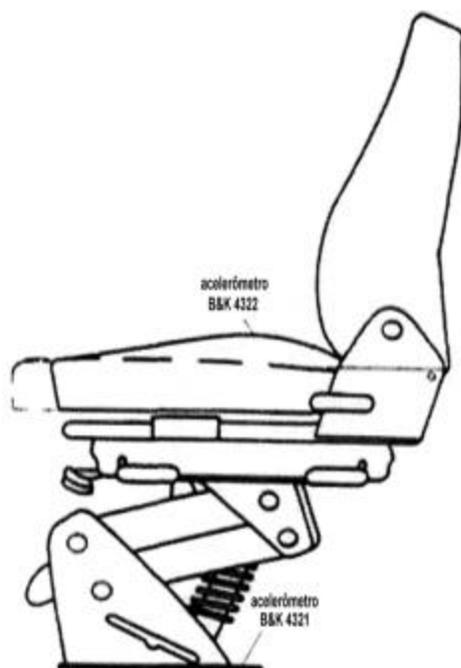


FIGURA 2.16 – Localização dos acelerômetros no trabalho sobre exposição à vibração em operadores de locomotivas na Finlândia.  
 FONTE - Sorainen *et al.*, 1999.

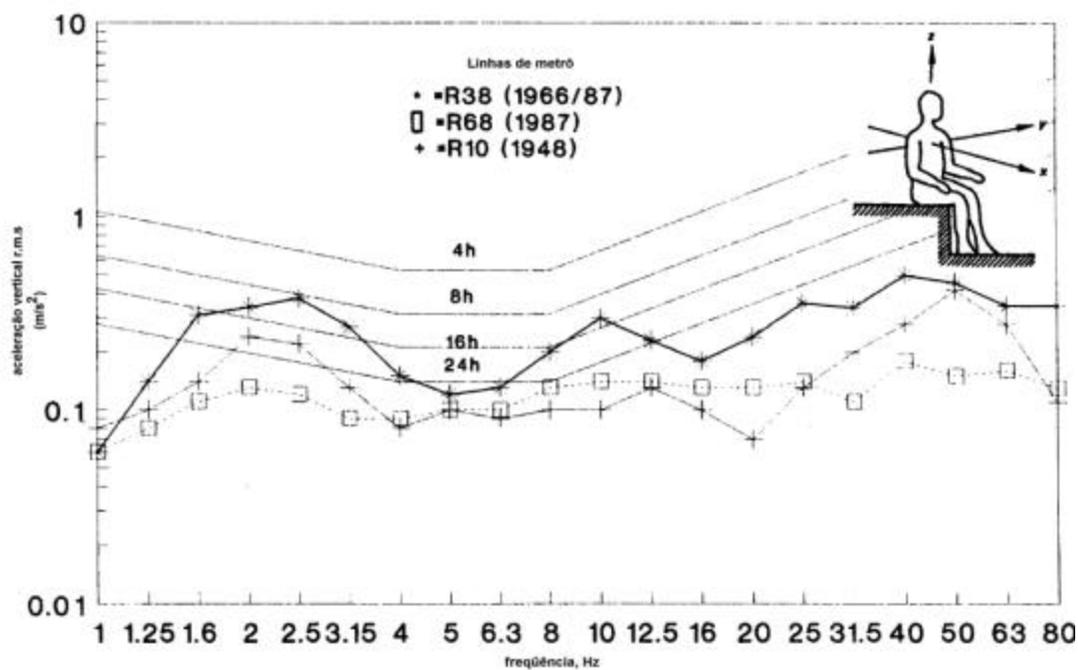


FIGURA 2.17 – Aceleração vertical comparada aos limites definidos pela ISO 2631.  
 FONTE - Sorainen *et al.*, 1999.

Johanning *et al.* (1991b) estudaram o alto índice de problemas nas costas apresentado em operadores dos metrô da cidade de Nova York. Segundo o *Bureau of Labor Statistics* (*apud* Johanning *et al.*, 1991b), um milhão de trabalhadores sofrem, anualmente, de problemas relacionados às costas nos Estados Unidos da América em 1987 (o que representa 20% de todos os problemas de saúde ocupacionais). Em 1974, o *National Institute for Occupational Safety and Health* (*apud* Johanning *et al.*, 1991b) estimou que 8 milhões de trabalhadores, ou 9% da força de trabalho nos Estados Unidos foi exposta a vibração, 80% deste total à vibração no corpo humano. Concluíram que o grande desconforto e, em particular, os problemas das dores nas costas em operadores do metrô, parecem estar relacionados a pobre ergonomia dos metrô, dos bancos e a alta exposição à vibração. Em média, os níveis da vibração vertical estão acima do limites de 8 horas recomendados pela ISO 2631 (1985) e segundo os autores, a exposição não deve ultrapassar 3 horas e 44 minutos.

Hoy *et al.* (2000) desenvolveram um trabalho para verificar os níveis de vibrações em caminhões, pois segundo os autores, na Europa, de 10 a 15% de todas as enfermidades estão relacionadas às dores nas costas e existe uma relação significativa entre a vibração e estas dores. Realizaram ensaios com 14 motoristas do sexo masculino (média de idade de 44,7 anos) que apresentaram os seguintes resultados apresentados na Tabela 2.10.

TABELA 2.10 – Acelerações em caminhões.

Parâmetro	Eixo-z (ISO 2631)
Aceleração média	0,32 a 0,73 m/s <sup>2</sup>
Aceleração de pico	1,24 a 24,46 m/s <sup>2</sup>
VDV	23,91 a 44,87 m/s <sup>1,75</sup>

FONTE – Hoy *et al.*, 2000.

Tripepi *et al.* (2000) registraram que as vibrações na faixa de frequência de 2 a 80Hz, são transmitidas ao corpo humano como fonte potencial de risco para a saúde em pilotos de locomotivas. Desenvolveram um estudo com 106 pilotos de locomotivas na Itália e obtiveram os resultados apresentados na Tabela 2.11.

TABELA 2.11 – Acelerações relacionadas as velocidades das locomotivas.

Velocidade (km/h)	Aceleração ( $m/s^2$ )
12	0,25
20	0,32
30	0,28

FONTE – Tripepi *et al.*, 2000.

Hulshof *et al.* (2000), avaliaram diversos serviços de saúde europeus com relação à vibração e as dores nas costas. Verificaram que a vibração é considerada uma doença ocupacional e que determinados países estabeleceram limites, como por exemplo, a Bélgica em 1978, Alemanha em 1997, Holanda em 1997 e França em 1999. A Tabela 2.12 apresenta alguns dos critérios considerados para estabelecer a vibração como doença ocupacional que mereça insalubridade.

TABELA 2.12 – Critérios para vibração ser considerada doença do trabalho.

<i>País</i>	<i>Critério de diagnóstico</i>	<i>Critério de exposição</i>
Bélgica	Dores nas costas e sinais clínicos. Sinais radiológicos de degeneração	Duração > 5 anos Intensidade > $0,63 m/s^2$ ( $a_{wz8h}$ )
Alemanha	Dores nas costas, síndromes invertebrais e sinais radiológicos	Duração > 10 anos Intensidade > $0,8 m/s^2$
Holanda	Dores nas costas	Duração e intensidade: > 5 anos - $0,5 m/s^2$ > 2,5 anos - $0,7 m/s^2$ > 1 ano - $1 m/s^2$
França	Dor ciática com hérnia de disco	Duração > 5 anos

FONTE – Hulshof *et al.*, 2000.

Mehta *et al.* (2000) desenvolveram um trabalho para verificar os níveis de vibrações em tratores na Índia. Segundo os autores, a Índia é um grande fabricante de tratores e os motoristas destes veículos estão expostos a diversas desordens da coluna vertebral causados pela vibração. A Figura 2.18 apresenta as acelerações médias relacionadas aos limites definidos pela norma ISO 2631 que demonstram que os níveis de aceleração excedem os limites definidos para 4 horas e 8 horas.

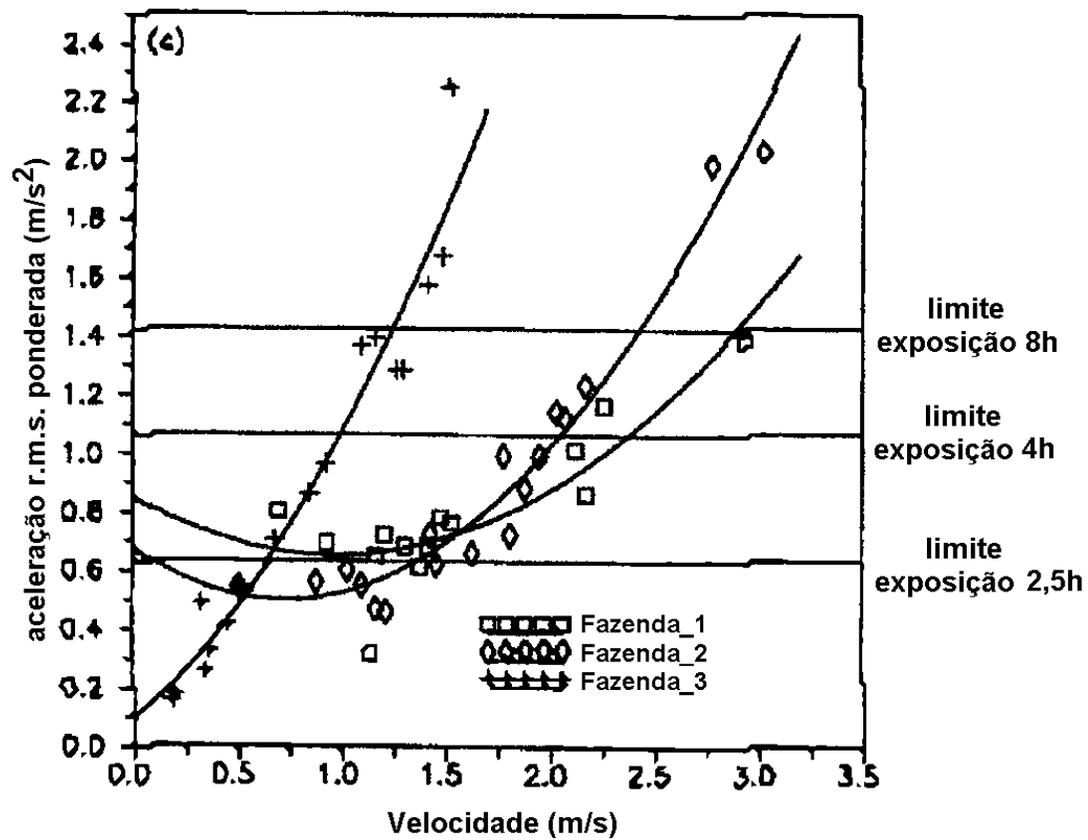


FIGURA 2.18 – Variação dos níveis de aceleração com relação a velocidade do trator.

FONTE - Mehta *et al.*, 2000.

## 2.4.2 Biodinâmica do corpo humano: uma introdução

### 2.4.2.1 Transmissibilidade da vibração e a coluna vertebral

Dor nas costas é um termo usado para relacionar a dor na coluna cervical, torácica e lombar que não está relacionada a infecções, tumores, doenças sistêmicas, fraturas. De acordo com White *et al.* (1990) a dor na espinha aumenta em motoristas expostos a mais de 3 horas por dia a equipamentos que vibram. Os autores elaboraram a Tabela 2.13 que relaciona fatores epidemiológicos com as dores nas costas.

TABELA 2.13 – Relação de certos fatores epidemiológicos as dores nas costas.

<i>Fatores</i>	<i>Riscos</i>
Bem estabelecidos	Veículos a motor, especialmente caminhões Cigarros (fumantes crônicos) Ocupações que mantém postura inalterada
Sugestivos mas não provados	Ocupações <i>stressantes</i> Ocupações sedentárias Discrepância no comprimento das pernas
Não relacionados	<i>Baseball</i> , golfe e tênis Natação e ciclismo Altura e peso

FONTE – White *et al.*, 1990.

Compreender como a vibração é transmitida ao corpo humano é um pré-requisito para entender completamente como a vibração influencia no conforto humano, no desempenho das atividades ocupacionais e na saúde. A medição da resposta dinâmica do corpo humano pode ser obtida por dois tipos de funções de transferência<sup>3</sup>: a impedância mecânica e a transmissibilidade. Porém, para determinar uma função de transferência usando os métodos da

<sup>3</sup> “*Funções de transferência* são comumente usadas para caracterizar as relações de entrada-saída de componentes ou sistemas. A função de transferência é uma propriedade de um sistema em si; no entanto, não fornece qualquer informação concernente à estrutura física do sistema. Porém, se a função de transferência de um sistema for conhecida, a saída ou resposta pode ser estudada para várias formas de entradas com vistas ao entendimento da natureza do sistema. A função de transferência fornece uma descrição completa das características dinâmicas do sistema, distintas de sua descrição física”. Engenharia de Controle Moderno - Katsuhiko Ogata, 1993.

impedância mecânica e da transmissibilidade, assume-se que o corpo humano tem um comportamento linear (Griffin, 1990). Segundo a norma ISO 7962 (1987) a transmissibilidade do corpo humano é uma função de três fatores principais: a postura da pessoa, a direção de entrada da vibração e as características físicas da pessoa. De acordo com a norma, a faixa de frequência de interesse na transmissibilidade é a de 0,5 a 31,5Hz e o corpo humano, nesta faixa de frequência, pode ser aproximado pela linearidade.

Alguns aparatos foram desenvolvidos para permitir a monitoração da transmissibilidade entre a cabeça e o assento, conforme exemplifica a Figura 2.19. Este aparato recebeu o nome de *bit-bar*<sup>4</sup>, e é suportado pelo maxilar utilizando seis acelerômetros para medir em seis eixos (incluindo três rotacionais). Segundo Griffin e Paddan (*apud* Griffin, 1990), não deve pesar mais do que 350g para não ocasionar grandes variações nas medidas.

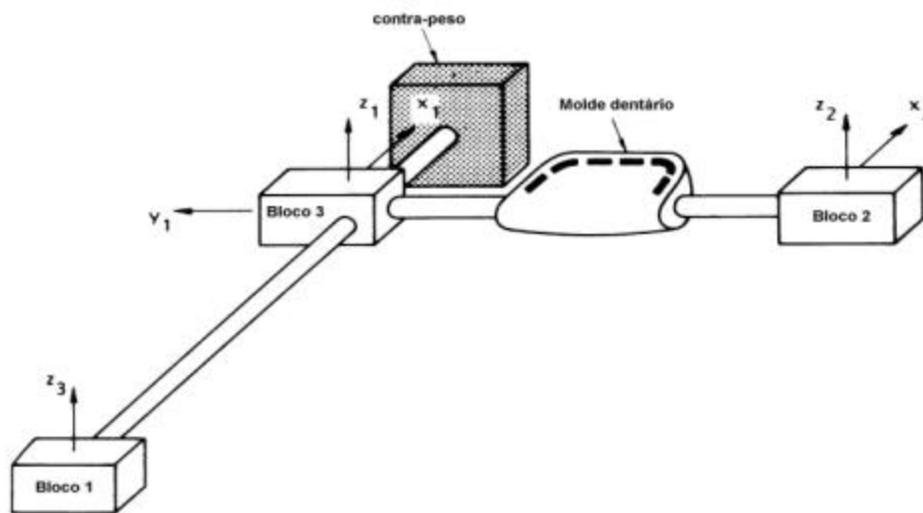


FIGURA 2.19 – Aparato denominado de *bit-bar* usado para a obtenção da transmissibilidade envolvendo a cabeça.

FONTE – Paddan e Griffin, 1988 (*apud* Griffin, 1990).

<sup>4</sup> Nota do autor: a experiência no estudo da região mandibular demonstra que a colocação de um aparato como o *bit-bar* altera a oclusão dentária e os músculos desta região, sendo assim, a transmissibilidade é possivelmente alterada.

A Figura 2.20, mostra alguns dados obtidos sobre a transmissibilidade, em estudos anteriores, em pessoas expostas à vibração vertical (Chaffin *et al.*, 1999). Percebe-se que nas pessoas em pé, a primeira ressonância ocorre no quadril, ombros e cabeça ao redor de 5Hz.

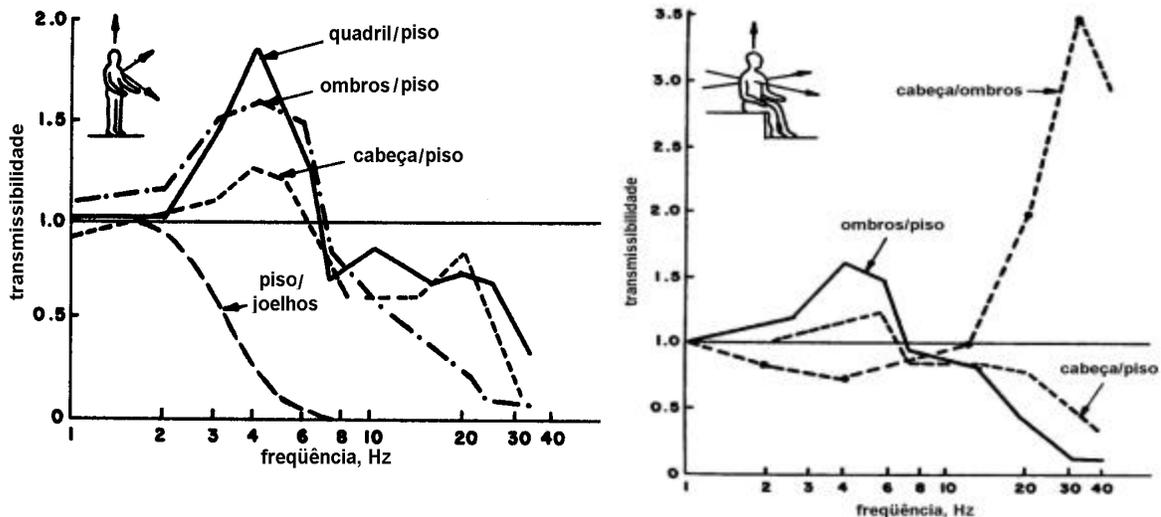


FIGURA 2.20 – Curvas de transmissibilidade para diversas partes do corpo humano.

FONTE – Chaffin *et al.*, 1999.

Panjabi *et al.* (1986) utilizaram um processo invasivo para medir a resposta da coluna vertebral às vibrações senoidais nos eixos z e x (ISO 2631) em 5 pessoas sentadas. Neste trabalho, duas amplitudes de aceleração foram usadas,  $1\text{m/s}^2$  e  $3\text{m/s}^2$ , com frequências na faixa de 2 a 15Hz. Três acelerômetros uni-axiais (Endevco, modelo 7265) foram fixados no transdutor inserido na coluna, conforme mostrado na Figura 2.21, que apresenta um esboço e uma fotografia do ensaio. Um típico resultado de um dos ensaios realizados está representado na Figura 2.22, relacionando a amplitude r.m.s. da coluna vertebral e do assento, ou seja, a transmissibilidade entre a espinha e o assento para a direção vertical e horizontal.

Os autores (Panjabi *et al.*, 1986) concluíram que a transmissibilidade foi maior na faixa de 4 a 5 Hz, e que muitos dos veículos a motor apresentam frequências nesta particular faixa e, portanto, é uma fonte potencial de risco à coluna vertebral.

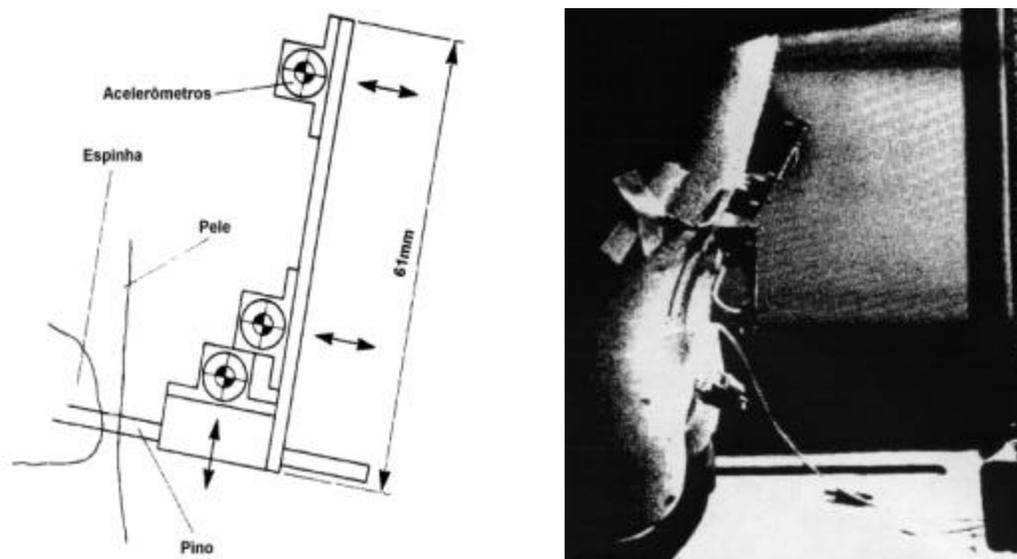


FIGURA 2.21 – Esboço e fotografia do experimento desenvolvido para medir a resposta da espinha à vibração senoidal.  
 FONTE - Panjabi *et al.*, 1986.

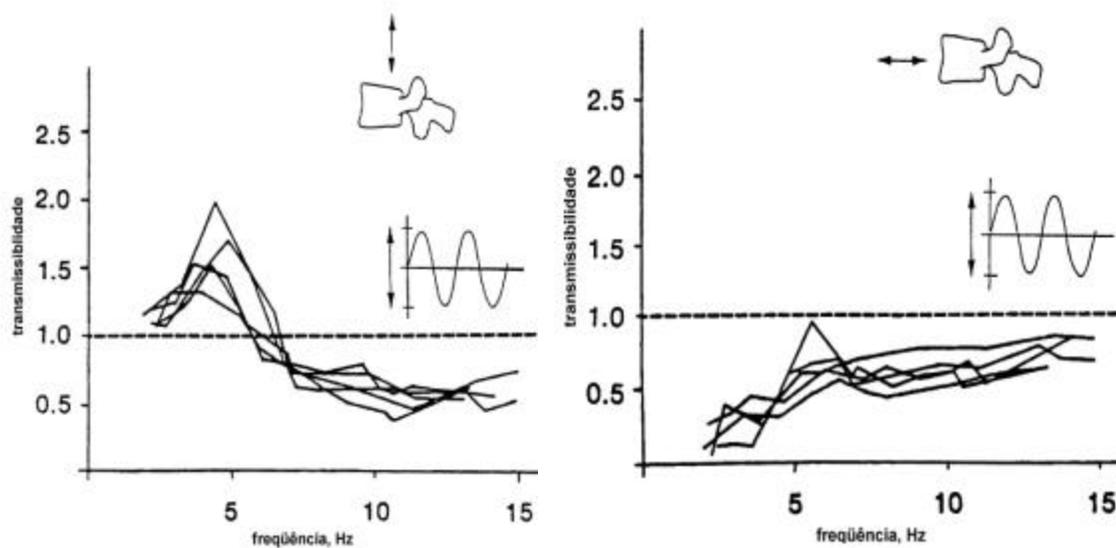


FIGURA 2.22 – Transmissibilidade entre a coluna e o assento.  
 FONTE - Panjabi *et al.*, 1986.

Pope *et al.* (1986), desenvolveram um trabalho similar a Panjabi *et al.* (1986), para estudar a transmissibilidade da vibração entre a espinha e a base do banco. Uma mulher participou deste experimento (31 anos de idade, 65kg e altura de 1,73cm) e, após ser anestesiada, foi inserido um eixo de 2,4 mm de diâmetro na vértebra L3 (processo lombar L3) no qual foi fixado na sua base um acelerômetro uni-axial (Figura 2.23a). A Figura 2.23b mostra a transmissibilidade obtida entre a vértebra L3 e o assento para a exposição à vibração vertical de 2g (19,62 m/s<sup>2</sup>) nas frequências de 2, 4, 5 e 7Hz para duas posturas diferentes. Verificaram que a maior transmissibilidade está na faixa de 4Hz em ambas as posições: relaxada e ereta. Segundo Pope *et al.* (1987), a dor na região das costas ocorre mais frequentemente em motoristas de veículos do que em outros grupos. Para verificar esta afirmação, desenvolveram um trabalho para investigar a resposta da espinha a impactos senoidais. O aparato desenvolvido pode ser verificado na Figura 2.24, e consiste basicamente de uma mola suspendendo uma plataforma e um pêndulo para liberar a energia do impacto. As frequências avaliadas estão na faixa de 2Hz a 30Hz, e a transmissão da aceleração foi medida através de dois acelerômetros Endevco modelo #7265-10 localizados no banco e um na pessoa com o uso do *bit-bar* (Figura 2.19, dez pessoas foram avaliadas).

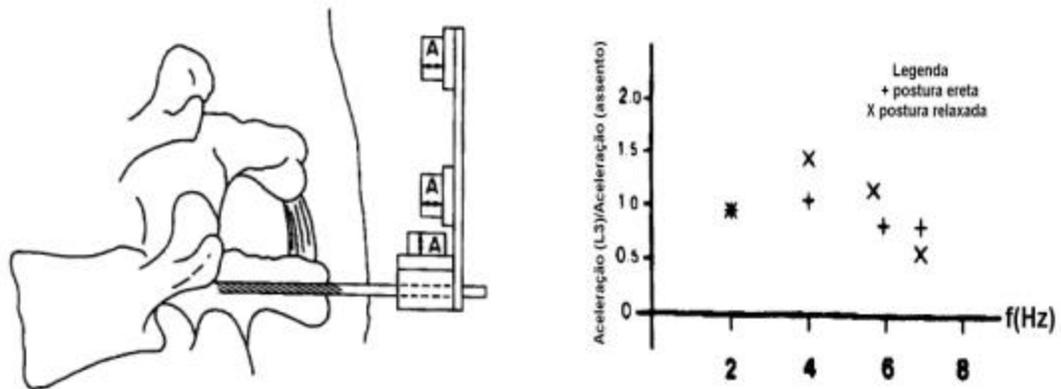


FIGURA 2.23 – (a) Localização do eixo. (b) Transmissibilidade entre a vértebra L3 e o assento.

FONTE - Pope *et al.*, 1986.

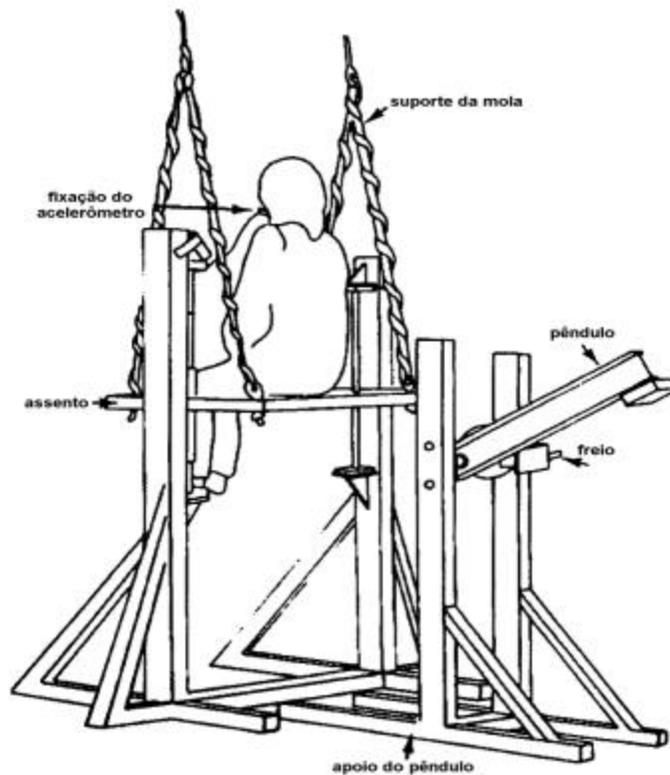


FIGURA 2.24 – Equipamento desenvolvido para estudo do efeito das vibrações na coluna.

FONTE - Pope *et al.*, 1987.

Kelsey *et al.* (1975) encontraram um aumento da incidência de hérnia de disco em pessoas expostas a níveis elevados de vibrações gerados por automóveis e caminhões. Em um estudo anterior, com 3500 pacientes, foi determinado que o aparecimento de dores nas costas são mais comuns em indivíduos expostos à vibração, por exemplo, em motoristas de caminhões e de tratores. Wilder *et al.* (1982), em seu artigo, apresentaram uma avaliação dos níveis de vibração no assento dos motoristas de diferentes veículos (Tabela 2.14).

TABELA 2.14 – Diversas faixas de frequências e acelerações para algumas atividades.

<i>Veículo</i>	<i>Condições da vibração vertical: velocidade do veículo (m/s) e localização</i>	<i>Localização Do acelerômetro **</i>	<i>Número de veículos no estudo</i>	<i>Maior frequência (Hz)</i>	<i>Aceleração na maior frequência (m/s<sup>2</sup>)</i>
trem	26,8	Se	1	6,00	0,88
ônibus	8,9 - estradas locais	Se	7	6,00	3,79
ônibus	8,9 - estradas locais	Bb	8	4,25	1,71
jeep	4,5 – estrada de chão	Se	9	4,50	6,04
motocicleta	15,6 - estradas locais	Se	10	4,00	0,68
trator	6,7 - estrada de chão	Se	13	3,75	4,43
caminhão (concreto)	descarregado - estradas locais	Se	16	7,50	3,68
caminhão (concreto)	descarregado -estrada de chão	Se	17	4,50	1,29
caminhão (concreto)	carregado -estradas locais	Se	18	6,50	3,62
caminhão (concreto)	carregado - estrada de chão	Se	19	5,25	6,34
balsa	convés	Se	24	6,00	4,28
balsa	convés	Bb	25	4,25	6,64
balsa	convés	St	26	4,25	2,05
balsa	convés	Bb	27	6,00	2,23
balsa	casa das máquinas	Se	28	4,75	1,04
balsa	casa das máquinas	St	29	5,25	1,36
lancha	3,1	Se	30	5,25	0,71
lancha	8,9	Se	31	3,50	1,82
lancha	13,4	Se	32	5,50	1,26

\*\*Se: acelerômetro colocado entre o assento e a nádega, St: acelerômetro colocado entre os pés e o piso, Bb: acelerômetro colocado no suporte mantido pelos dentes (*bit-bar*).

FONTE - Wilder *et al.*, 1982.

Wilder *et al.* (1982) utilizaram uma mesa vibratória, conforme mostrado na Figura 2.25, para recriar um ambiente no laboratório similar ao da indústria. O dispositivo foi desenvolvido para gerar uma vibração senoidal de até 30Hz, em qualquer uma das três direções da ISO 2631-1 (eixos z, x e y), para estudar a transmissibilidade das pessoas. A aceleração foi medida na base da plataforma, através de acelerômetros, e na cabeça usando um acelerômetro similar rigidamente montado em um capacete. A Tabela 2.15 apresenta os resultados obtidos para homens e mulheres (diferenças sem significado estatístico).

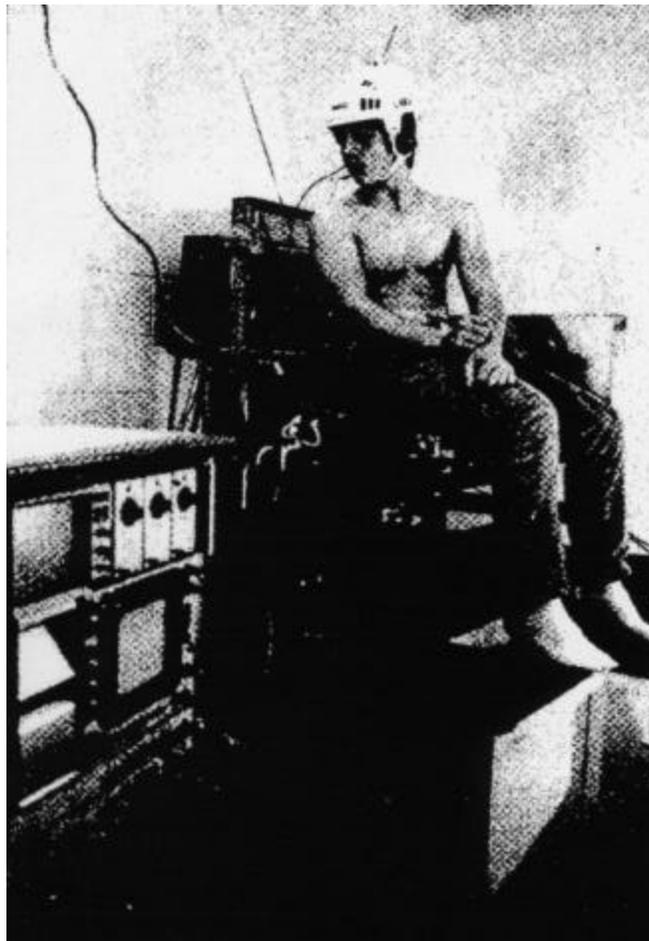


FIGURA 2.25 – Mesa vibratória.

FONTE - Wilder *et al.*, 1982.

TABELA 2.15 – Freqüências de ressonância.

<i>Freqüências de ressonância</i>	<i>Homens</i>		<i>Mulheres</i>	
	média (Hz)	d.p.(Hz) *	média (Hz)	d.p.(Hz) *
primeira	4,90	0,24	4,75	0,30
segunda	9,50	0,70	9,50	1,90
terceira	12,70	1,70	12,70	1,70

\*Desvio padrão.

FONTE - Wilder *et al.*, 1982.

Para cada uma das frequências de ressonância, da Tabela 2.15, a transmissibilidade foi determinada (a razão da aceleração medida no capacete pela aceleração obtida no assento da mesa vibratória) e cujos valores são apresentados na Tabela 2.16.

TABELA 2.16 – Transmissibilidade (aceleração no capacete/aceleração no assento).

<b><i>Frequências de ressonância</i></b>	<b><i>Homens</i></b>		<b><i>Mulheres</i></b>	
	média (Hz)	d.p.(Hz) *	média (Hz)	d.p.(Hz) *
primeira	1,79	0,23	1,62	0,20
segunda	0,69	0,20	0,66	0,20
terceira	0,59	0,10	0,59	0,10

\*Desvio padrão.

FONTE - Wilder *et al.*, 1982.

Em estudos anteriores, a exposição à vibração no assento dos operadores de diferentes tipos de veículos foi avaliada (Tabela 2.14) e verificou-se que a frequência dominante está na faixa de 3 a 6,0 Hz (esses indivíduos estão colocando sua espinha em risco). Essas observações, segundo os autores, podem explicar dados epidemiológicos que apresentam um aumento do problema de hérnia de disco ou na região, observado em motoristas profissionais. Similarmente, Wilder *et al.* (1982) observaram um aumento da incidência das dores nas costas (aumento da severidade dos sintomas) em sujeitos que usavam excessivamente seus veículos.

#### 2.4.2.2 Conforto e sua relação com a vibração

Diversas empresas, tais como, a *Boeing Company*, *DaimlerChrysler Corporation*, *General Motors Corporation* e a *Ford Motor Company*, têm desenvolvido trabalhos relacionados ao espaço de trabalho de veículos com relação ao conforto e a saúde dos usuários (principalmente relacionado ao aspecto ergonômico). Como por exemplo, a *Boeing Company* desenvolveu uma ferramenta gráfica (*Boeing Human Modeling System*) que permite estudar, analisar e verificar se as operações de seus equipamentos são compatíveis com seus usuários. A Figura 2.26 exemplifica a simulação de operação de manutenção de uma porta de segurança de um avião.

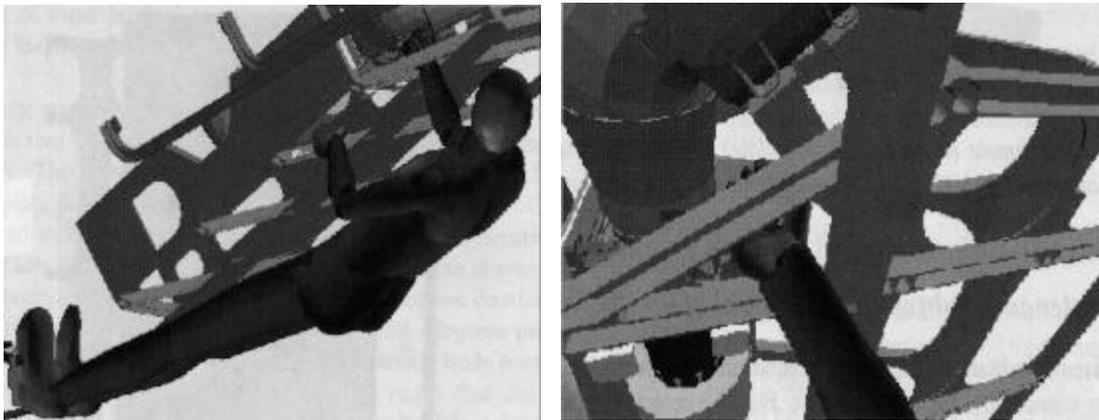


FIGURA 2.26 – Exemplo da preocupação com o conforto e a segurança do usuário.

FONTE – Chaffin, 2001.

Poucos são os trabalhos que relacionam vibração ao conforto, porém alguns movimentos podem ser fonte de satisfação e fornecer um sentimento de bem-estar ou conforto, mas o estudo da relação entre vibração e conforto pode estar relacionado aos movimentos responsáveis pela falta de prazer e desconforto. Muitos fatores contribuem para determinar o desconforto, e a exposição à vibração é um destes fatores. Para entender a relação entre vibração e conforto, estudos foram desenvolvidos em laboratórios com pessoas expostas às vibrações.

Segundo Whitham e Griffin (*apud* Griffin, 1990), a vibração em diferentes frequências ou em diferentes eixos podem produzir diferentes sensações em diferentes partes do corpo. Quando a amplitude da vibração aumenta, usualmente aumenta o desconforto. A Tabela 2.17 apresenta alguns dos resultados obtidos em trabalhos realizados em laboratórios.

TABELA 2.17 – Comparação dos resultados entre quatro experimentos.

<i>Estudo (ano)</i>	<i>Escala</i>	<i>Magnitude média (m/s<sup>2</sup> r.m.s.)</i>	<i>Situação</i>
Fothergill (1972)	muito desagradável desagradável meio desagradável não desagradável notável	2,5 1,7 1,1 0,7 0,3	Pessoas sentadas - vibrações senoidais - 8Hz
Jones e Saunders (1974)	muito desagradável muito desconfortável desconfortável limiar médio do desconforto não desconfortável	3,7 2,2 1,2 0,7 0,33	Pessoas sentadas - vibrações senoidais - 10Hz
Oborne e Clarke (1974)	muito desconfortável desconfortável satisfatoriamente desconfortável confortável muito confortável	> 2,3 1,2 a 2,3 0,5 a 1,2 0,23 a 0,5 < 0,23	Pessoas em pé - vibrações senoidais - 10Hz
Fothergill e Griffin (1977)	muito desconfortável desconfortável meio desconfortável notável, mas não desconfortável	2,7 1,8 1,1 0,4	Pessoas sentadas - vibrações senoidais - 10Hz

FONTE – Griffin, 1990.

Conforme apresentado nas curvas da Figura 2.2, o padrão internacional ISO 2631 utiliza curvas para avaliar os efeitos da exposição à vibração com relação à saúde, conforto e fadiga, e segundo os resultados de Griffin (1990), para uma vibração de 4Hz, o conforto diminui com o aumento do tempo de exposição.

A norma BS6841 (1987) apresenta curvas que relacionam a aceleração e frequência com escalas subjetivas: extremamente desconfortável, muito desconfortável, desconfortável, médio desconfortável, pouco desconfortável e não desconfortável (Figura 2.27).

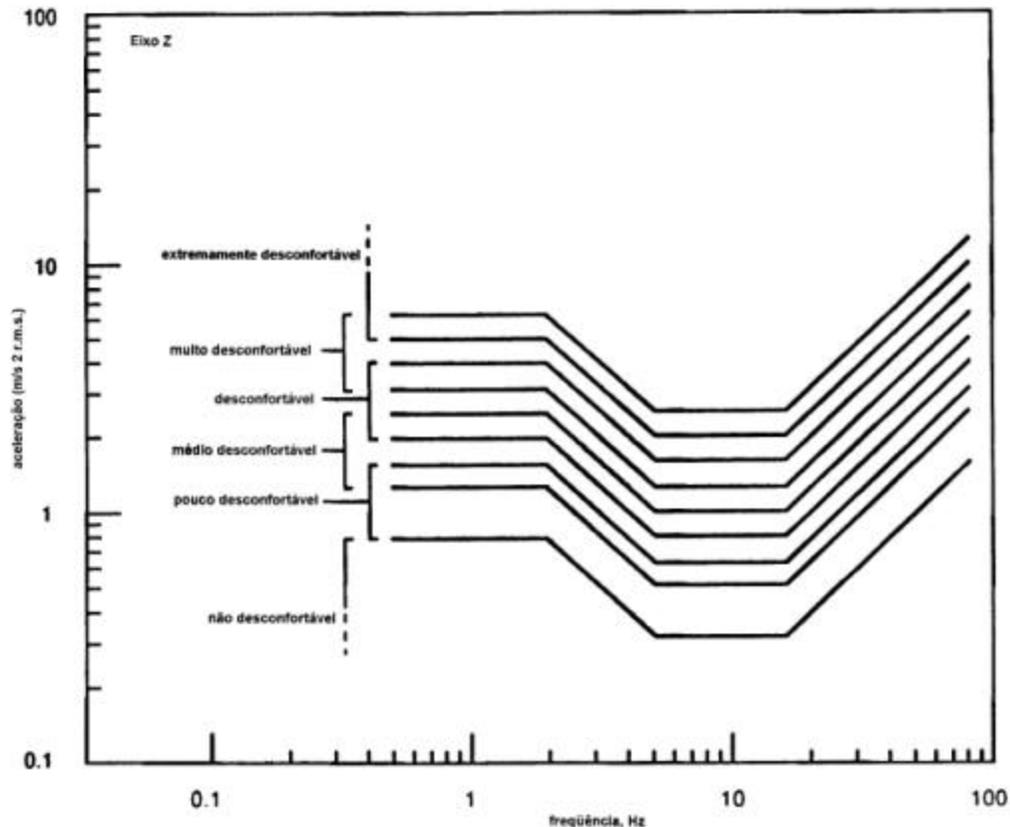


FIGURA 2.27 – Escalas relacionando conforto com aceleração e frequência.

FONTE – BS 6841, 1987 (apud Griffin, 1990).

Corbridge *et al.* (1986), realizaram alguns ensaios para determinar os efeitos da vibração no corpo humano. Quarenta pessoas (20 do sexo feminino e 20 do masculino) sentadas, sobre uma mesa vibratória, foram expostas à vibração vertical na faixa de frequência de 0,5 a 5,0Hz. Com a utilização do método da norma ISO 2631-1 (1997), estimaram a severidade da vibração no corpo humano com relação ao conforto e concluíram que a vibração aleatória produz maior desconforto do que a vibração senoidal, mas com a mesma dependência da frequência. Cada pessoa que participou do experimento relatava quando estava se sentindo desconfortável no banco instalado na mesa vibratória. A Figura 2.28 apresenta os resultados médios obtidos para as 40 pessoas expostas à vibração vertical com aceleração de 0,75 r.m.s.  $m/s^2$  (neste ensaio foi utilizada uma aceleração fixa). Percebe-se a grande sensibilidade à vibração ao redor dos 5Hz.

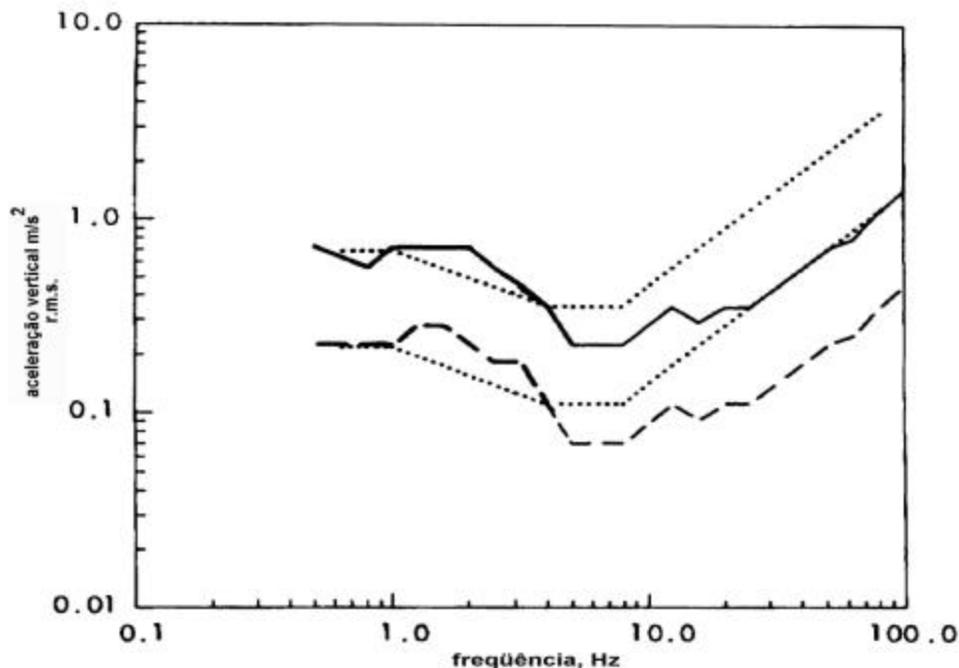


FIGURA 2.28 – Comparação dos resultados experimentais (— e - - -) com as curvas de conforto da norma ISO 2631 (....).

FONTE – Corbridge et al., 1986.

Segundo Gillespie (1992), existem diversos trabalhos para estabelecer uma zona em que a vibração é certamente intolerável ao corpo humano. O autor apresenta três análises independentes, conforme mostrado na Figura 2.29: as recomendações de Burton e Douglas são as conclusões estabelecidas para passageiros de aviões, as recomendações de Janeway estão relacionadas aos motoristas de automóveis e a de Goldman representa o ponto de vista biológico (saúde). O trabalho de Janeway (*apud* Gillespie, 1992), também apresenta uma revisão de estudos anteriores e suas relações entre três sensações com relação ao desconforto: fortemente notável, desconfortável e muito desconfortável, conforme mostrado na Figura 2.29. Cabe observar que os gráficos das Figuras 2.29 e 2.30, foram mantidos no formato original e, portanto, o eixo vertical (amplitude) foi denominado pelos autores de deslocamento (*in*)<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Usualmente a amplitude pode ser representada no formato de deslocamento, velocidade ou aceleração, pois uma é a derivada da outra.

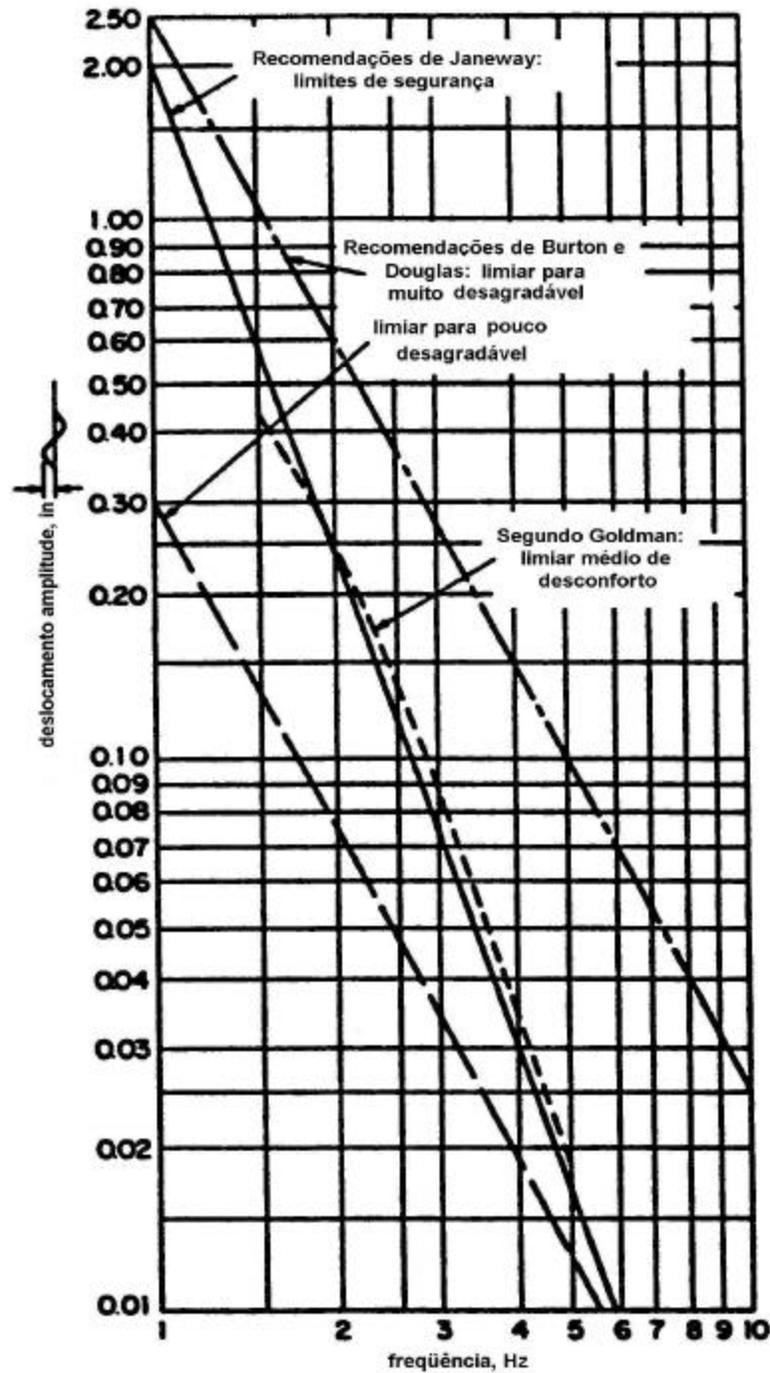


FIGURA 2.29 – Limites para verificação dos efeitos da vibração no conforto humano.

FONTE – Gillespie, 1992.

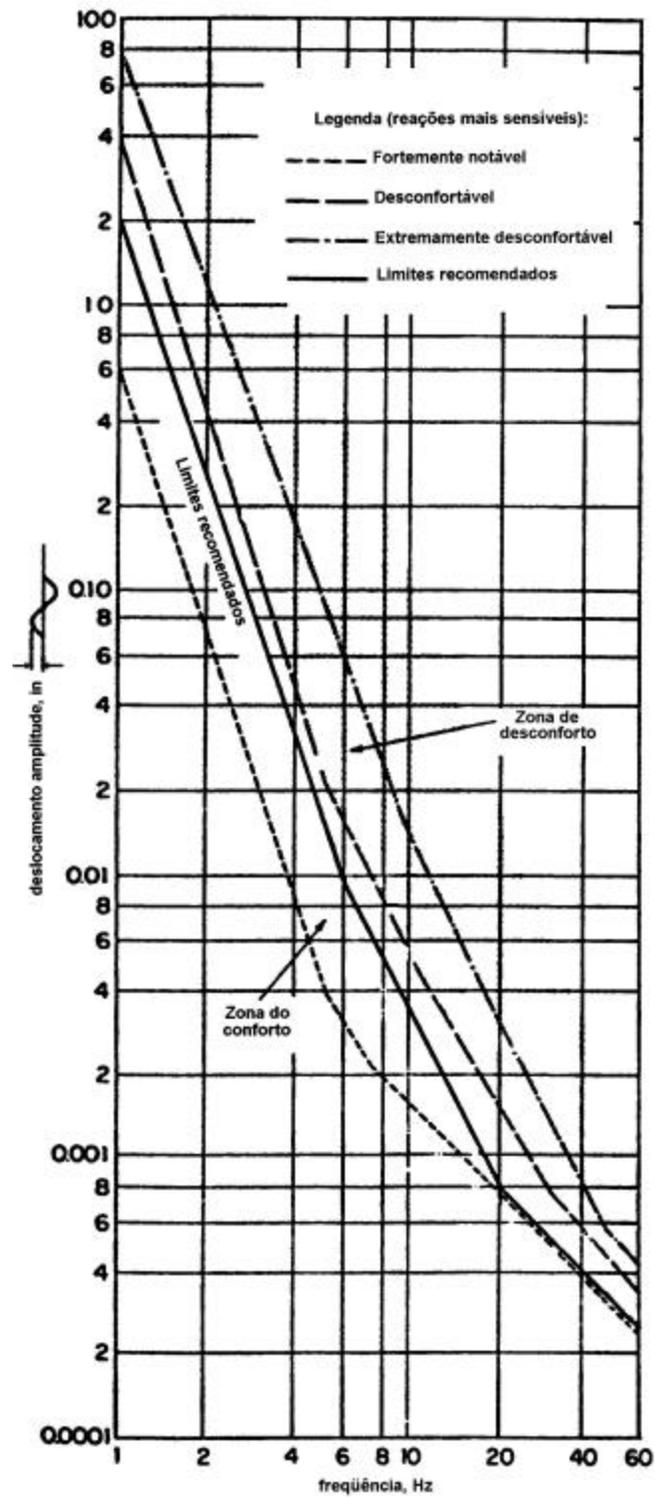


FIGURA 2.30 – Revisão de estudos anteriores realizados por Janeway.

FONTE – Gillespie, 1992.

Kjellberg *et al.* (1985) desenvolveram um trabalho com 15 voluntários do sexo masculino (de 23 a 43 anos) para verificar o efeito da vibração no conforto (nenhum motorista profissional participou). Foi utilizada uma mesa vibratória (da marca Fairey) para gerar a vibração na direção vertical (eixo z). Um banco foi fixado sobre a mesa vibratória e os voluntários posicionados na posição sentada relaxada. O espectro do sinal de excitação usado neste experimento pode ser verificado na Figura 2.31. Concluíram que 12 dos indivíduos apresentaram um aumento do nível de desconforto com o tempo de exposição da vibração.

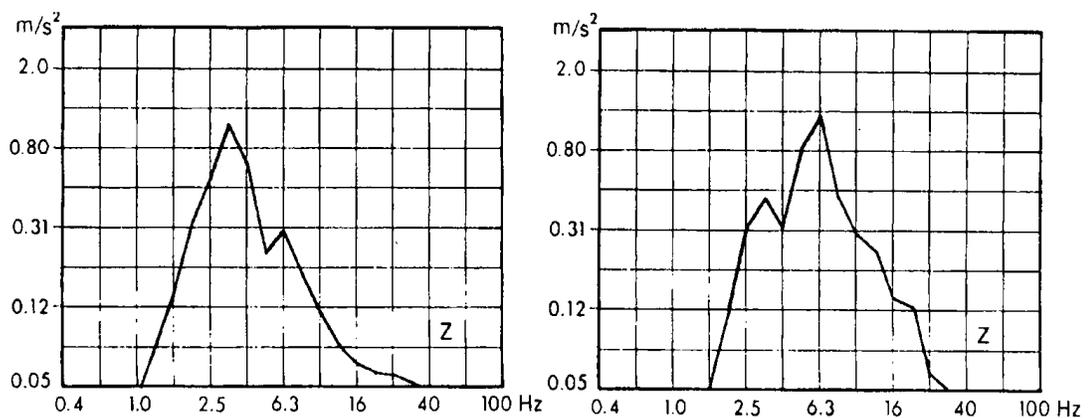


FIGURA 2.31 – Espectro da excitação de entrada.

FONTE – Kjellberg *et al.*, 1985.

De acordo com Tewari *et al.* (1999) conforto e segurança de veículos fora de estrada dependem do posto de trabalho, ou seja, desde a localização de vários controles, níveis de ruído e vibração gerada pelo movimento do veículo, stress térmico e visibilidade. Segundo o autor, a vibração predominante em tratores é no plano vertical e os níveis de vibrações frequentemente excedem os limites estabelecidos.

### 2.4.2.3 Postura e dinâmica dos assentos

Cabe ressaltar, segundo Griffin (1990), que a magnitude da vibração, a frequência, a direção, a posição de entrada e a duração não são os únicos fatores que determinam o desconforto de uma pessoa exposta à vibração. As características físicas das pessoas (peso, altura, idade), a postura, a orientação do corpo e atributos psicológicos podem alterar a relação do corpo humano e o conseqüente efeito da exposição à vibração. A transmissão da vibração para uma pessoa sentada pode ser significativamente afetada pelo banco, e este, portanto, merece uma atenção especial.

Rowlands, Johnston, Moseley e Griffin, apresentaram alguns estudos em que a transmissão da vibração vertical à cabeça, em pessoas sentadas, pode estar influenciada pelo encosto dos bancos (*apud* Griffin, 1990). A presença de um encosto vibrando verticalmente com o assento pode, muitas vezes, aumentar a magnitude da vibração na cabeça e, as mudanças na postura do corpo, com relação ao encosto, podem alterar a transmissibilidade do corpo (SAE, 1993).

O ato de sentar, por definição, segundo Chaffin *et al.* (1999) e SAE (1993), é a posição do corpo humano quando o peso do corpo é transferido para uma área que o suporte. As vantagens desta postura são:

- fornecer estabilidade necessária as atividades que envolvem controle visual e motor;
- o consumo de energia é menor do que na postura em pé;
- menor stress nas extremidades das articulações inferiores;
- menor pressão no sistema circulatório das extremidades inferiores.

A Figura 2.32 apresenta as principais regiões do corpo humano envolvidas no ato de sentar, o movimento da pélvis e parte da coluna lombar em diferentes posturas. O ato de sentar pode ser dividido nas posturas anterior, central e posterior. A divisão é baseada na

localização do centro de massa do corpo, e afeta a proporção do peso transmitido a diferentes superfícies de suporte.

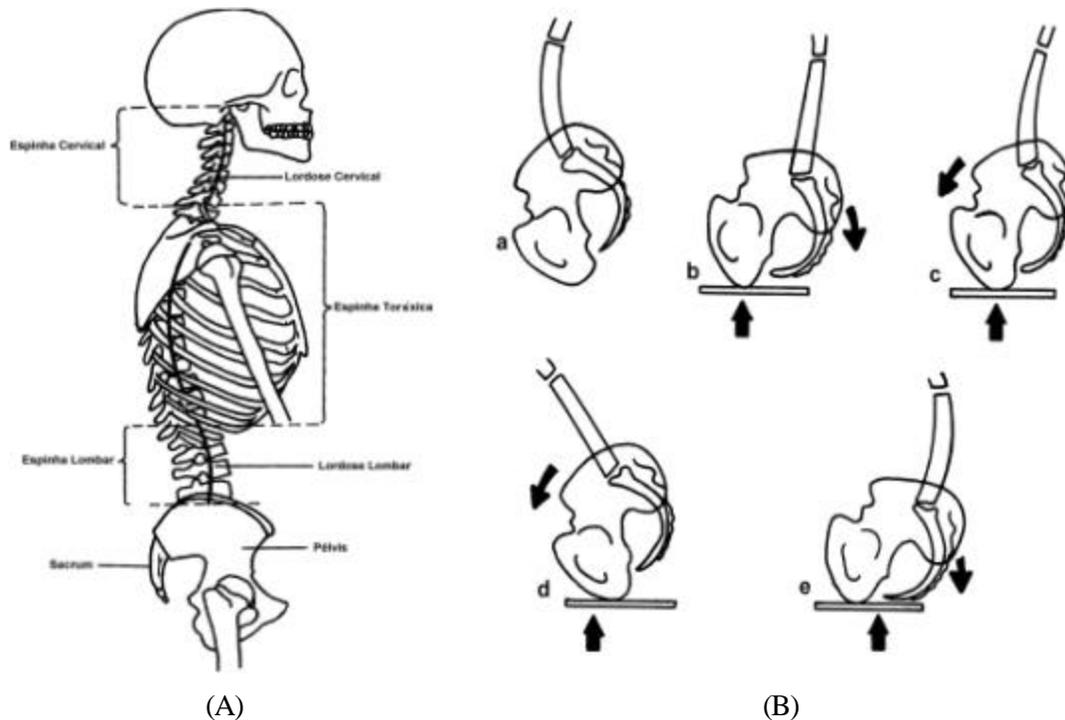


FIGURA 2.32 – Regiões do corpo humano envolvidas no ato de sentar: (A) componentes esqueléticos da coluna vertebral, ressaltando suas partes móveis: coluna cervical e lombar, (B) comportamento da pélvis e do sacrum em diferentes posturas: (a) em pé; (b) sentado relaxadamente com a sacrum sem suporte; (c) sentado ereto com o sacrum sem suporte; (d) sentado na postura anterior e (e) sentado relaxado na postura posterior.

FONTE – Chaffin *et al.*, 1999.

Além da vibração, estudos indicam (White *et al.*, 1990) que a inclinação do encosto está diretamente relacionado a problemas na região das costas. A Figura 2.33 apresenta um estudo baseado na medição da pressão na vértebra L3 que demonstra que a pressão é maior no ângulo de 90° (inclinação do encosto) e sem suporte lombar. Os autores recomendam o uso de suporte lombar e suporte para os braços para reduzir a pressão nesta região (como exemplo, a Figura 2.34 apresenta o esboço de um bom assento).

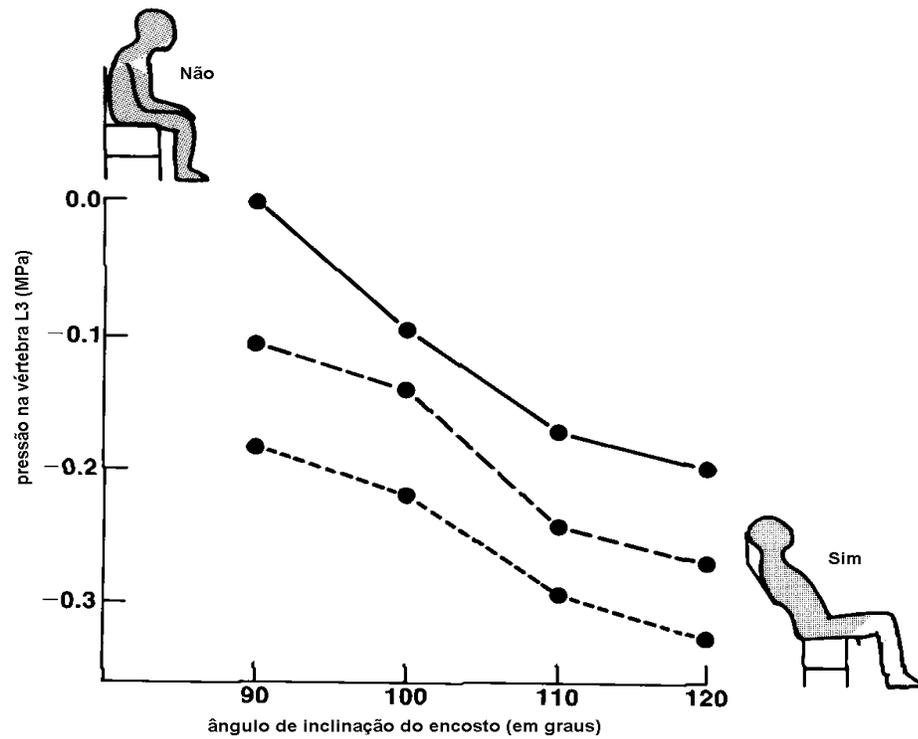


FIGURA 2.33 – O efeito do ângulo de inclinação do encosto na pressão da vértebra L3: (—) nenhum suporte lombar, (—) suporte lombar de 3cm e (.. ..) suporte lombar de 5cm.

FONTE – White *et al.*, 1990.

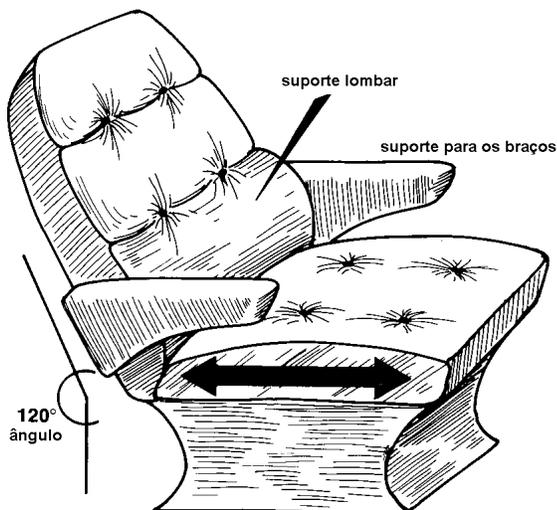


FIGURA 2.34 – Exemplo de um bom assento.

FONTE – White *et al.*, 1990.

Segundo Griffin (1990), a percepção da vibração pelo corpo humano e seu efeito no conforto, nas atividades ocupacionais e na saúde são dependentes da distribuição da vibração no corpo. Esta distribuição é determinada pela postura do corpo e pela vibração na(s) interface(s) entre o corpo e o ambiente. Quando uma pessoa está sentada sobre um assento rígido, a exposição à vibração pode ser determinada pelas medições realizadas em qualquer localização no assento.

Os bancos são, muitas vezes, utilizados para acomodar diferentes pessoas que realizam uma variedade de diferentes atividades: raramente são projetados para uma pessoa apenas ou para somente uma atividade. Um assento deve colocar seu ocupante em uma boa posição para conseguir realizar as atividades profissionais ou de lazer, buscando o mínimo esforço muscular para a manutenção de uma posição em que a fadiga muscular é minimizada, ou seja, deve manter o corpo (espinha lombar, espinha cervical, pélvis, cabeça, braços e pernas) em um conjunto confortável de curvas e ângulos.

Nos veículos, os assentos possuem almofadas por muitas razões, dentre elas, para distribuir a pressão ao redor da pélvis e do sacrum, para fornecer um suficiente atrito para prevenir o efeito submarino (escorregamento) e para atenuar a vibração, devendo adaptar-se as diferentes formas e tamanhos das pessoas. Porém, segundo Griffin (1990), Chaffin *et al.* (1999) e SAE (1993), um assento muito duro causa excessiva pressão na pélvis e no sacrum, mas um assento muito macio distribui excessiva pressão ao redor do quadril.

Para muitos ocupantes dos assentos dos veículos, o principal desejo é a redução da vibração. Um assento com ótimas propriedades dinâmicas é o que minimiza a vibração indesejada para os ocupantes. Assim, três fatores combinam para determinar a eficiência dinâmica de um assento: o ambiente vibracional, a resposta dinâmica do assento e a resposta do corpo humano. Qualquer frequência e eixo de vibração podem contribuir para a vibração tornar-se desconfortável para um ocupante de um assento: assentos devem ser projetados para minimizar a transmissão da vibração nessas frequências e nesses eixos que são dominantes no ambiente.

Em geral, a resposta dinâmica ótima de um assento depende do espectro de vibração, do ambiente e do critério utilizado para sua avaliação: manutenção do conforto, minimização dos distúrbios nas atividades ou preservação da saúde. Além disso, em geral, um assento ótimo para um veículo pode não ser um assento ótimo para outro veículo. O bom projeto de um assento, para uma aplicação, consiste do ajuste da resposta dinâmica do assento com o objetivo de minimizar os mais importantes efeitos adversos da vibração. Isto somente pode ser obtido, se o ambiente que causa vibração é conhecido, e se existem métodos adequados para avaliar a resposta humana a vibração que ocorre nos assentos (frequências, magnitude, etc).

O método mais direto de medição da transmissibilidade de um assento é comparar a aceleração no assento e na base do assento. Muitos métodos alternativos foram propostos para quantificar o conforto dinâmico de um assento. Os mais usados são os métodos fornecidos pela ISO 2631-1 e o método conhecido como *SEAT* (*Seat Effective Amplitude Transmissibility*), que fornece um método numérico simples para avaliar a eficiência da isolamento do assento (Griffin, 1990). Cabe ressaltar, que um assento somente necessita apresentar uma boa isolamento da vibração nas frequências em que é exposto quando em uso. Um *SEAT* de 100% indica que não existe melhoramento ou degradação no desconforto produzido pelo assento; se o valor do *SEAT* é maior do que 100%, o desconforto causado pela vibração é aumentado pelo assento e se o *SEAT* é menor do que 100% indica que o assento isolou parte da vibração. O *SEAT* é obtido pela relação:

$$SEAT = \frac{VDV_{no\_assento}}{VDV_{no\_piso}} \times 100 \quad (2.13)$$

A Figura 2.35 apresenta a transmissibilidade dos assentos de 16 veículos (1 a 11: automóveis, 12, 13 e 15: ônibus, 14: caminhão e 16: trem) e o correspondente *SEAT*(%).

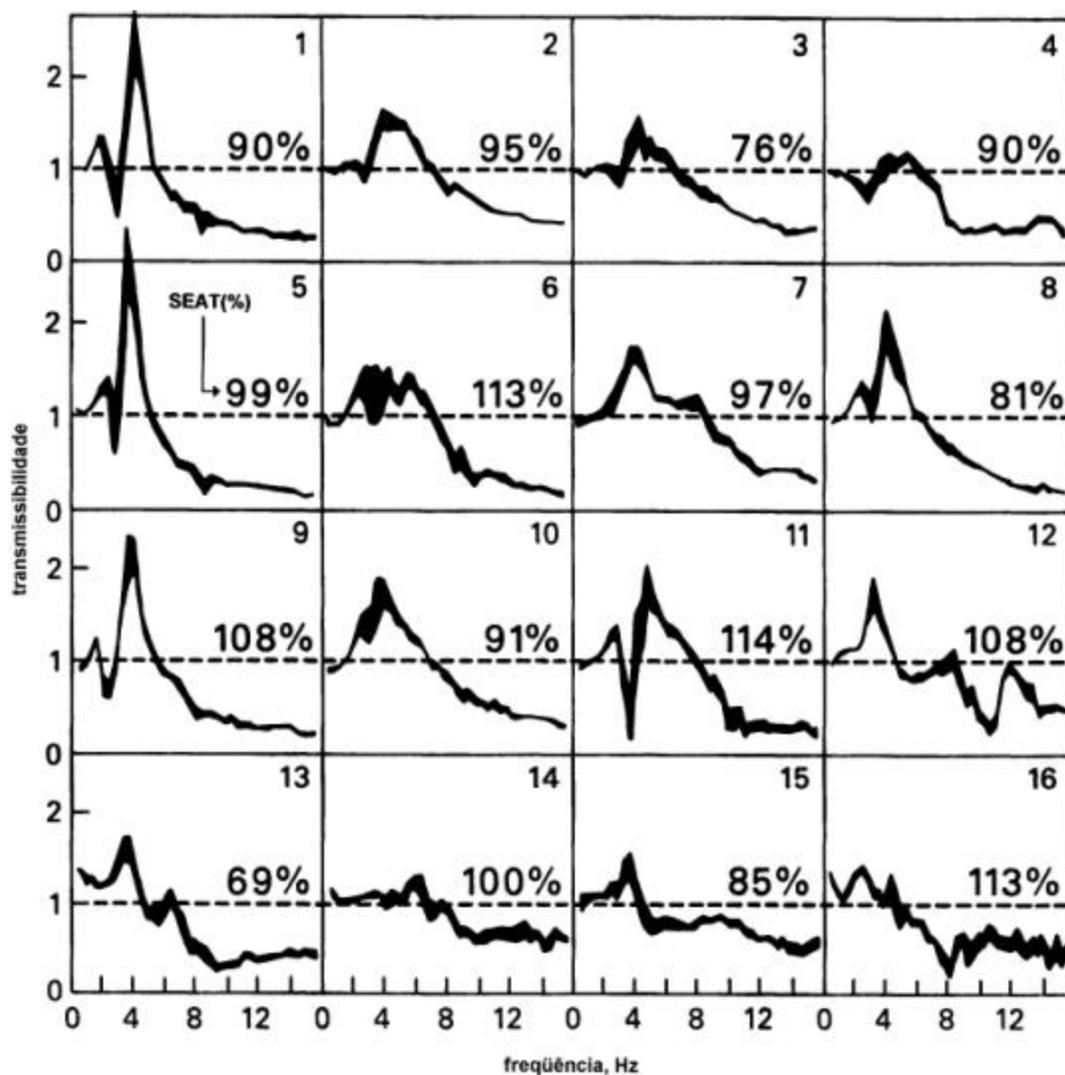


FIGURA 2.35 – Transmissibilidade de diferentes veículos e os correspondentes *SEAT*(%).

FONTE – Griffin, 1990.

## CAPÍTULO 3

### VIBRAÇÕES NO SEGMENTO MÃO-BRAÇO

Quando a área de interesse é a região das mãos (quando é considerada a área principal exposta à vibração), é denominado de vibração segmentada, do segmento mão-braço ou localizada. Ocorrem, em geral, nas ocupações que utilizam ferramentas manuais, como por exemplo, britadeiras e lixadeiras.

#### 3.1 Introdução

No inverno de 1918, o médico Dr. Alice Hamilton, estava a trabalho na cidade Bedford em Indiana, pois foi chamado, a pedido dos trabalhadores que extraíam pedras calcárias das minas, e pelos escultores que também utilizavam martelos pneumáticos e outras ferramentas que vibravam. Sem dispor de tecnologia moderna, examinou alguns destes trabalhadores que, após o uso diário destas ferramentas, reclamavam de entorpecimento e/ou formigamento nos dedos, sendo que estes ataques normalmente aconteciam na presença de temperaturas frias. Em função de ser considerado o primeiro relato a respeito do problema das vibrações no segmento mão braço (Pelmear *et al.*, 1998), é parcialmente descrito abaixo em função da sua originalidade e importância no estudo da referida área.

**“entre os homens que usam martelos pneumáticos, para cortar pedras, uma perturbação, na circulação das mãos, parece ser muito comum... consiste na contração dos vasos que irrigam a região de certos dedos, deixando-os brancos, entorpecidos... esses ataques normalmente acontecem de manhã cedo ou após o trabalho...”**

**Essa condição é causada indubitavelmente pelo uso do martelo pneumático. Este problema parece ser causado em função de três fatores - contração muscular prolongada dos dedos que seguram a ferramenta, as vibrações da ferramenta e o frio. Se esses fatores forem eliminados a dificuldade talvez possa ser reduzida”.**

Alice Hamilton, 1918<sup>6</sup>.

Segundo Pelmeir *et al.* (1998), em 1862, o Dr. Maurice Raynaud, um médico de Paris, foi o primeiro a descrever que os dedos de determinadas mulheres branqueavam após a exposição a temperaturas baixas, mas não havia relacionado o problema à vibração. Em 1911, Loriga (*apud* Pelmeir *et al.*, 1998), na Itália, foi o primeiro a descrever estes sintomas em mineiros que usavam ferramentas manuais pneumáticas, porém não havia associado à vibração das ferramentas. Após o estudo de Hamilton (*apud* Pelmeir *et al.*, 1998), a associação entre o uso de ferramentas vibrantes com a doença ficou aparente (denominou o fenômeno de Raynaud de origem profissional). Durante os últimos anos, diversos estudos unem as vibrações das ferramentas com a denominada “doença do dedo branco” (NIOSH, 1989). Atualmente, esta condição é chamada de "Síndrome da Vibração Mão-braço”, pois a vibração no segmento mão-braço parece não causar somente danos aos vasos sanguíneos, mas também aos ossos, músculos e tendões das mãos. Estima-se que o problema da vibração no segmento mão-braço, nos Estados Unidos da América, atinge quase 2 milhões de trabalhadores que utilizam principalmente ferramentas manuais pneumáticas e elétricas (Pelmeir *et al.*, 1998).

---

<sup>6</sup> Hamilton, A. “A study of spastic anemia in the hands of stonecutters, effects of the air hammer on the hands of stonecutters”. Bulletin #236. US Bureau of Labor, Industrial Accident and Hygiene Series, #19, 1918.

O Departamento de Saúde e Serviços Humanos, nos Estados Unidos da América (NIOSH, 1989), concluiu que o uso de ferramentas manuais que vibram pode causar a chamada síndrome da vibração (também conhecida como vibração do dedo branco ou o fenômeno de Raynaud de origem profissional). Esta síndrome atinge o sistema circulatório e neural dos dedos, e os principais sinais e sintomas incluem entorpecimento, dor e a tonalidade branca dos dedos.

### 3.2 Fenômeno de Raynaud's

De acordo com a obra de Pelmear *et al.* (1998), o Fenômeno de Raynaud's pode ser definido, como uma diminuição dos vasos periféricos e artérias, com uma conseqüente mudança da cor da pele das extremidades. A causa mais comum deste fenômeno é a exposição à vibração do segmento mão-braço, contudo, qualquer trauma nos vasos sanguíneos resultando em dilaceração, oclusão ou trombose podem, conseqüentemente causar uma redução da pressão sistólica dos dedos. Em 1983, na Inglaterra, foi definido que o termo mais apropriado, para a descrição deste fenômeno, é *Síndrome da vibração do segmento mão-braço* que apresenta as seguintes características principais:

- distúrbios circulatórios (dedos brancos);
- distúrbios motores (perda parcial ou total da coordenação dos dedos);
- distúrbios musculoesqueléticos (músculos, ossos e articulações da região).

Após um período variável de tempo, dependendo da intensidade da vibração, do tempo de exposição à vibração e da susceptibilidade de cada pessoa, ocorre um *descoloramento* das pontas dos dedos quando expostos ao frio (Figura 3.1). Com o aumento da dose da vibração, o *descoloramento* progride para as bases dos dedos (Figuras 3.2 e 3.3). O *descoloramento* ocorre usualmente após a exposição ao frio, particularmente pela manhã e à noite, quando a atividade metabólica das pessoas é menor. Com a exposição continuada à vibração, o *descoloramento* ocorre com maior frequência, acompanhado de dor, podendo tornar-se permanente.

Esses sintomas e sinais, são considerados a resposta às mudanças patológicas e fisiológicas dos tecidos dos dedos (não compreendido totalmente pela comunidade científica). A Tabela 3.1, apresenta os estágios conhecidos do problema dos dedos brancos. Em função da dificuldade no seu uso e definição dos estágios definidos para este problema, cientistas internacionais criaram a escala denominada de Estocolmo (Tabela 3.2) que é baseada no histórico de ocorrências dos dedos brancos fornecido pelo paciente ou por acompanhamentos médicos. Cabe salientar, que esta classificação é a utilizada atualmente, porém recebem diversas críticas, em função da dependência do histórico de ocorrência do problema (Pelmeir *et al.*, 1998).

TABELA 3.1 – Estágios da vibração dos dedos brancos.

Estágio	Condição dos dedos	Interferência no trabalho e social
0	Nenhuma descoloração dos dedos	Nenhuma
1	Descoloramento de um ou mais dedos com ou sem formigamento e dormência	Nenhuma interferência nas atividades
2	Descoloramento de um ou mais dedos com dormência; usualmente confinados ao inverno	Interferência pequena em casa e nas atividades sociais; nenhuma interferência no trabalho
3	Descoloramento extensivo; episódios freqüentes, no verão e no inverno	Interferência definitiva no trabalho, em casa e nas atividades sociais
4	Descoloramento extensivo; vários dedos, episódios freqüentes no verão e no inverno	Mudanças ocupacionais para evitar futuras exposições à vibração em função da severidade dos sintomas e sinais

FONTE – Pelmeir *et al.*, 1998.



FIGURA 3.1 – Descoloramento da ponta dos dedos – estágio 1 (Escala de Estocolmo).

FONTE - Pelmeir *et al.*, 1998.



FIGURA 3.2 – Descoloramento da ponta dos dedos para a base– estágio 2 (Escala de Estocolmo).

FONTE - Pelmear *et al.*, 1998.



FIGURA 3.3 – Descoloramento da ponta dos dedos para a base– estágio 3 (Escala de Estocolmo).

FONTE - Pelmear *et al.*, 1998.

TABELA 3.2 – Escala de Estocolmo para a classificação do fenômeno de Raynaud's induzido pelo frio para a síndrome da vibração do segmento mão-braço.

Estágio	Grau	Descrição
0		nenhuma ocorrência
1	brando	ataques ocasionais afetando somente as pontas dos dedos de um ou mais dedos
2	moderado	ataques ocasionais afetando as falanges distal e central de um ou mais dedos
3	severo	ataques freqüentes afetando todas as falanges de diversos dedos
4	muito severo	como no estágio 3, com mudanças na estrutura da pele e tecido dos dedos

FONTE - Pelmeier *et al.*, 1998.

A Figura 3.4 apresenta os dedos no estágio 4 da Escala de Estocolmo onde as lesões nos tecidos e pele podem ser perfeitamente percebidas. Com relação aos efeitos sensório-neural (dormência, formigamento e tato) foi elaborado uma Escala de Estocolmo separada, para avaliação desses efeitos, como pode ser analisado na Tabela 3.3.

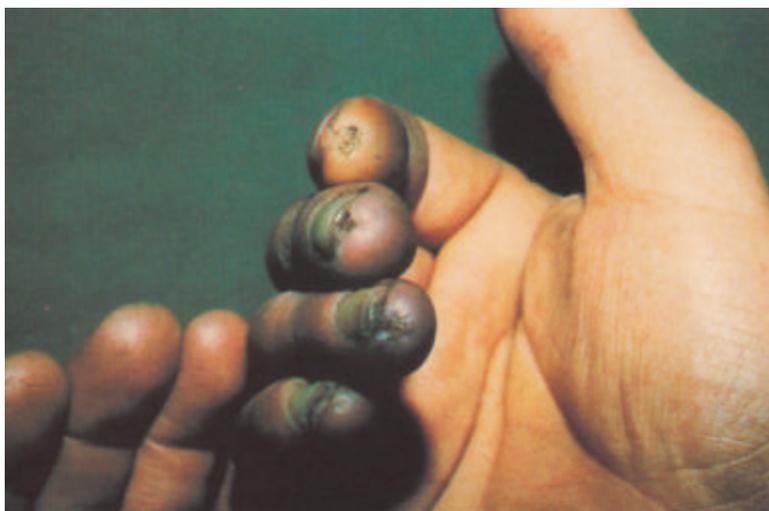


FIGURA 3.4 – Estágio 4 da Escala de Estocolmo.

FONTE - Pelmeier *et al.*, 1998.

TABELA 3.3 – Escala de Estocolmo para a classificação dos efeitos sensório-neural para a síndrome da vibração do segmento mão-braço.

Estágio	Sintomas
0 SN	Exposição à vibração, mas nenhum sintoma
1 SN	Intermitente dormência, com ou sem formigamento
2 SN	Intermitente ou persistente dormência, com reduzida percepção sensorial
3 SN	Intermitente ou persistente dormência, com reduzida discriminação tátil e/ou agilidade

FONTE - Pelmeier *et al.*, 1998.

### 3.3 Epidemiologia da síndrome da vibração do segmento mão-braço: uma introdução

Na Grã-Bretanha, o Departamento de Saúde e Seguridade Social (DHSS), entre 1984 e 1986, em setores industriais selecionados, foi estimado que aproximadamente 130.000 trabalhadores estão expostos, à vibração do segmento mão-braço, por períodos relativamente longos (Pelmeier *et al.*, 1998). As Figuras 3.5 e 3.6 apresentam o número de trabalhadores expostos por tipo de indústria e por tipo de ferramenta. A Tabela 3.4, apresenta o levantamento de alguns trabalhos realizados com o objetivo de medir a aceleração a que estão expostos os trabalhadores.

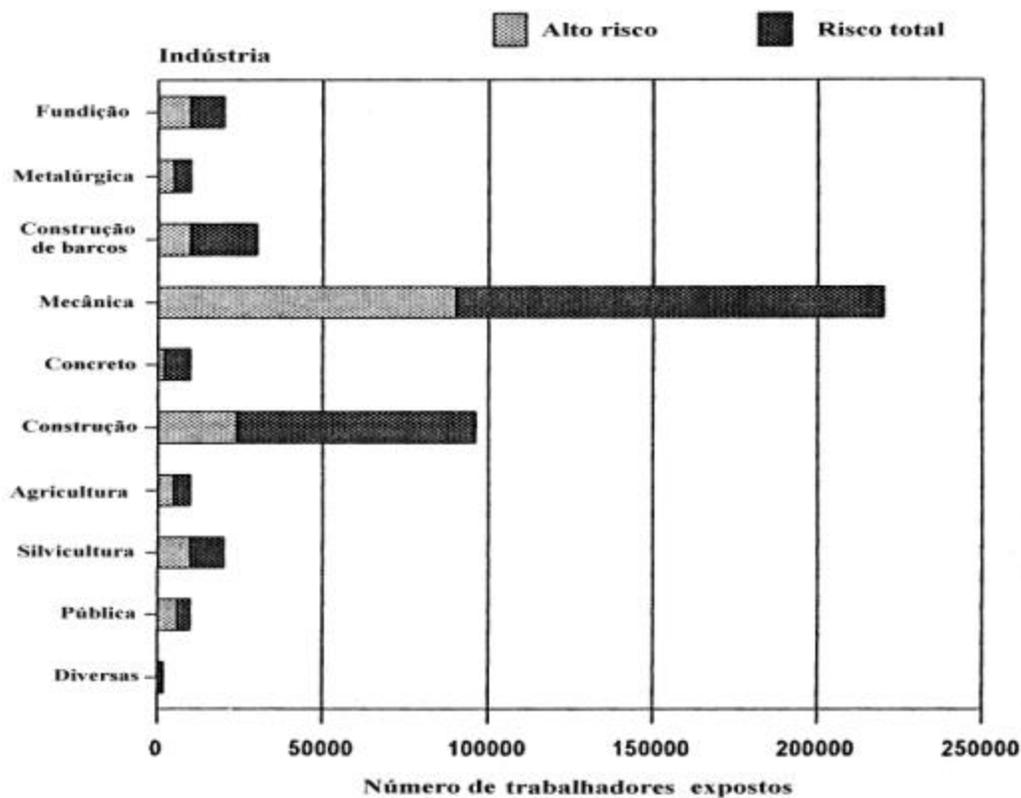


FIGURA 3.5 – Número de trabalhadores expostos à vibração do segmento mão-braço por tipo de indústria.

FONTE - Pelmeier *et al.*, 1998.

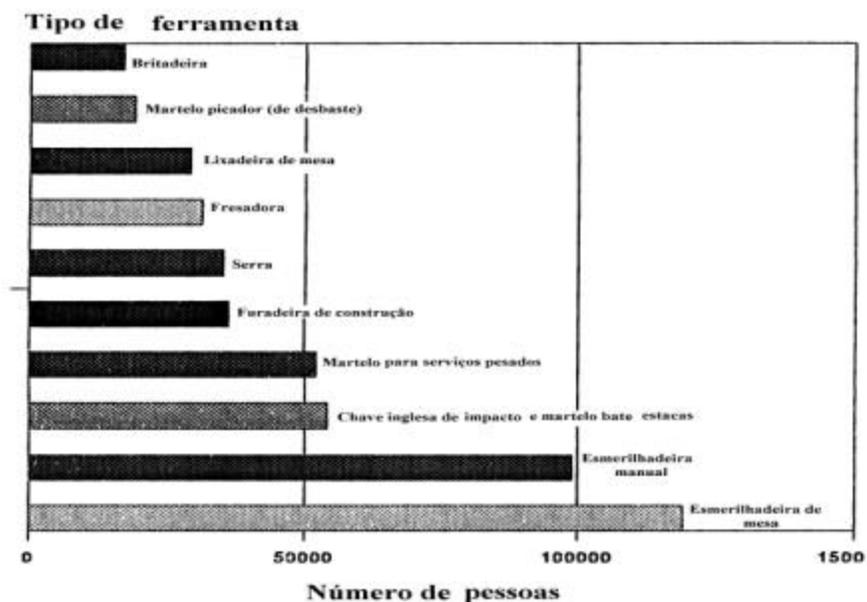


FIGURA 3.6 – Número de trabalhadores expostos à vibração do segmento mão-braço por tipo de ferramenta.

FONTE - Pelmeier *et al.*, 1998.

TABELA 3.4 – Níveis de aceleração de algumas ferramentas manuais.

Aceleração (m/s <sup>2</sup> )	Percentual de sintomas vasculares da síndrome da vibração do segmento mão-braço (%)	Tipo de ferramenta	Autor e data da publicação
2,01	80	martelo	Taylor <i>et al.</i> , 1984.
1,18	75	rebitador	Oliver <i>et al.</i> , 1979
424	45	esmerilhadeira	Bentley <i>et al.</i> , 1982.
382	86	esmerilhadeira	Agate <i>et al.</i> , 1946.
378	64	martelo	Matsumoto <i>et al.</i> , 1981.
362	50	furadeira	Chatterjee <i>et al.</i> , 1978.
339	70	furadeira	Robert <i>et al.</i> , 1977.
335	80	furadeira	Matsumoto <i>et al.</i> , 1977.
251	47	martelo	Behrens <i>et al.</i> , 1984.
205	31	martelo	Bovenzi <i>et al.</i> , 1980.
195	10	britadeira	Walker <i>et al.</i> , 1985.
125	96	esmerilhadeira	Pelmeier <i>et al.</i> , 1975.
122	100	esmerilhadeira	Starck <i>et al.</i> , 1983.
121	72	furadeira	Iwata 1968.
75	38	serra	Matsumoto <i>et al.</i> , 1979.
68	28	serra	Pelmeier <i>et al.</i> , 1982.
60	11	esmerilhadeira	Taylor <i>et al.</i> , 1975.
59	6	serra	Futatsuka 1984.
29	19	martelo	Behrens <i>et al.</i> , 1984.

FONTE – NIOSH, 1989.

Segundo o trabalho de Gupta *et al.* (1993), a ressonância do segmento mão-braço está ao redor da faixa de frequência de 100 a 250Hz em qualquer uma das direções definidas pela ISO 5349 (1986). Nilsson *et al.* (*apud* Gupta *et al.*, 1993), em 1989, estudaram os níveis de vibração, em trabalhadores de siderúrgicas, e verificaram que 8% dos empregados apresentavam problemas relacionados à vibração do segmento mão-braço, após 4 anos de exposição, 84% após 5 a 9 anos e 94% após 10 a 19 anos de exposição. Em mineiros, Brubaker *et al.* (*apud* Gupta *et al.*, 1993) em 1986, determinou que 25% dos trabalhadores, de 1 a 5 anos de exposição, apresentavam problemas em função da vibração. A Tabela 3.5, apresenta o percentual de trabalhadores, por tipo de indústria, que apresentam problemas relacionados à vibração do segmento mão-braço.

TABELA 3.5 – Percentual de trabalhadores que apresentam problemas relacionados à vibração do segmento mão-braço.

Indústria	Ano	País	Percentual (%)
Aviação	1991	Suécia	7
Siderurgia	1989	Suécia	42 a 45
Madeireiras	1984	Finlândia	18
Mineração	1984	Japão	84
Estradas de ferro	1986	China	13,4
Serralheria	1985	Japão	62,5
Mineração	1989	Suécia	41

FONTE - Gupta *et al.*, 1993.

Palmer *et al.* (2000) desenvolveram um trabalho para verificar o número de trabalhadores, na Grã-Bretanha, com exposição significativa à vibração do segmento mão-braço. Este trabalho permitiu também identificar as principais ocupações e indústrias onde esta exposição significativa ocorre. Concluíram que a exposição à vibração é significativa e que medidas urgentes precisam ser tomadas (Figuras 3.7 e 3.8 apresentam estes resultados).

O artigo de Shelmerdine (1999) estima que na atualidade, 1,2 milhões de trabalhadores, neste exato momento, estão expostos a níveis perigosos de vibração no ambiente de trabalho. Como é um problema de saúde significativo, escreveu um artigo, com o objetivo de informar as enfermeiras sobre os sintomas e sinais possivelmente devidos à exposição à vibração segmentada.

O trabalho de Mohammad *et al.* (1997) propõe limites a serem adotados no Japão para exposição de trabalhadores que utilizam ferramentas manuais vibrantes. Concluíram que uma aceleração r.m.s. ponderada de  $2,2 \text{ m/s}^2$ , é o limite permissível de exposição à vibração do segmento mão-braço, para um período de 8 horas. Salientaram que, no Japão, os problemas ocasionados pela exposição à vibração segmentada, são reconhecidos como uma doença ocupacional.

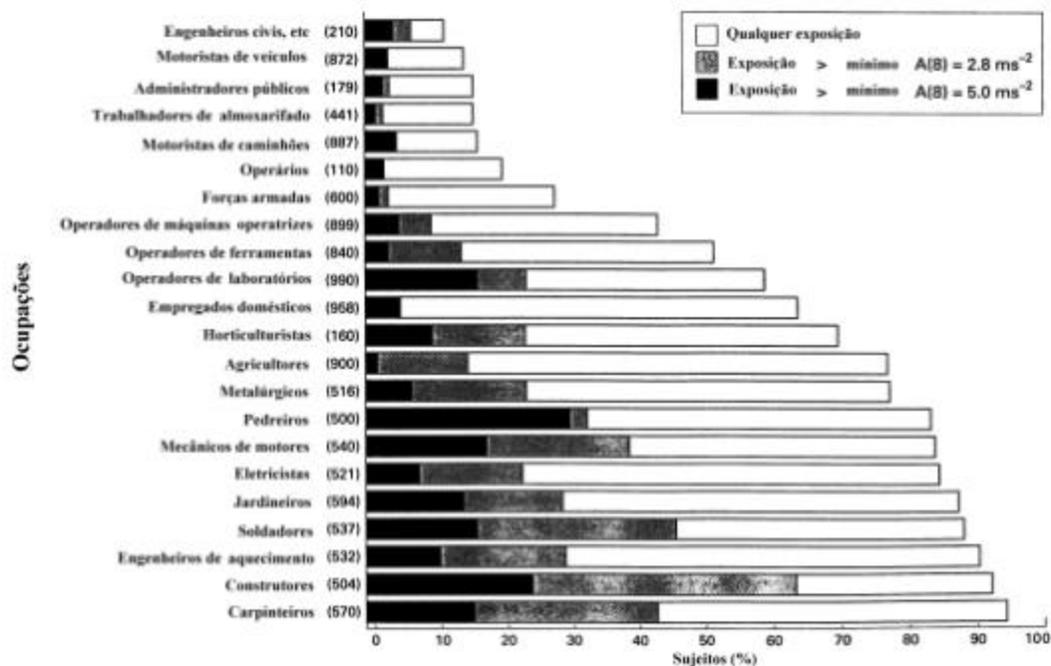


FIGURA 3.7 – Ocupações em que à exposição a vibração do segmento mão-braço é comum (apenas em homens).

FONTE - Palmer *et al.*, 2000.

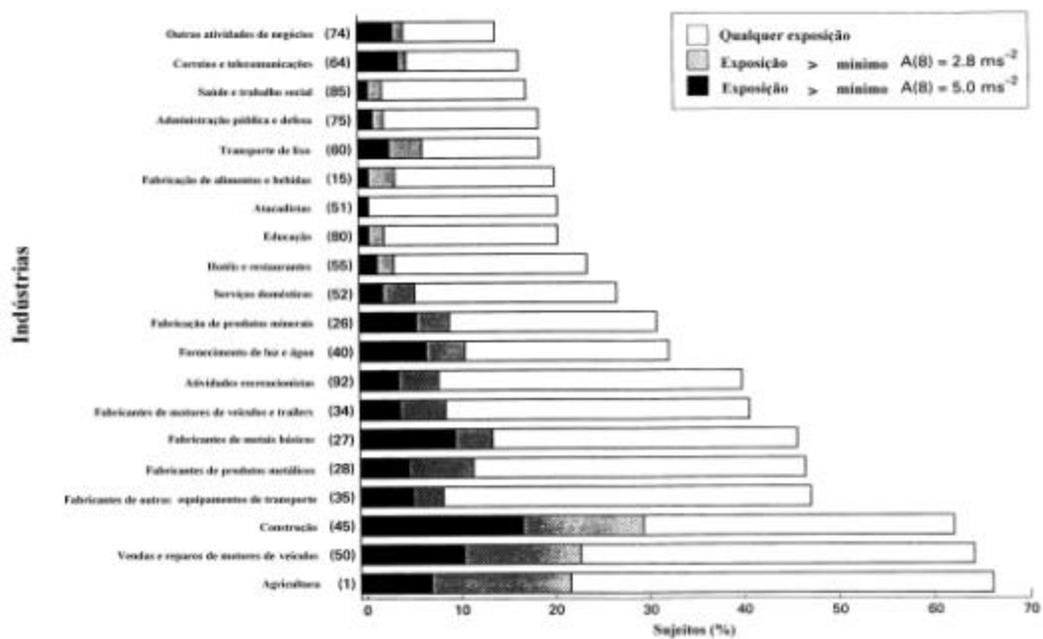


FIGURA 3.8 – Indústrias em que à exposição a vibração do segmento mão-braço é comum (apenas em homens).

FONTE - Palmer *et al.*, 2000.

### 3.4 Introdução às medições da vibração do segmento mão-braço

Segundo a norma ISO 5349 (1986), a vibração pode ser transmitida às mãos e braços dos operadores de ferramentas, por máquinas ou espaços de trabalho que causam vibração nesta região. A vibração segmentada é freqüentemente fonte de desconforto e possivelmente reduz a eficiência no trabalho. O uso habitual, de ferramentas manuais vibrantes, pode estar relacionado aos vários modelos de desordens que afetam principalmente os vasos sanguíneos, nervos, articulações, músculos ou tecidos da mão e do antebraço. Esta norma, tem como proposta a definição de métodos para fornecer a segurança ocupacional, em particular, ajudar no estudo da relação dose-efeito da vibração no segmento mão-braço.

As principais considerações da norma ISO 5349 (1986) estão relacionadas aos seguintes requerimentos gerais:

- a vibração transmitida às mãos é medida de acordo com o sistema de coordenadas ortogonais sugerido na Figura 3.9. Para as medições da vibração, a orientação do sistema de coordenadas pode ser definida com referência ao sistema de coordenadas basicêntrico originado, por exemplo, em uma superfície vibrante, cabo da ferramenta ou dispositivo acoplado ao cabo que é segurado pelas mãos;
- para evitar conflitos entre a terminologia proposta pela ISO 2631 (1997), quando a aceleração estiver relacionada ao segmento mão-braço, suas coordenadas devem ser seguidas pelo símbolo *h* (*hand*), como por exemplo, a aceleração na direção *z* deve ser apontada por  $a_{z,h}$ ;
- o parâmetro para avaliação da magnitude da vibração é a aceleração r.m.s. (*root-mean-square*) que deve ser expressa em  $m/s^2$ ;
- a aceleração r.m.s. deve ser compensada (ou ponderada) com os pesos fornecidos na Tabela 3.6. A faixa de frequência de interesse é de 6,3Hz a 1250Hz;
- a aceleração r.m.s. ponderada deve ser indicada por  $a_{direção,h,w}$ , como por exemplo,  $a_{z,h,w}$  que indica a aceleração r.m.s. ponderada na direção *z*;
- os transdutores devem ser localizados na superfície das mãos, ou em áreas de contato com as mãos que são consideradas pontos de entrada da vibração, como por exemplo, o cabo de uma ferramenta;

- podem ser realizadas medições em faixas de terços de oitava e/ou medições ponderadas em frequência;

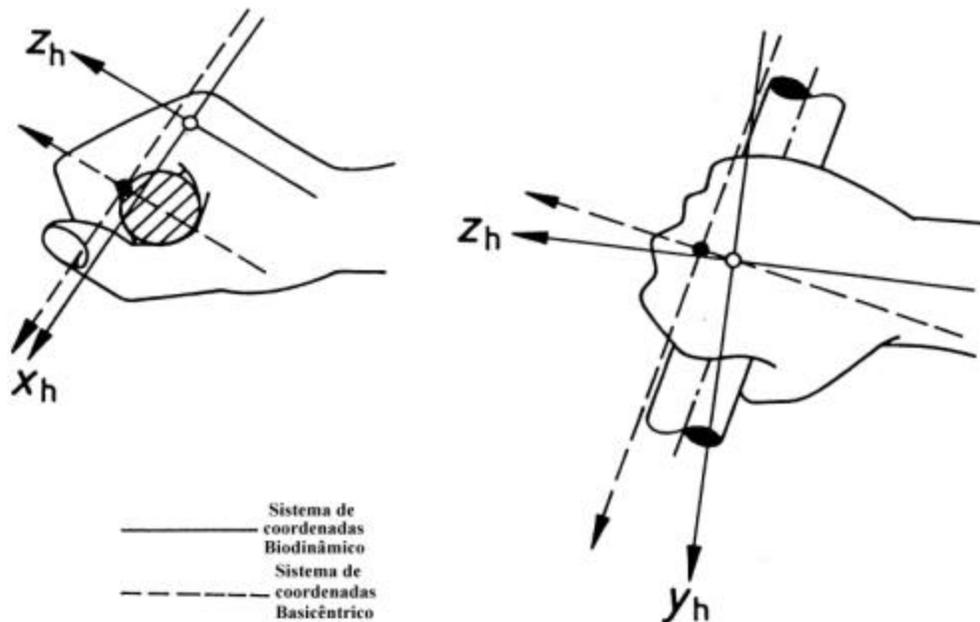


FIGURA 3.9 – Sistema coordenado.  
FONTE – ISO 5349, 1986.

TABELA 3.6 – Pesos para a aceleração ponderada.

Frequência (Hz)	Peso ( $K_j$ )	Frequência (Hz)	Peso ( $K_j$ )
6,3	1,0	100	0,16
8,0	1,0	125	0,125
10,0	1,0	160	0,1
12,5	1,0	200	0,08
16	1,0	250	0,063
20	0,8	315	0,05
25	0,63	400	0,04
31,5	0,5	500	0,03
40	0,4	630	0,025
50	0,3	800	0,02
63	0,25	1000	0,016
80	0,2	1250	0,0125

FONTE – ISO 5349, 1986.

- a origem do sistema de coordenadas da Figura 3.9 é próxima ao terceiro metacarpo;
- a aceleração compensada (ou ponderada) é obtida da mesma forma que definida pela norma ISO 2631 (1997) dada pela equação (2.2);
- as funções peso encontram-se no Apêndice.

A extensão dos danos causados nas mãos e/ou braços dependem da energia transmitida pela superfície vibrante. Movimentos de baixa frequência, ao redor de 5 a 20Hz, são potencialmente mais perigosos do que movimentos de alta frequência. Frequências abaixo de 2Hz e acima de 1500Hz não causam danos no segmento mão-bráço. O dano causado pela vibração transmitida às mãos, está relacionado a aceleração média que esta região está exposta durante um dia de trabalho, definido como exposição diária a vibração (HSE, 1994). Segundo as normas ISO 5349 (1986) e BS 6842 (1987) a exposição diária a vibração é definida pela aceleração equivalente  $(a_{h,w})_{eq(4)}$  em 4 horas de exposição (a norma utiliza como tempo de exposição diária 4 horas) ou simplesmente por A(4) e determina do por:

$$(a_{h,w})_{eq(4)} = \left[ \frac{1}{T_4} \int_0^t [a_{h,w}(t)]^2 dt \right]^{1/2} \quad (2.14)$$

onde  $(a_{h,w})_{eq(4)}$  é a aceleração r.m.s. ponderada equivalente para um período de 4 horas,  $a_{h,w}(t)$  é o valor instantâneo da aceleração ponderada e  $t$  é a duração total do dia de trabalho em horas ( $T_4 = 4horas$ ). Caso exista o interesse que a aceleração equivalente seja determinada em outro período de tempo, a relação da equação 2.15 pode ser utilizada para obter a aceleração equivalente em 4 horas:

$$(a_{h,w})_{eq(4)} = \left( \frac{T}{T_4} \right)^{1/2} \cdot (a_{h,w})_{eq(T)} \quad (2.15)$$

onde  $(a_{h,w})_{eq(T)}$  é a aceleração ponderada equivalente para um período de  $T$  horas.

O Anexo A, da norma ISO 5349 (1986), oferece uma relação dose-efeito entre a aceleração ponderada equivalente para 4 horas, no eixo dominante da vibração, e o período de exposição permitido antes que ocorram desordens vasculares na pessoa, como por exemplo, o aparecimento dos dedos brancos. A relação proposta é ilustrada em um gráfico denominado de *percentil*.

Para razões, entre 10 e 50% da população afetada, pela doença dos dedos brancos, e acelerações r.m.s. ponderadas de 2 a 50m/s<sup>2</sup>, os períodos de exposição são fornecidos e a relação dose-efeito pode ser aproximada pela equação 2.16:

$$Percentagem\_afetada = C \cong \left[ \frac{(a_{h,w})_{eg(4h)} \cdot E}{95} \right]^2 \quad (2.16)$$

onde E é o tempo de exposição em anos antes que os dedos brancos ocorram (a curva denominada de *percentil* apresentada na norma e reproduzida na Figura 3.10).

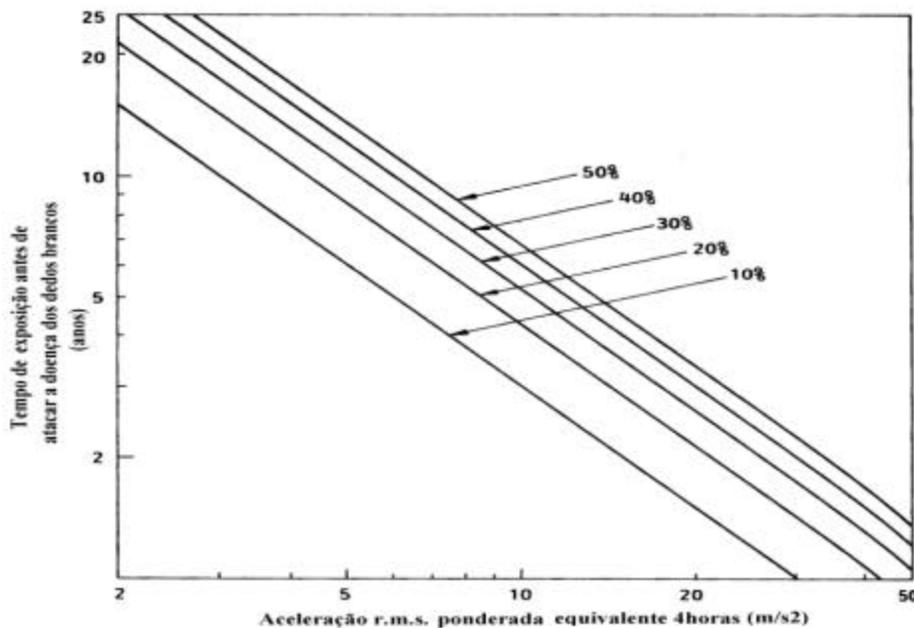


FIGURA 3.10 – Anos de exposição à aceleração r.m.s. ponderada equivalente para 4 horas, transmitida às mãos necessários para produzir a doença dos dedos brancos, na faixa de 10 a 50% das pessoas expostas.

FONTE – ISO 5349, 1986.

Segundo Griffin (1990) a equação 2.16 indica que o percentual de pessoas afetadas aumenta em proporção ao quadrado da duração da exposição (para uma aceleração constante), ou em proporção ao quadrado da aceleração (para uma particular duração da exposição). A Tabela 3.7 apresenta o número aproximado de anos de exposição à vibração antes que apareça

a doença dos dedos brancos para 10% e 50% da população exposta diariamente de 15 minutos a 8 horas.

TABELA 3.7 – Tempo de exposição por percentual de pessoas afetadas para um determinado tempo de exposição à uma aceleração r.m.s. ponderada.

$a_{h,w}$ r.m.s. ( $m/s^2$ )	Anos de exposição											
	Tempo de exposição diária (horas)											
	10% afetado						50% afetado					
	0,25	0,5	1	2	4	8	0,25	0,5	1	2	4	8
2	>25	>25	>25	21,2	15,0	10,6	>25	>25	>25	>25	>25	23,8
5	24,0	17,0	12,0	8,5	6,0	4,2	>25	>25	>25	19,0	13,4	9,5
10	12,0	8,5	6,0	4,2	3,0	2,1	>25	19,0	13,4	9,5	6,7	4,8
20	6,0	4,2	3,0	2,1	1,5	1,1	13,4	9,5	6,7	4,8	3,4	2,4
50	2,4	1,7	1,2	0,8	0,6	0,4	5,4	3,8	2,7	1,9	1,3	1,0

FONTE – Griffin, 1990.

O governo da Grã-Bretanha definiu um limite (denominado de limite de ação) de aceleração r.m.s. ponderada equivalente para 8 horas de  $2,8 m/s^2$ . A Tabela 3.8, indica as magnitudes da vibração correspondentes a esta aceleração para vibração senoidal no período de 1s a 24 horas.

TABELA 3.8 - Acelerações r.m.s ( $m/s^2$ ) correspondendo ao limite de ação dado por  $(a_{h,w})_{eq.(8h)} = 2,8 m/s^2$  r.m.s.

Freq. (Hz)	Acelerações r.m.s. ( $m/s^2$ )										
	Duração da exposição										
	1s	4s	16s	1min	4min	16min	1h	4h	8h	16h	24h
8	475	237	119	61	31	15	7,9	4,0	2,8	2,0	1,6
16	475	237	119	61	31	15	7,9	4,0	2,8	2,0	1,6
31,5	935	468	234	121	60	30	15,6	7,8	5,5	3,9	3,2
63	1871	936	468	242	121	60	31,2	15,6	11,0	7,8	6,4
125	3712	1856	928	480	240	120	61,9	30,9	21,9	15,5	12,6
250	7425	3712	1856	959	479	240	123,7	61,9	43,8	30,9	25,3
500	14849	7425	3712	1917	959	479	247,5	123,7	87,5	61,9	50,5
1000	29699	14849	7425	3834	1917	959	495,0	247,5	175,0	123,7	101,0

FONTE – Griffin, 1990.

O American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) é uma organização não governamental que, em 1984, editou o primeiro padrão, nos Estados Unidos da América, sobre vibrações no segmento mão-braço, conhecido como *Threshold Limit Values* (TLVs). A Tabela 3.9 fornece os limites definidos pelo ACGIH.

TABELA 3.9 – TLVs para a exposição à vibração no segmento mão-braço nas direções xh, yh e zh (as mesmas definidas na norma ISO 5349 de 1986).

Duração total diária da exposição	Valores limites para aceleração r.m.s. ponderada ( $m/s^2$ )
4 horas e menos do que 8	4
2 horas e menos do que 4	6
1 hora e menos do que 2	8
Menos do que 1 hora	12

FONTE – *Pelmear et al.*, 1998.

Segundo *Pelmear et al.* (1998) o padrão ANSI S3.34 (*American National Standards Institute*) foi publicado em 1986 e estabeleceu a curva mostrada na Figura 3.11. Este padrão utiliza os pesos definidos na ISO 5349 e deve ser utilizado separadamente para cada eixo da medição. Este padrão é excedido se os dados ultrapassam as curvas de exposição diárias. A Figura 3.12, reproduz o padrão para a taxação da vibração do segmento mão-braço, definido pelo British Standards Institute (BS) – DD ENV 25349 de 1993 (ainda em desenvolvimento). Segundo *Pelmear et al.* (1998), no Japão pretende-se limitar o nível de aceleração nas ferramentas ao redor de  $4,5 \pm 1,2m/s^2$ .

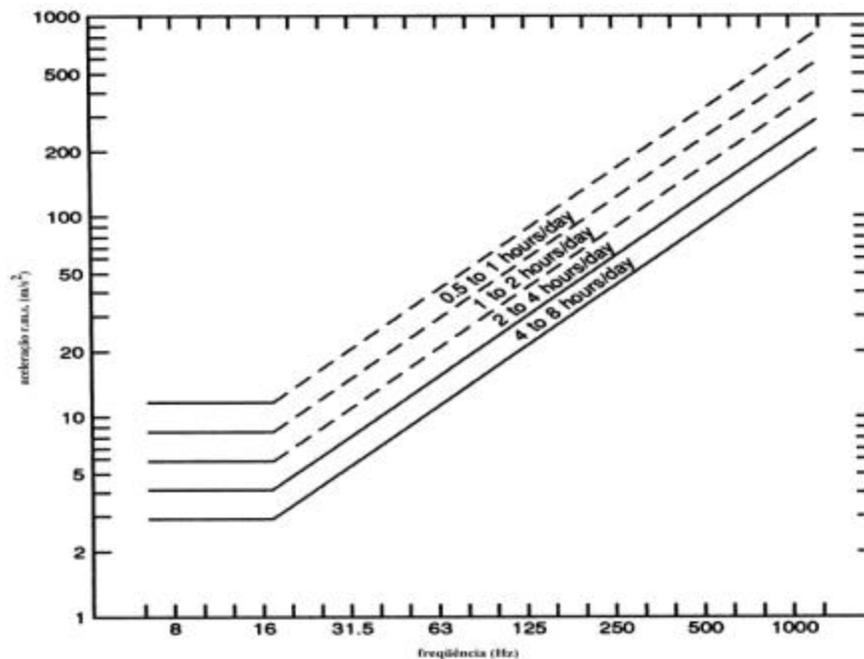


FIGURA 3.11 – Zonas de exposição definidas pela norma ANSI S3.34 de 1986.

FONTE - *Pelmear et al.*, 1998.

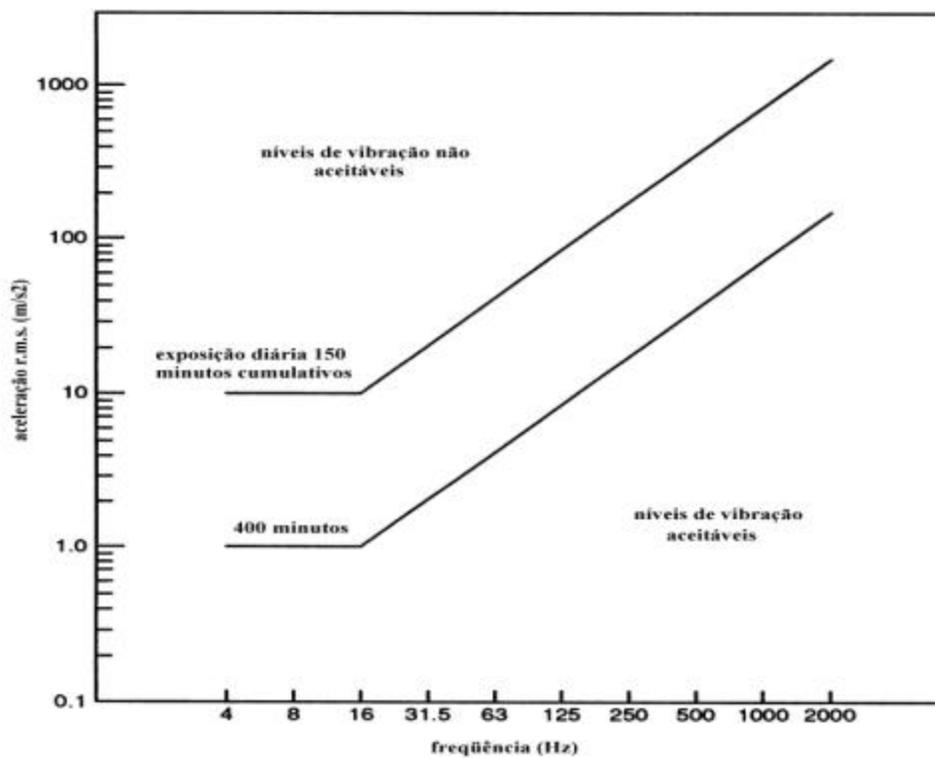


FIGURA 3.12 – Proposta para o padrão BS de DD ENV 25349, 1993.  
FONTE - Pelmear *et al.*, 1998.

## **CAPÍTULO 4**

### **PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

#### **4.1 – Caracterização dos ensaios experimentais**

Como o interesse na saúde ocupacional é relativamente recente no país (Bedrokow *et al.*, 1997), e o impacto das vibrações no corpo humano e no segmento mão-braço é um assunto de pouca divulgação no Brasil (Saliba, 1996), optou-se, por trabalhar no ramo de transporte de pessoas, em função da sua grande abrangência, importância social e econômica em qualquer cidade. Após contatos iniciais, com a direção da *Companhia Carris Porto-Alegrense*, e implementação de um convênio entre a universidade e a empresa, foi possível utilizar seus ônibus e contar com a ajuda dos motoristas para os ensaios deste trabalho. Cabe ressaltar também, o apoio das empresas *Marcopolo S.A.* e *SLC - John Deere* no fornecimento dos bancos utilizados nos ônibus, tratores e colheitadeiras, cuja contribuição possibilitou a análise biodinâmica dos referidos assentos.

##### **4.1.1 – Ônibus urbanos**

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 na empresa. A Tabela 4.1, apresenta um resumo de dados a respeito dos ônibus utilizados nos ensaios e seu nome pelo qual será denominado no transcorrer deste trabalho. Para um melhor entendimento e comparação com os modelos vistos, no dia a dia, as Figuras 4.1 a 4.4 apresentam as fotos dos modelos mais utilizados na cidade.

TABELA 4.1 – Modelos de ônibus utilizados nos ensaios.

Características básicas	Fabricantes do chassi						
	F1	F1	F2*	F2*	F2	F3	F3
Ano do veículo	1996	1997	1991	1992	1998	1995	1998
Denominação neste trabalho	F1_96	F1_97	F2_91	F2_92	F2_98	F3_95	F3_98
Modelo do chassi	MCH1	MCH1	MCH2	MCH2	MCH3	MCH4	MCH4
Tamanho do chassi	Normal	Normal	Normal	Normal	Estendido	Articulado	Articulado
Fabricante da carroceria	FC1	FC2	FC2	FC2	FC3	FC2	FC4
Modelo da carroceria	MC1	MC2	MC3	MC3	MC4	MC2	MC5
Modelo do motor	MM1	MM1	MM2	MM2	MM3	MM4	MM5
Combustível	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
Potência do motor (HP)	180	180	180	180	210	245	245
Localização do motor	Frente	Frente	Frente	Frente	Atrás	Centro	Centro
RPM (ponto morto)	760 a 800	760 a 800	600	600	600	530 ± 50	530 ± 50
RPM máximo (livre)	2900 a 3000	2900 a 3000	–	–	–	2200 ± 50	2200 ± 50
Peso aproximado do ônibus (ton.)	11	11	11	11	12	18	18
Caixa	Manual	Manual	Manual	Manual	Automática	Automática	Automática
Lotação sentada	46	46	45	45	47	62	59
Lotação em pé	40	40	43	43	39	83	84

\*Modelos mais utilizados nas empresas de ônibus de Porto Alegre (dados de 2000).



FIGURA 4.1 – Ônibus Volkswagen – chassi normal.



FIGURA 4.2 – Ônibus Mercedes – chassi normal.



FIGURA 4.3 – Ônibus Mercedes – chassi estendido.



FIGURA 4.4 – Ônibus Volvo – chassi articulado.

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 de Porto Alegre. O percurso escolhido foi à linha transversal T4 (denominada de linha 104) por ser uma das mais usadas, apresentar dois tipos de pisos: asfalto e paralelepípedo e ter uma distância da ordem de 18km. O esboço do trajeto está apresentado na Figura 4.5, que apresenta as principais avenidas, ruas, início e fim do trajeto, além do que, os terminais e pontos de referência. Cabe ressaltar que as Ruas Sapé, Adão Bains e Jahir B. de Almeida possuem pisos de paralelepípedo, enquanto que as Avenidas Aparício Borges e Teresópolis apresentam, em alguns trechos, asfalto extremamente deteriorado e, nas restantes, o piso é de asfalto com boa manutenção.

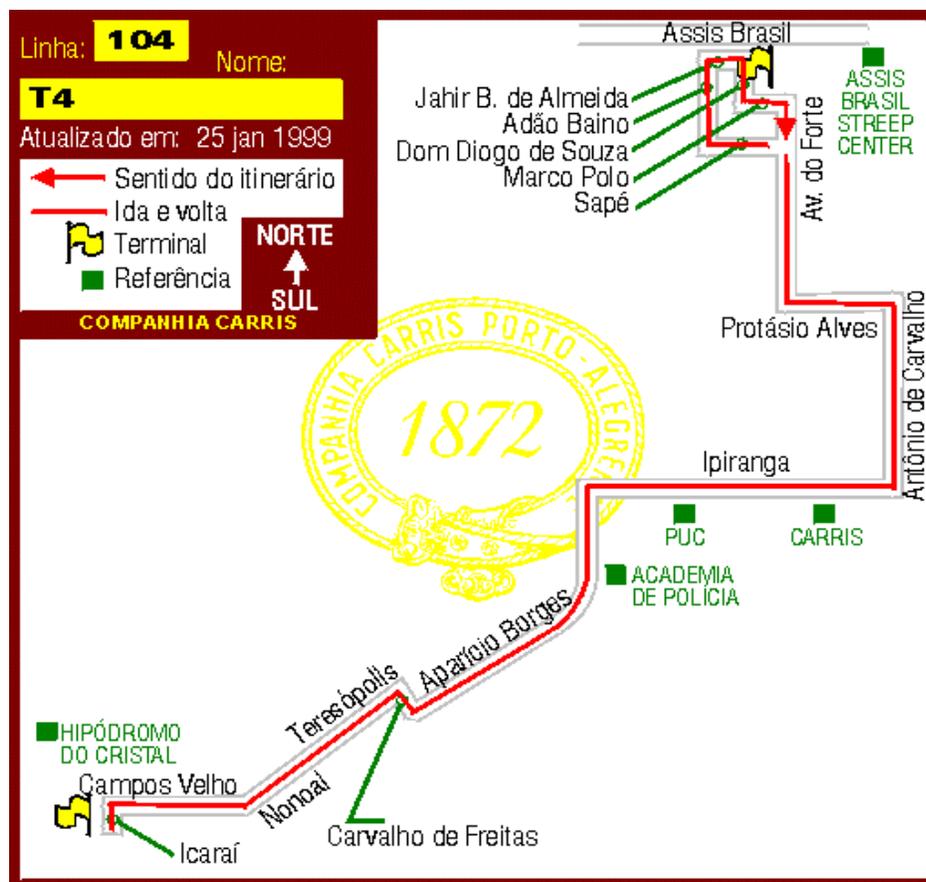


FIGURA 4.5 – Trajeto da linha 104 (transversal T4).

FONTE – Companhia Carris Porto-Alegrense, 1999 ([www.carris.com.br](http://www.carris.com.br)).

Os ensaios foram realizados no período de 16 de maio a 27 de julho (2000), em geral, no turno da manhã, das 09 horas às 11 horas e 40 minutos e, excepcionalmente, no turno da tarde, das 14 horas às 16 horas e 45 minutos. A Tabela 4.2 apresenta o número de ônibus utilizados e a quantidade de ensaios em cada viagem. Cada viagem, consistia do trajeto normal da linha T4, saindo do pátio da empresa, em direção a zona sul, até o terminal na Icaraí. Em seguida, a viagem seguia até o terminal na zona norte (rua Dom Diogo de Souza) e, após o retorno, até o pátio da empresa. Cabe ressaltar que os dados da Tabela 4.2 devem-se à disponibilidade de ônibus, e que todos os veículos utilizados neste trabalho estavam em perfeitas condições de uso.

TABELA 4.2 – Número de viagens e ensaios por modelos de ônibus.

Modelos	Prefixos usados	Viagens	Ensaios em cada viagem	Motorista
---------	-----------------	---------	------------------------	-----------

F1_96	0126	1	39	A
F1_97	0087	1	40	A
F2_91	0051	1	34	B
	0056	1	40	B
	0225	1	47	A
F2_92	0060	1	39	A
	0061	1	60	A
F2_98	0021	1	44	A
F3_95	0264	1	43	B
	0268	1,5	69	B
F3_98	0196	1,5	70	B
	0199	1,5	70	B

Uma viagem indica que a rota foi completada: pátio da Carris – Zona Sul – Zona Norte – pátio da Carris e uma viagem e meia indica que foi possível utilizar o ônibus por mais tempo, realizando a seguinte rota: pátio da Carris – Zonal Sul – Zona Norte – Zona Sul – pátio da Carris. Pode-se perceber que dois motoristas participaram deste trabalho, em função da disponibilidade de cada um. A Tabela 4.3 apresenta as características básicas dos motoristas participantes.

TABELA 4.3 – Características dos motoristas participantes.

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

As medições foram realizadas no eixo z, segundo a ISO 2631-1 (1997), para as medições no corpo humano, e no eixo x para o segmento mão-braço, segundo a ISO 5349 (1986), 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 vibração no segmento mão-braço (direção x, segundo a ISO 5349) foi medida na mão esquerda (no *terceiro metacarpal* e no *triquetrum carpal*) e no ombro direito (trapézio). A Figura 4.6 apresenta um esboço da localização dos acelerômetros nestes ensaios.

Quatro micro-acelerômetros (Endevco Isotron 2250A/AM1-10) foram usados para medir os níveis de vibração na mão, no pulso, ombro do motorista e no assento do banco (acelerômetros 1, 2, 3 e 4 da Figura 4.6). Na base do banco (piso do ônibus) foi utilizado um acelerômetro uniaxial (Brüel & Kjaer 4338). Os dados foram adquiridos ao longo do trajeto T4, representando de 39 a 70 ensaios por viagem (dez segundos em cada ensaio), ou seja, de 195 a 350 canais (um canal para cada acelerômetro). 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 encontra-se no Apêndice 1) como sugeridos pela ISO2631-1 (1997). As Figuras 4.7 a 4.11, apresentam fotos detalhando alguns momentos do arranjo experimental usado para medição dos níveis de vibração.

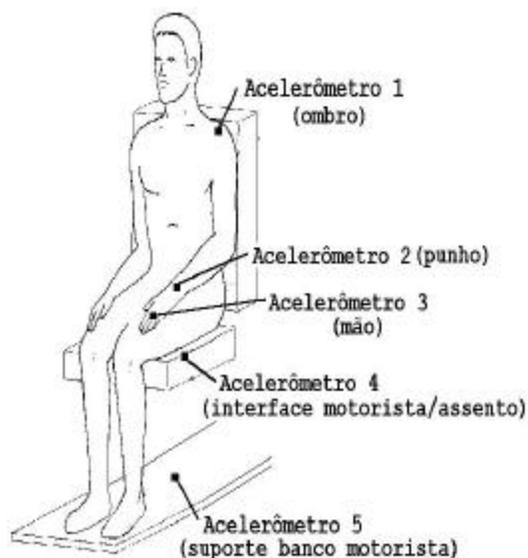


FIGURA 4.6 – Esboço da localização dos acelerômetros utilizados para medir os níveis de vibração (acelerômetro #5: B&K e restantes da Endevco).

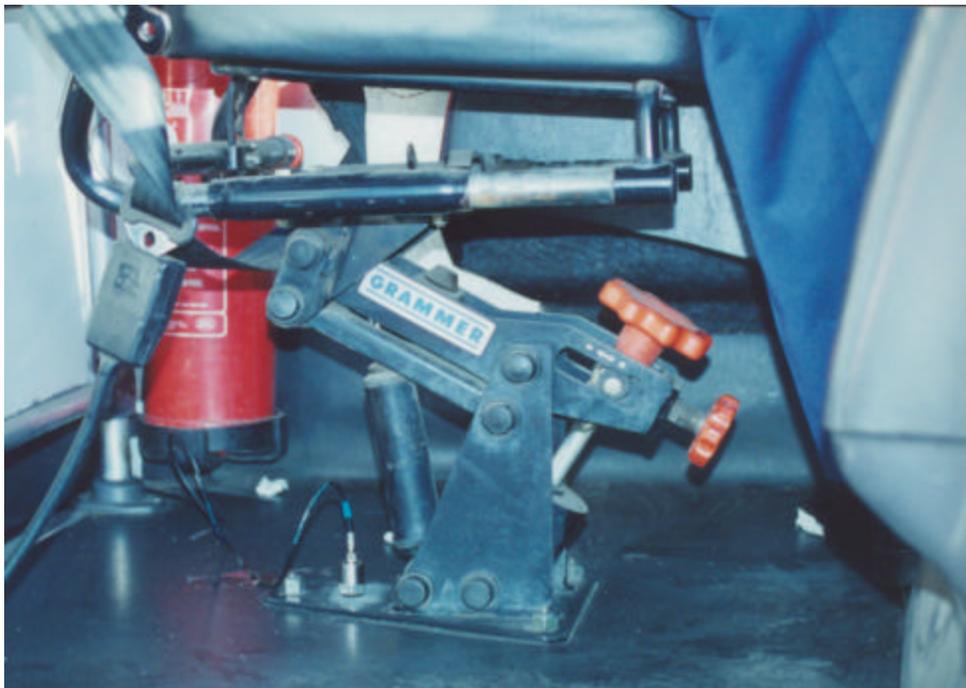


FIGURA 4.7 – Acelerômetro da Brüel & Kjaer, modelo 4338, utilizado para medir a vibração no eixo z, segundo a norma ISO 2631-1, 1997.



FIGURA 4.8 – Interface utilizada para permitir a colocação do acelerômetro entre o assento e o motorista.



FIGURA 4.9 – Micro-accelerômetros fixados no pulso e na mão do motorista para medição dos níveis de vibração.



FIGURA 4.10 – Detalhe da localização dos micro-acelerômetros fixados no pulso e na mão do motorista.



FIGURA 4.11 – Detalhe da localização do micro-acelerômetro fixado no ombro do motorista.

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 4.12. O sistema de alimentação consistiu no uso das baterias do próprio ônibus, de um inversor de frequência e de um estabilizador, conforme pode ser visto na Figura 4.13.

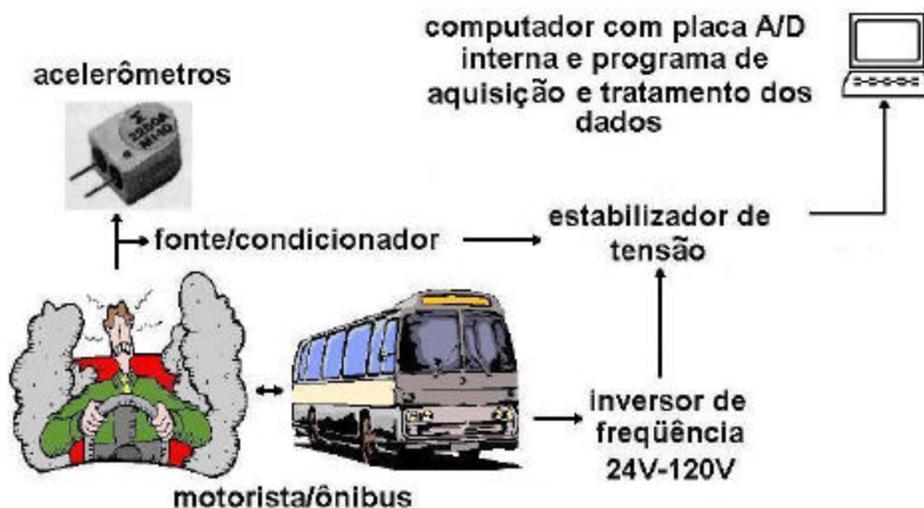


FIGURA 4.12 – Esboço do arranjo experimental.

Resumindo, o sistema experimental é composto por:

- quatro micro-acelerômetros Endevco Isotron - modelo 2250A/AM1-10 (faixa de frequência de 4Hz a 2000Hz) de massa 0,4gramas;
  - um acelerômetro Brüel & Kjaer – modelo 4338 (faixa de frequência de 4Hz a 4000Hz) de massa 1,0grama;
  - duas fontes condicionadoras e filtros Endevco Isotron;
  - um inversor de frequência 24V – 120V;
  - um estabilizador de tensão da SMS;
  - cabos apropriados para bateria-inversor de frequência;
  - cabos apropriados para os acelerômetros;
  - uma placa A/D PCMCIA da *Computer Boards*, modelo PCM-DAS16/330.
- Especificações técnicas principais: 16 canais de entradas analógicas, resolução

do A/D de 12 bits, taxa de amostragem: 300kHz, limites de tensão de entrada:  $\pm 5V$ , velocidade de conversão:  $25\mu s$  ;

- um computador pessoal compatível com a família IBMPC. Configuração básica: Pentium 133MHz, 32MB de RAM;
- programa de aquisição e processamento de sinais, desenvolvido no Laboratório de Vibrações da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para adquirir e processar sinais da placa A/D.



FIGURA 4.13 – Detalhe das baterias e cabos utilizados para alimentação dos equipamentos.

#### 4.1.2 – Avaliação de um banco de motorista de ônibus e de colheitadeira

Com o objetivo de verificar, o comportamento dinâmico dos principais bancos utilizados em veículos, foi desenvolvida, no Laboratório de Vibrações da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, uma mesa vibratória, para gerar vibrações senoidais com faixa de frequência controlada. As fotos da Figura 4.14, mostram a base da mesa vibratória fixada em uma parede e os mancais com o eixo utilizado. A Figura 4.15 apresenta o sistema polia-motor fixado ao eixo, com disco excêntrico, utilizado para gerar o movimento vertical senoidal. Polias de diferentes diâmetros (40cm, 35cm, 30cm e 25cm), fixadas nos eixos do motor e da mesa vibratória, fornecem as faixas de frequência desejadas: 9Hz a 15Hz. A relação que permite obter a frequência desejada em função da relação dos diâmetros das polias é fornecida pela equação 4.1:

$$frequência\_desejada = \frac{diâmetro\_polia\_motor}{diâmetro\_polia\_mesa\_vibratória} \times \frac{RPM\_motor}{60} \quad [Hz] \quad (4.1)$$

As dimensões<sup>7</sup> do sistema experimental são:

- base da mesa vibratória: espessura: 0,5cm, largura: 50,0cm, comprimento: 50,0cm;
- 02 molas de automóvel da *General Motors* – modelo: Chevette;
- 01 eixo de 18,0mm de diâmetro;
- 03 mancais;
- polias tipo A de diferentes diâmetros (40cm, 35cm, 30cm e 25cm);
- 01 correia não dentada tipo A – 80,0mm;
- 01 motor 1/2CV; 220V; 1,9A; 1670RPM com polia de 14cm de diâmetro;
- 01 disco excêntrico, espessura: 1,5cm e diâmetro: 10,0cm.

<sup>7</sup> As dimensões foram deixadas nas unidades que normalmente são encontradas no mercado.

A Tabela 4.4 apresenta as frequências de excitações aproximadas, para as polias usadas, no eixo da mesa vibratória.

TABELA 4.4 – Frequências de excitação em função das polias usadas.

Polia usada (cm)	Denominação no trabalho	Polia motor (cm)	Frequência de excitação (Hz)
40	Polia A	14	9
35	Polia B	14	11
30	Polia C	14	13
25	Polia D	14	15



(a)



(b)



(c)

FIGURA 4.14 – Detalhes da mesa vibratória: (a) base da mesa vibratória e sua fixação; (b) mancais e eixo que suporta a polia; (c) banco fixo na base da mesa vibratória.

Cabe observar que o sistema desenvolvido não permitiu gerar uma frequência de excitação na faixa de 4Hz em função do tamanho disponível das polias no mercado, porém a função do aparato experimental continua a mesma, ou seja, avaliar o comportamento dinâmico dos assentos em particulares faixas de frequência. É interessante registrar, que este aparato será utilizado em outro trabalho e aperfeiçoado em função deste.



FIGURA 4.15 – Mesa vibratória com detalhe para o sistema polia-motor.

A Figura 4.16, mostra o acelerômetro fixado na base do banco e a interface utilizada entre o banco e a pessoa. Esta interface está sendo utilizada por estar dentro das especificações do dispositivo definido por Griffin (1990) e norma BS 6055 (1981). Cabe ressaltar que o dispositivo utilizado nos ensaios dos ônibus é similar aos utilizados por outros autores, porém, após a aquisição da referida norma, optou-se por utilizar uma interface similar aos parâmetros definidos pela norma. A interface é um disco de borracha rígida de diâmetro de 12cm e com um espaço central utilizado para colocação do acelerômetro (na foto o mesmo está protegido por uma fita adesiva).

Este ensaio utiliza dois bancos da marca Grammer que são os mais utilizados nos ônibus urbanos (em todos os ônibus da Carris participantes deste trabalho), tratores e colheitadeiras

mostrados nas Figuras 4.17 a 4.18. Os ensaios foram realizados com 1 pessoa (não motorista profissional de idade de 22 anos), com 4 frequências de excitação (da Tabela 4.4) e com 2 ângulos para o encosto (90° e 120°).



(a)



(b)

FIGURA 4.16 – Detalhe da localização dos acelerômetros utilizados nos ensaios: (a) acelerômetro B&K na base do banco e (b) interface utilizada entre o banco e as pessoas participantes dos ensaios.

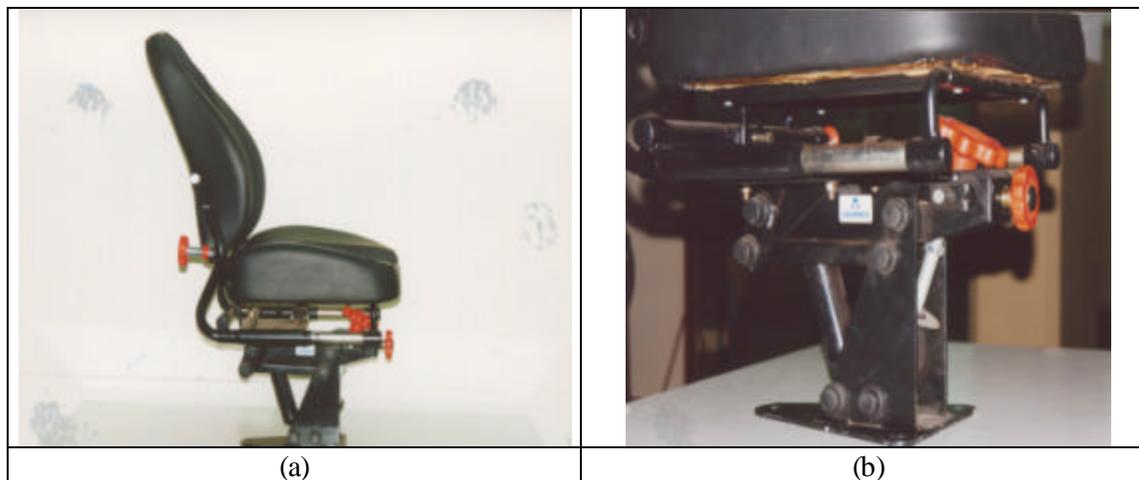


FIGURA 4.17 – Banco Grammer utilizado nos ônibus urbanos da Carris participantes deste trabalho: (a) banco e (b) detalhe dos dispositivos de ajustes horizontal e vertical.

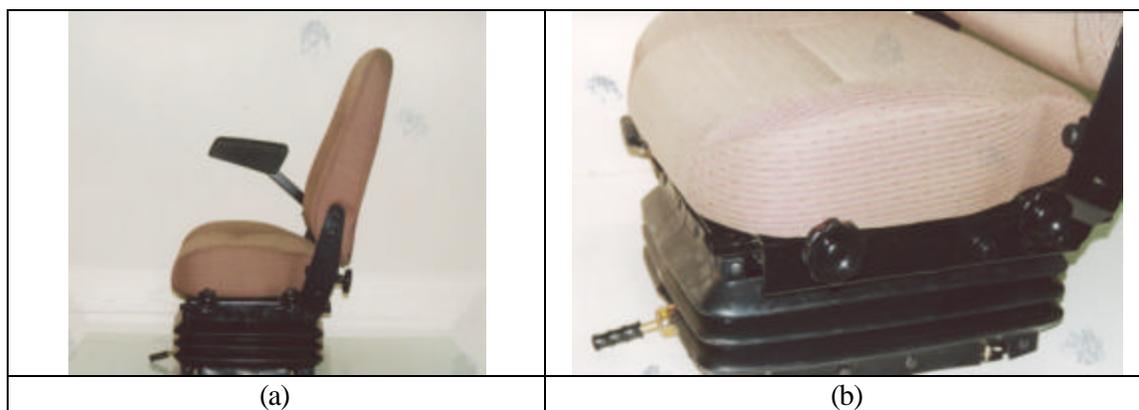


FIGURA 4.18 – Banco Grammer utilizado nas colheitadeiras da SLC: (a) banco e (b) detalhe dos dispositivos de ajustes horizontal e vertical.

Resumindo, o sistema experimental é composto por:

- um micro-acelerômetro Endevco Isotron - modelo 2250A/AM1-10 (faixa de frequência de 4Hz a 2000Hz);

- um acelerômetro Brüel & Kjaer – modelo 4338 (faixa de frequência de 4Hz a 4000Hz);
- uma fonte condicionadora e filtros Endevco Isotron;
- cabos apropriados para os acelerômetros;
  
- uma placa conversora A/D PCMCIA da *Computer Boards*, modelo PCM-DAS16/330. Especificações técnicas principais: 16 canais de entradas analógicas, resolução do A/D de 12 bits, taxa de amostragem: 300kHz, limites de tensão de entrada:  $\pm 5V$ , velocidade de conversão:  $25\mu s$  ;
- um computador pessoal compatível com a família IBMPC. Configuração básica: Pentium 133MHz, 32MB de RAM;
- programa de aquisição e processamento de sinais, desenvolvido no Laboratório de Vibrações da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para adquirir e processar sinais da placa A/D.

#### **4.2 – Programa de aquisição e tratamento dos dados experimentais**

Todos os programas computacionais, utilizados neste trabalho, foram desenvolvidos na linguagem de programação gráfica HPVee (*Hewlett-Packard Visual Engineering Environment*), que permite desenvolver programas, na sua linguagem gráfica padrão, e/ou nas linguagens contextuais convencionais, como por exemplo, linguagem C, C++, Visual Basic, Pascal, Fortran e HP Basic. Além disso, a linguagem gráfica HPVee é suportada pela maioria das plataformas computacionais e sistemas operacionais existentes no mercado. O fluxograma principal do programa está representado na Figura 4.19.

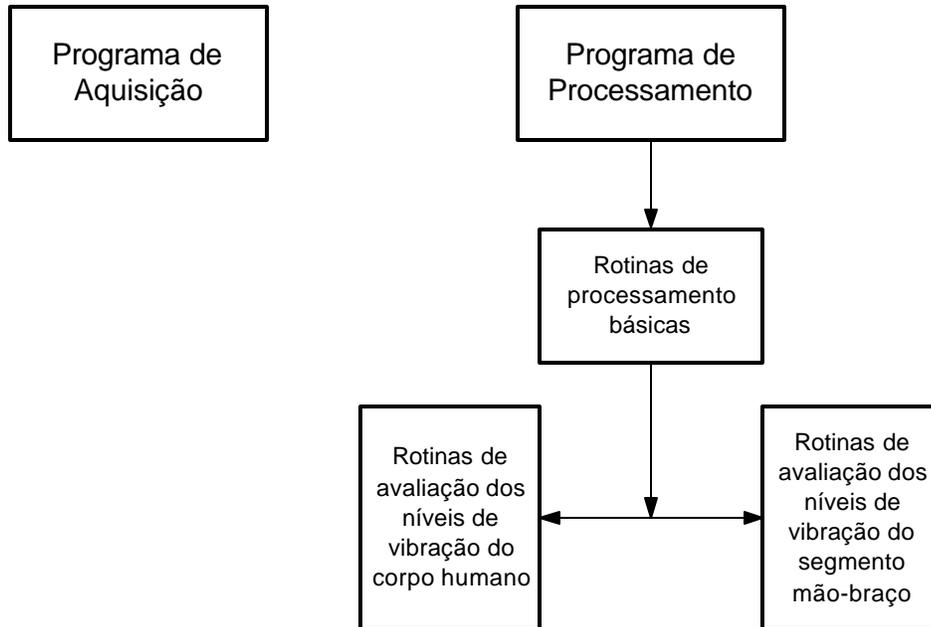


FIGURA 4.19 – Fluxograma principal do programa de aquisição e processamento.

O programa de aquisição, utiliza as bibliotecas fornecidas pelo fabricante da placa de aquisição e conversão de dados (*Computer Boards*), que permitem seleccionar o processo de varredura da placa A/D, como por exemplo, barramento da placa, quantidade de canais

utilizados nos ensaios, taxa de amostragem utilizada, faixa de tensão trabalhada (no caso, é de  $\pm 5V$ ), se a placa utilizará relógio interno ou externo (no caso, utiliza relógio interno), o tempo total do ensaio e etc. Além disso, o fabricante da placa fornece um programa que realiza a calibração da referida placa. A Figura 4.20, reproduz a janela principal do programa de aquisição de dados da placa A/D PCM-DAS16/330 da *Computer Boards*. 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. Pode-se visualizar os canais adquiridos, através deste programa, e seu fluxograma encontra-se na Figura 4.21.

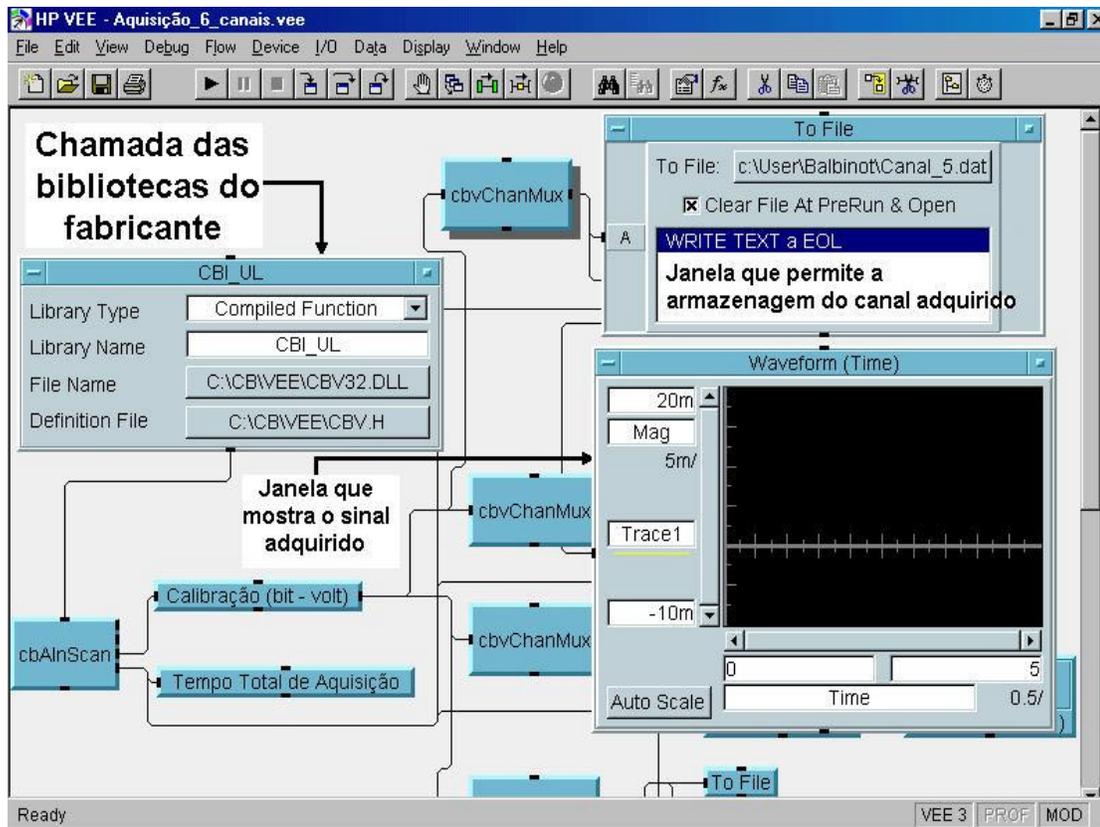


FIGURA 4.20 – Parte da janela do programa de aquisição, salientando uma das janelas que permitem visualizar o canal adquirido.

O programa de processamento é dividido em três etapas principais: rotinas de processamento básicas (FFT, r.m.s., média, desvio padrão, etc.), rotinas de avaliação dos níveis de vibração do corpo humano e rotinas de avaliação dos níveis de vibração do segmento mão-braço. As rotinas de processamento básicas, já eram utilizadas no Laboratório de Vibrações da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e, foram incorporadas ao programa de processamento. As Figuras 4.22 e 4.23, apresentam o fluxograma resumido do programa de processamento (rotinas básicas) e um detalhe da janela principal do HPVee.

As Figuras 4.24 e 4.25, apresentam o fluxograma das rotinas de avaliação dos níveis de vibração do corpo humano e a janela de interação com o usuário das referidas rotinas. Percebe-se no fluxograma, que o arquivo lido nas rotinas anteriores (Figura 4.23), passa pelo processo de filtragem e após pela ponderação, segundo as funções fornecidas na norma ISO 2631-1 (1997), que foram reproduzidas no Apêndice 1 deste trabalho. Após este processo, é possível obter e estudar os parâmetros estatísticos, como por exemplo, média, desvio padrão, VDV, eVDV, etc, para cada frequência de 1/3 de oitava individual ou seu valor médio global (considerando a média de toda a banda 1/3 de oitava). Outro ponto a salientar, desta etapa do programa de processamento, é a representação gráfica dos dados adquiridos, comparados com 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.

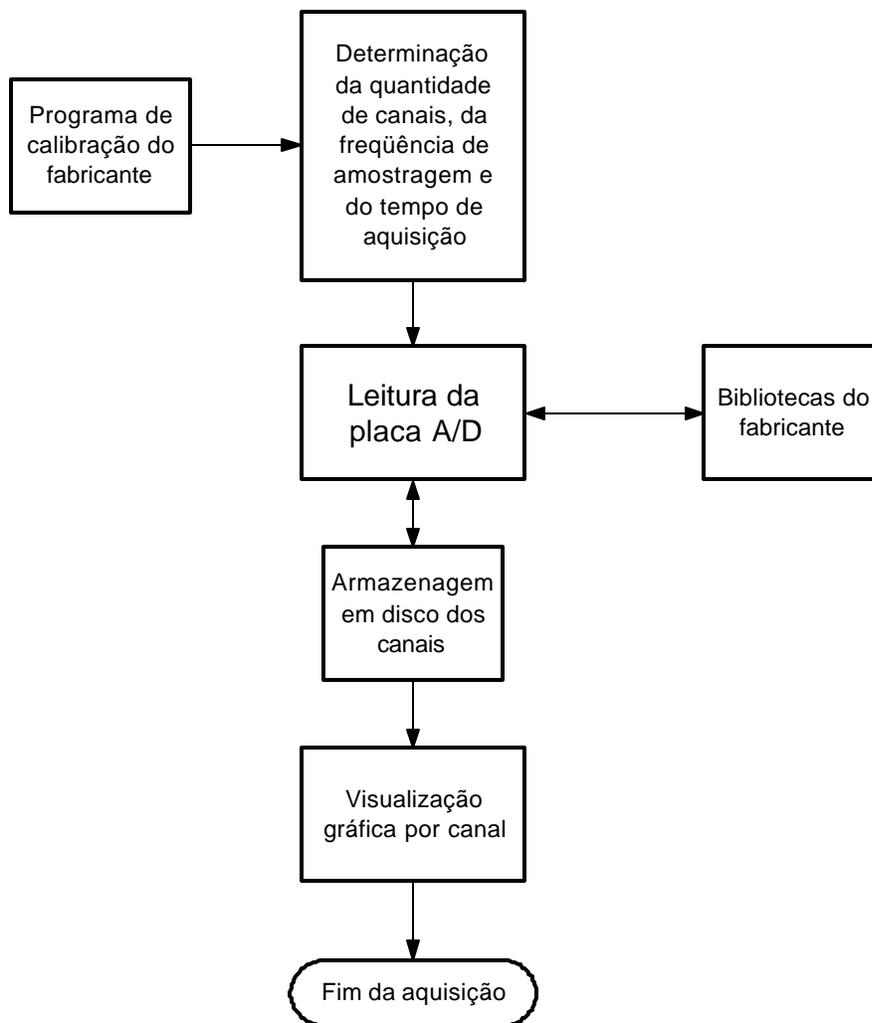


FIGURA 4.21 – Fluxograma do programa de aquisição da placa A/D PCM-DAS16/330 da *Computer Boards*.

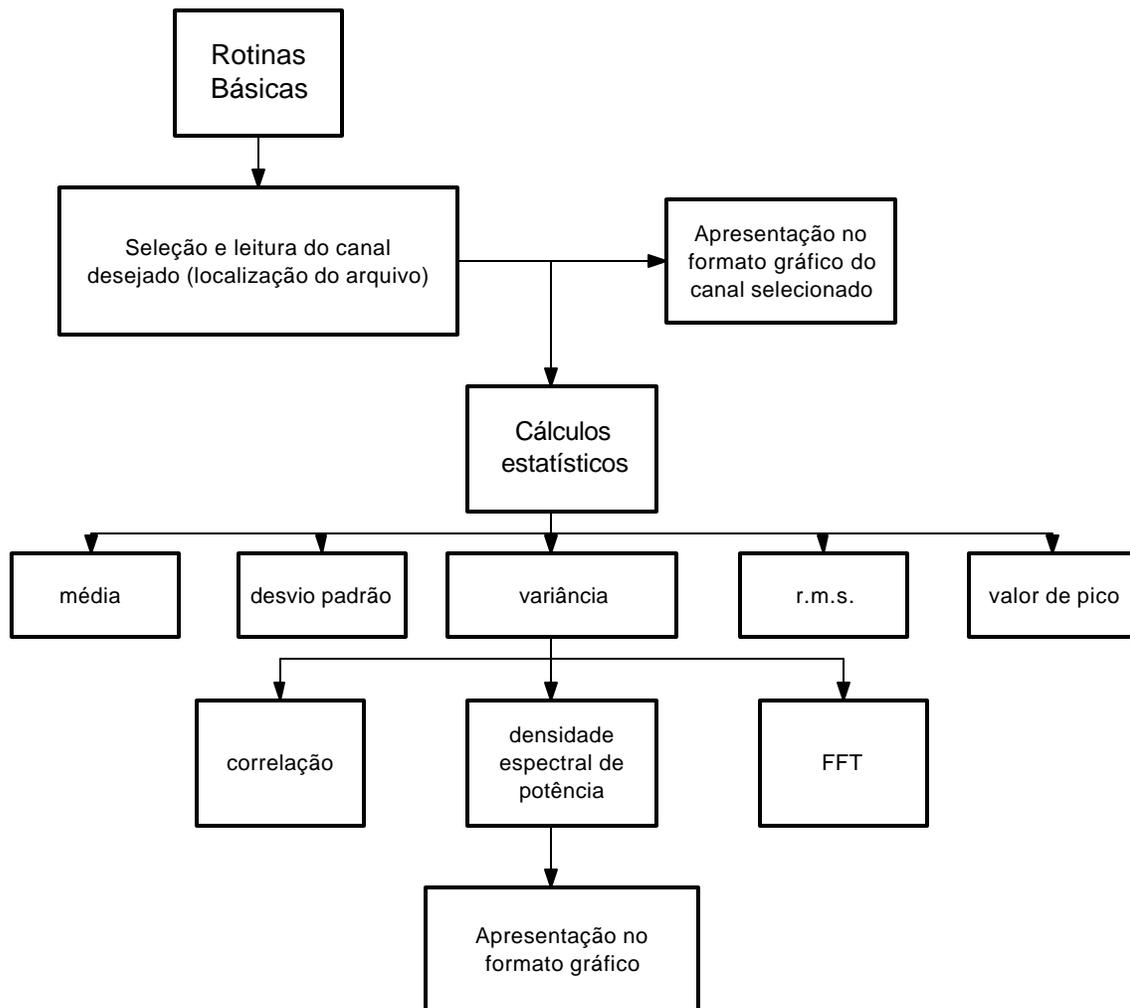


FIGURA 4.22 – Fluxograma do programa de processamento: rotinas básicas incorporadas ao programa de processamento.

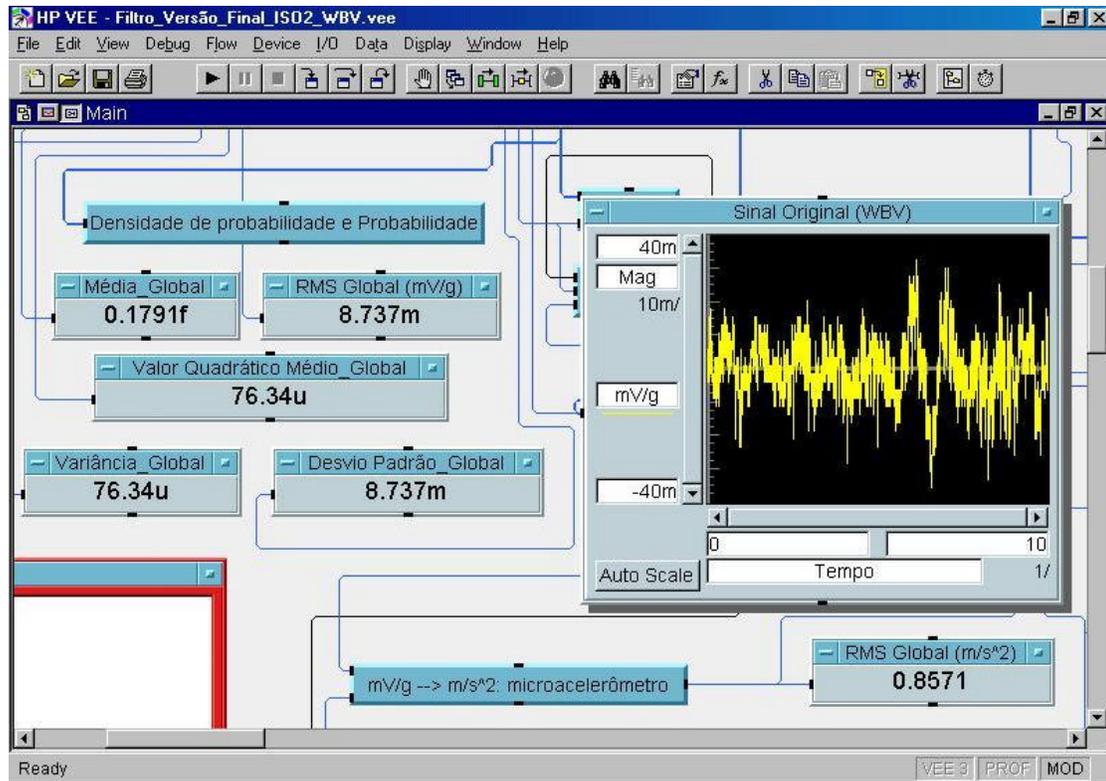


FIGURA 4.23 – Detalhe da janela do programa de processamento.

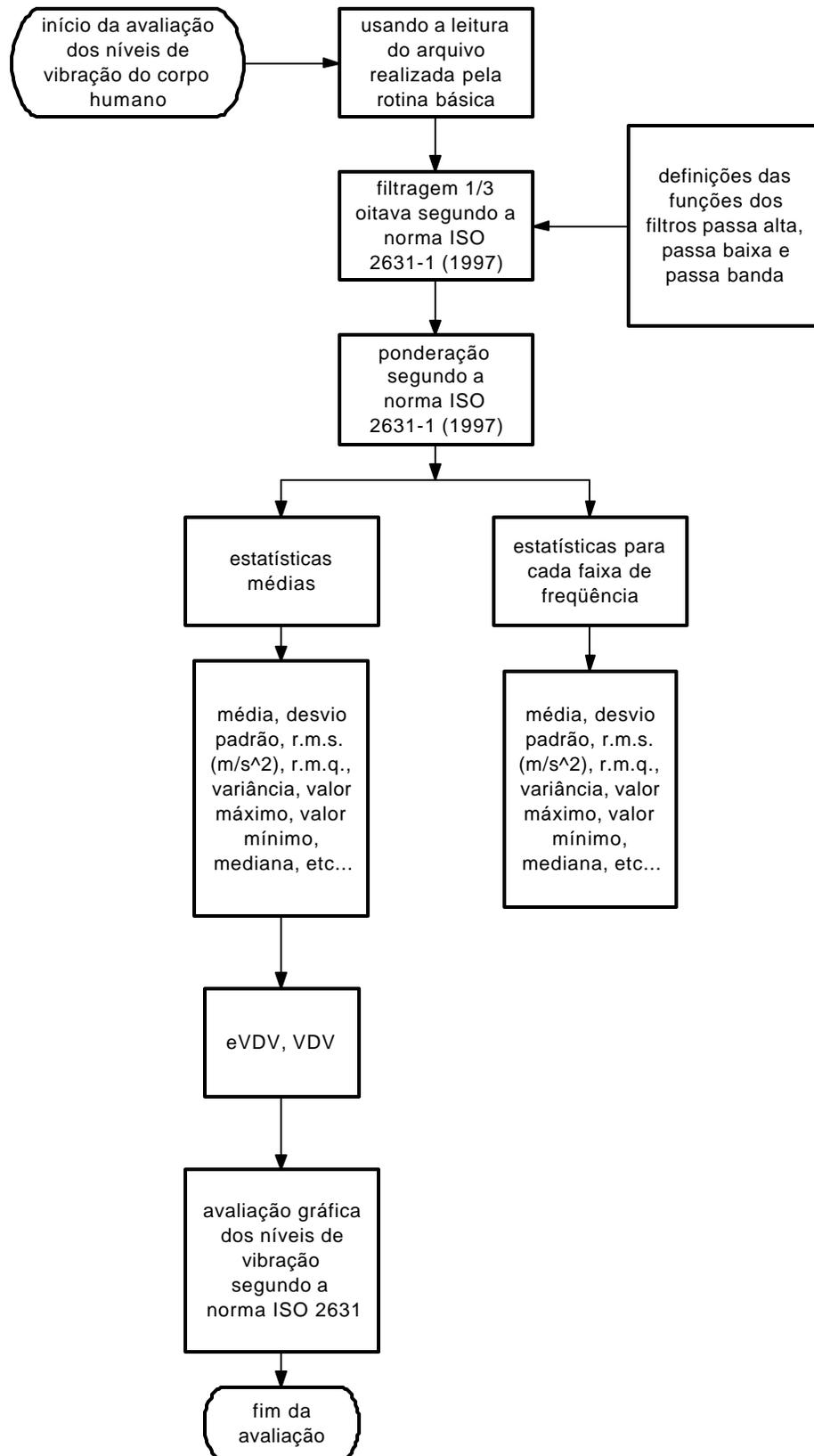


FIGURA 4.24 – Fluxograma das rotinas de avaliação da vibração no corpo humano.

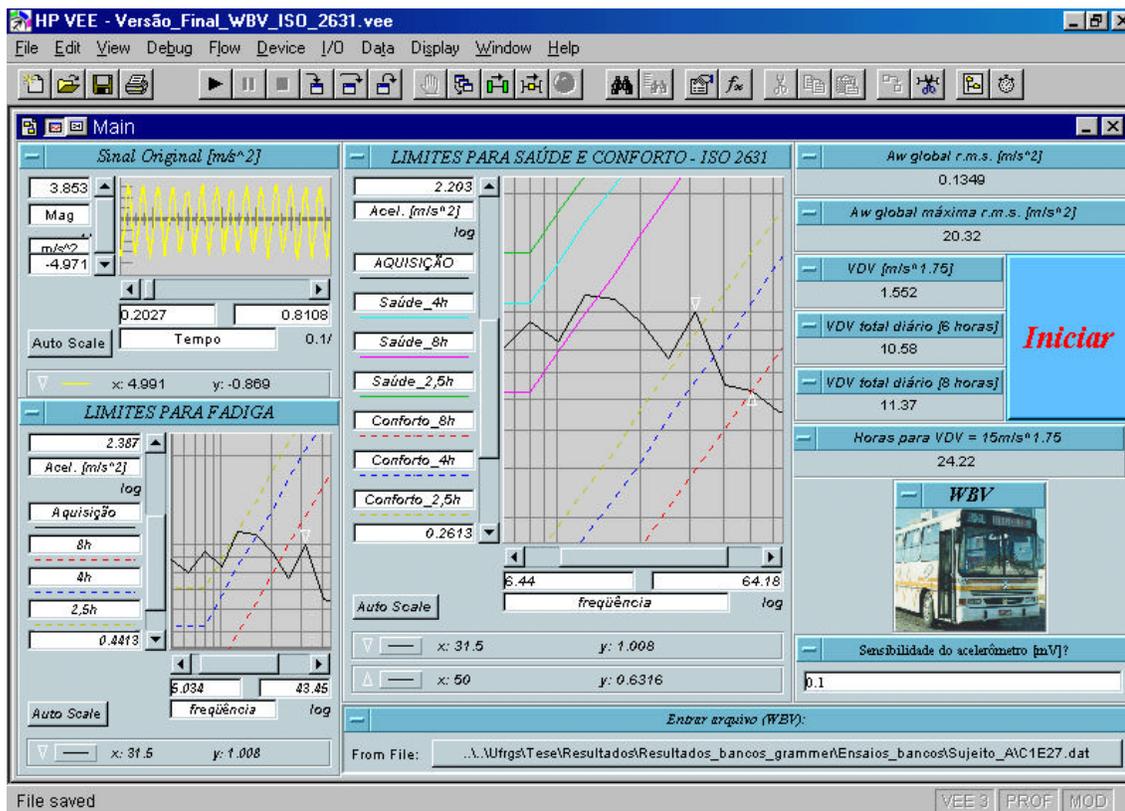


FIGURA 4.25 – Detalhe da janela que interage com o usuário referente às rotinas de avaliação dos níveis de vibração do corpo humano.

A janela (Figura 4.25) 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. Demais dados e parâmetros estatísticos podem ser verificadas na janela principal do programa, bastando clicar no botão ao lado do botão *MAIN*, como pode-se verificar na Figura 4.26, indicada por uma seta, e na Figura 4.27. As Figuras 4.28 e 4.29 apresentam o fluxograma das rotinas de avaliação dos níveis de vibração do segmento mão-braço e a janela de interação com o usuário da referida rotina.

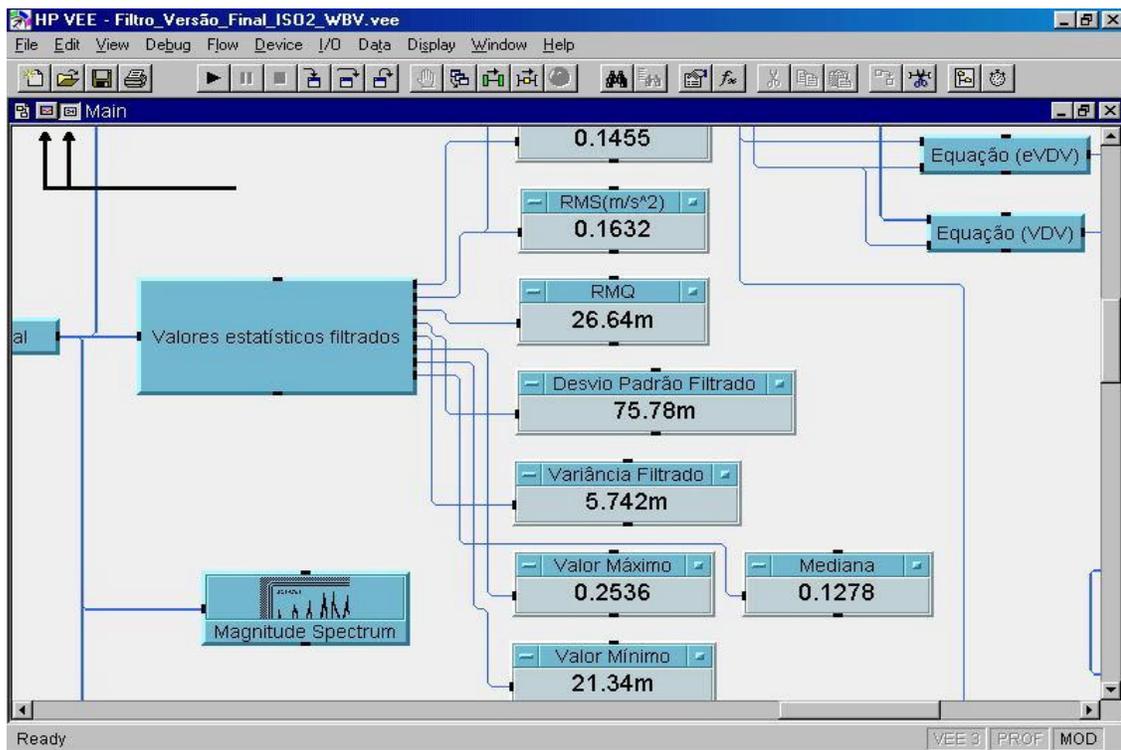


FIGURA 4.26 – Seleção das janelas do usuário ou principal.

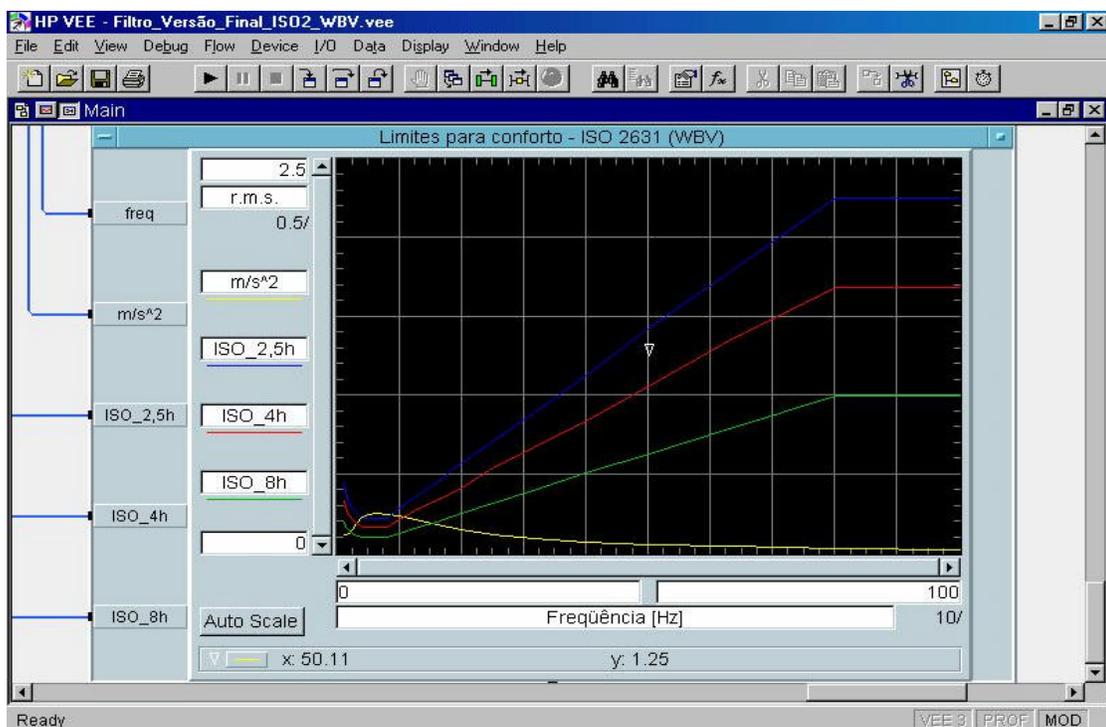


FIGURA 4.27 – Detalhe do gráfico dos limites para conforto na janela principal.

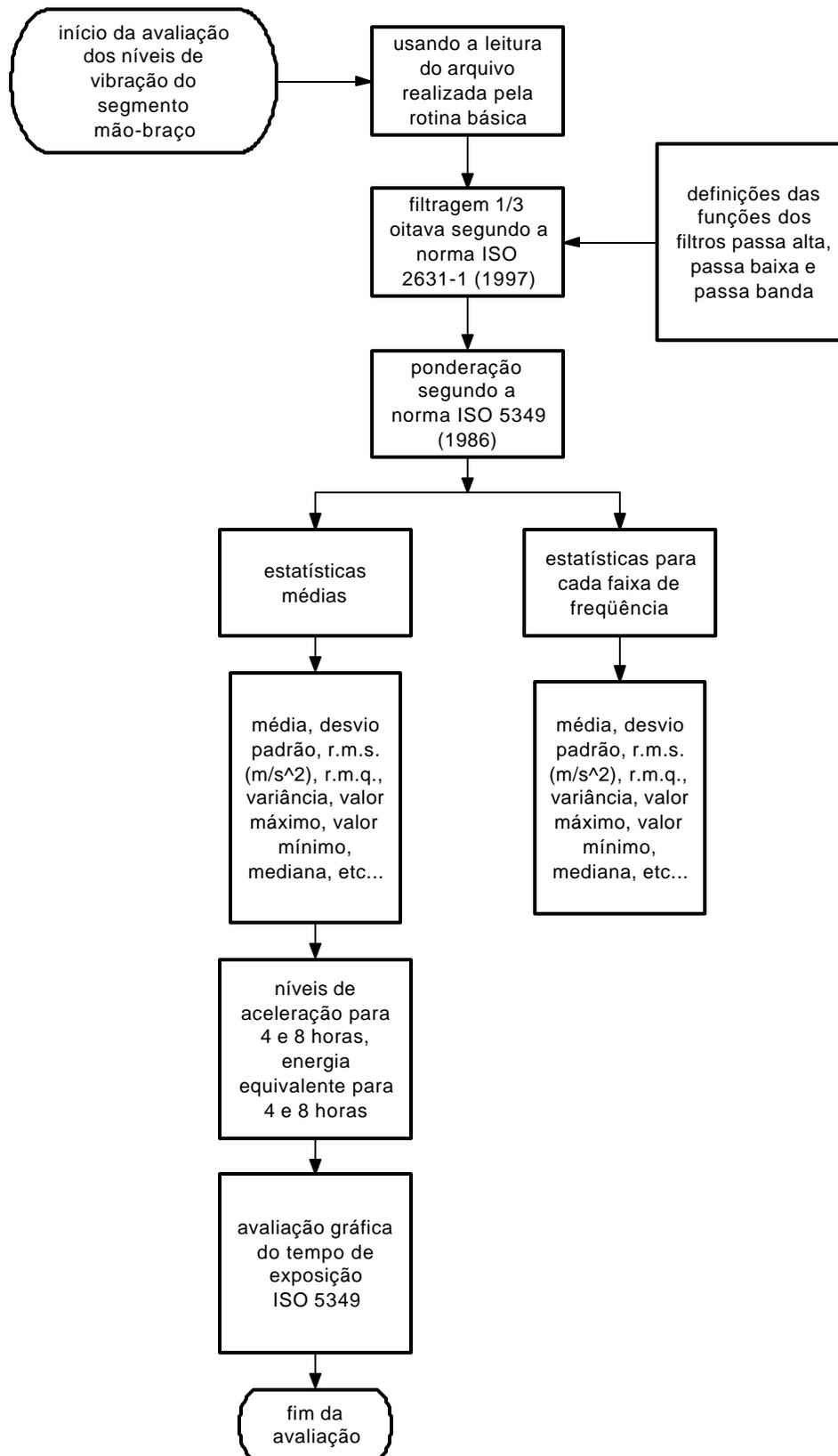


FIGURA 4.28 – Fluxograma das rotinas de avaliação da vibração no segmento mão-braço.

Comparando-se as Figuras 4.24 e 4.28, percebe-se, pela análise dos fluxogramas, que as duas avaliações são similares, alterando basicamente a faixa de frequência e os valores da ponderação, conforme descritos nos capítulos dois e três.

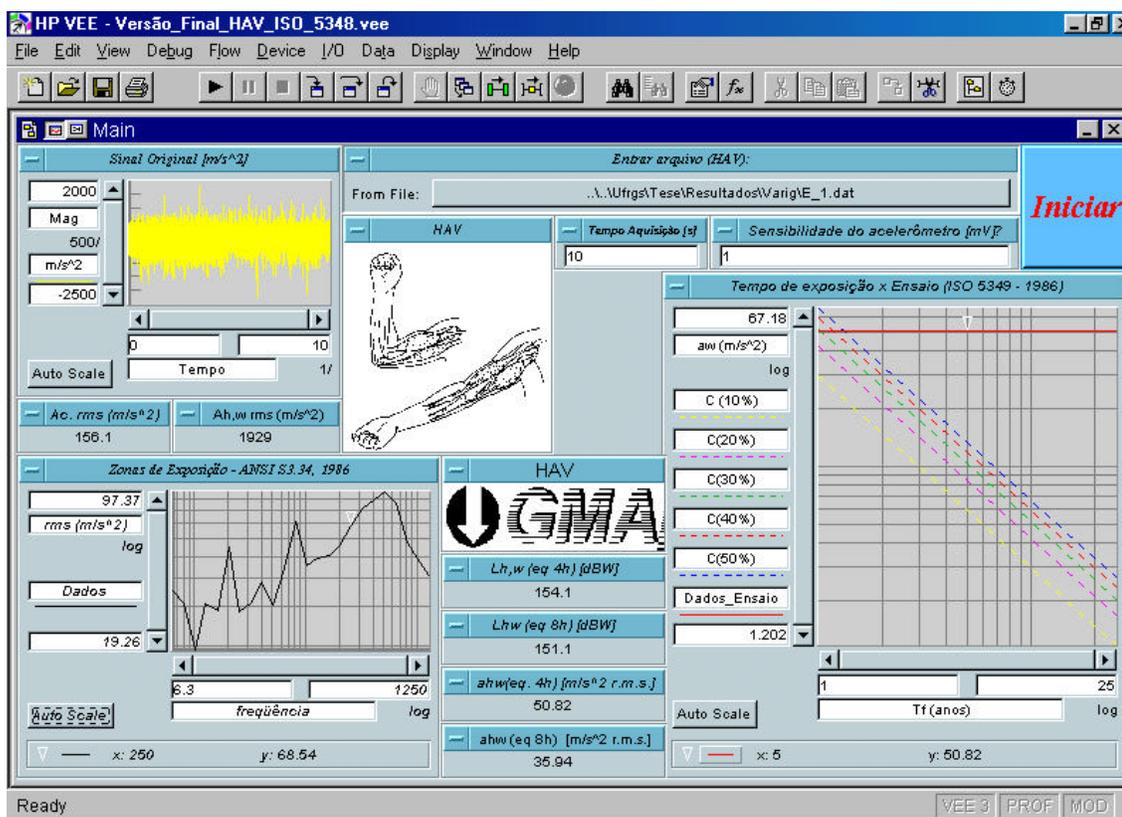


FIGURA 4.29 – Janela do usuário com relação as rotinas de avaliação da vibração no segmento mão-braço.

### 4.3 – Elaboração de um questionário com relação aos motoristas de ônibus

Para complementar este estudo, foi desenvolvido um questionário (ver Apêndice 1), baseado nos trabalhos desenvolvidos por Hedberg (1988), Palmer *et al.* (2000b) e Pelmeir *et al.* (1998), para permitir comparar e avaliar os níveis de vibração a que estão sujeitos os motoristas de ônibus urbanos. No total 103 questionários foram preenchidos por motoristas de ônibus e 75 por diversas pessoas não motoristas profissionais (de diversas ocupações).

O questionário é dividido em quatro seções básicas:

- identificação pessoal: levantamento da idade, peso, altura e demais características pessoais;
- descrição da atividade profissional: tem por objetivo levantar o tempo de trabalho, a quantidade de horas na atividade sem e com descanso, o tempo de utilização de máquinas e/ou ferramentas que causam vibrações para permitir uma estimativa dos níveis de vibração e da dose cumulativa a que estão sujeitos;
- histórico médico: para verificar a incidência de dores nas costas e demais problemas médicos normalmente ligados às doenças ocupacionais relacionadas à exposição à vibração;
- trabalhos anteriores: verificação das atividades anteriores.

# CAPÍTULO 5

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Ensaios com os ônibus urbanos

#### 5.1.1 Acelerações ponderadas obtidas nos ensaios com os ônibus

As Figuras 5.1 a 5.6, apresentam os resultados médios obtidos, para os veículos F1, relacionando a aceleração ponderada média, com os limites para saúde e conforto, conforme a norma ISO 2631 (os resultados gráficos dos demais veículos encontram-se no Apêndice 2). Para cada modelo de ônibus, existem três gráficos básicos que estão relacionados aos:

- ensaios realizados apenas no asfalto;
- ensaios realizados no asfalto irregular (ruas e/ou trechos esburacados);
- ensaios realizados no paralelepípedo.

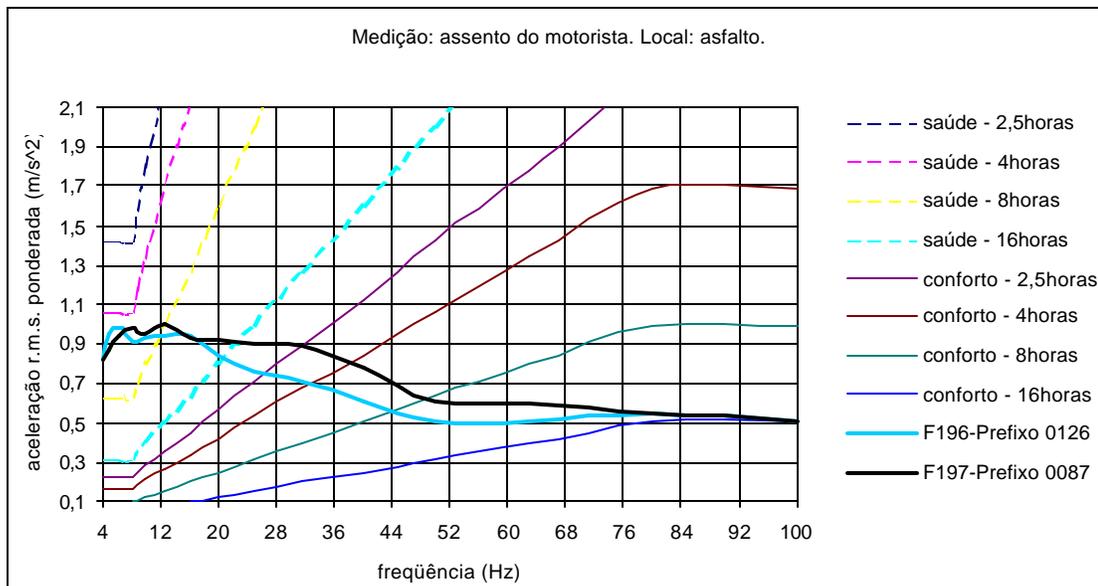


FIGURA 5.1 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F1. Localização: assento do motorista. Local do ensaio: asfalto.

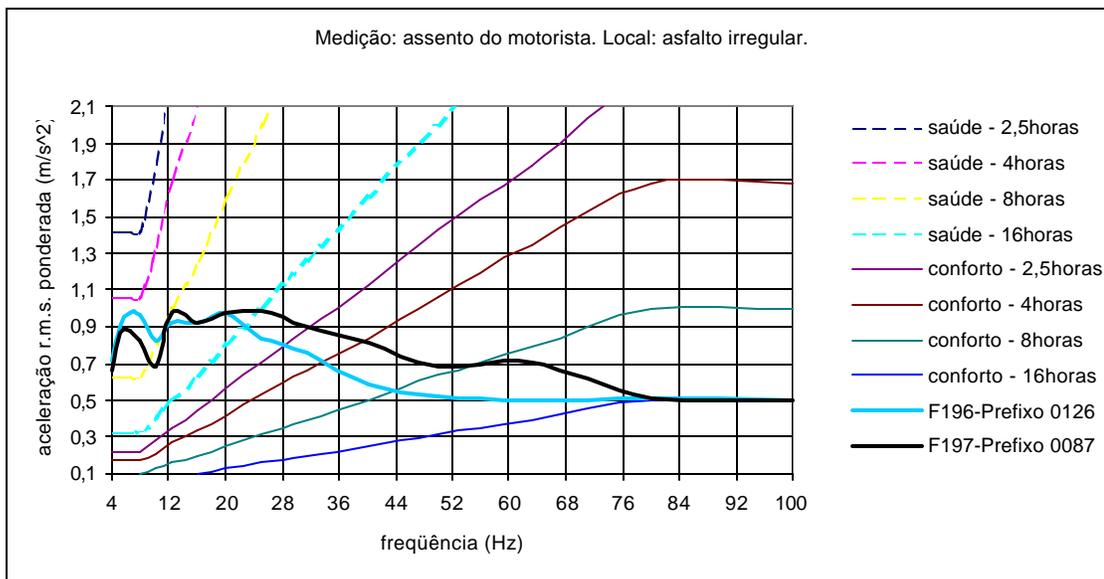


FIGURA 5.2 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F1. Localização: assento do motorista. Local do ensaio: asfalto irregular.

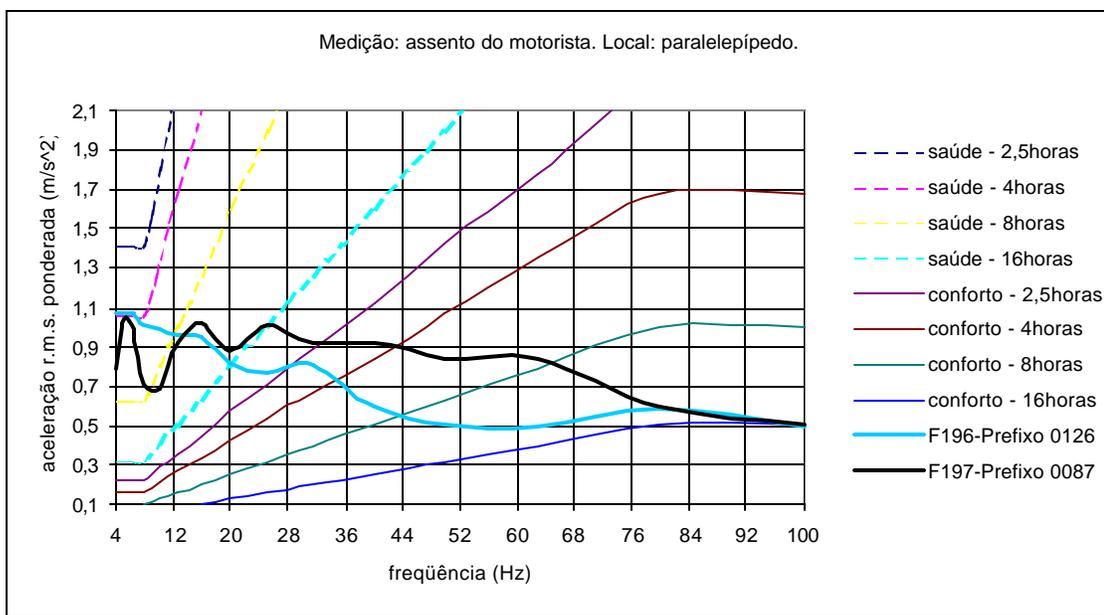


FIGURA 5.3 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F1. Localização: assento do motorista. Local do ensaio: paralelepípedo.

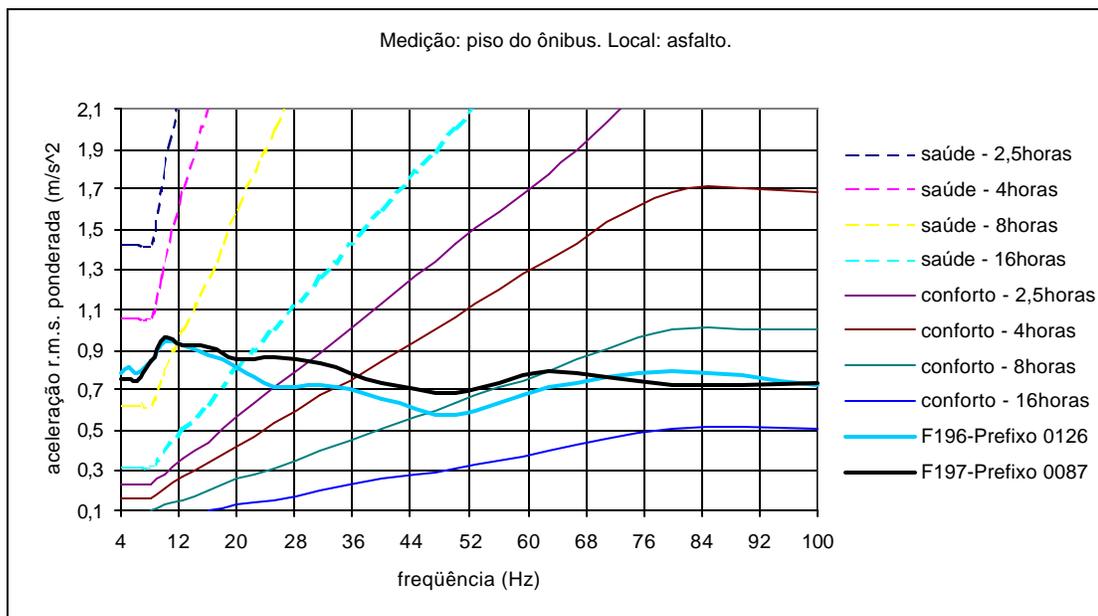


FIGURA 5.4 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F1. Localização: piso do ônibus. Local do ensaio: asfalto.

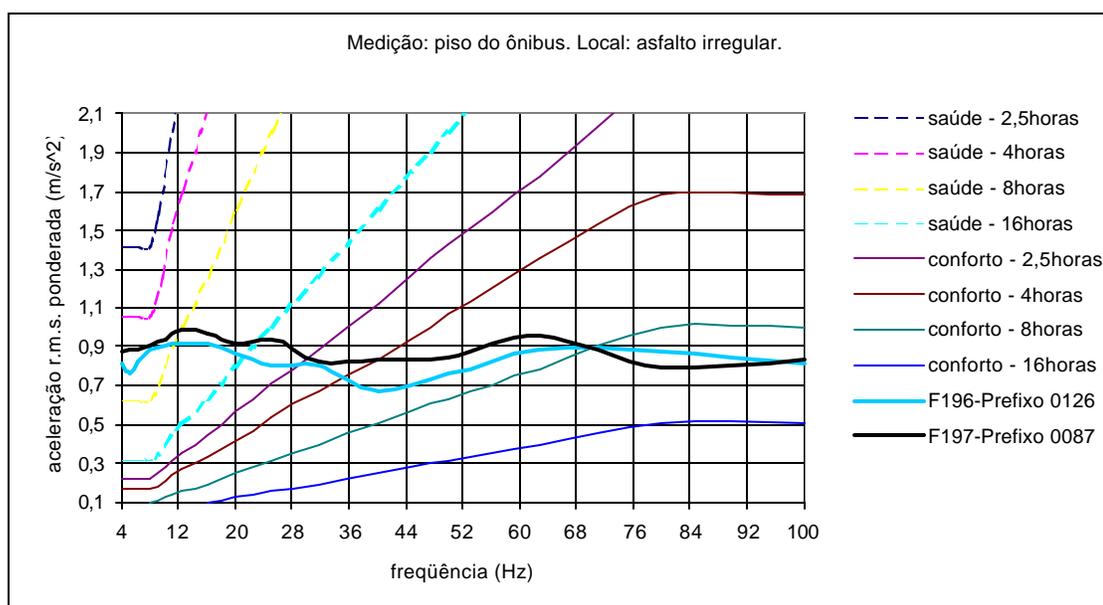


FIGURA 5.5 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F1. Localização: piso do ônibus. Local do ensaio: asfalto irregular.

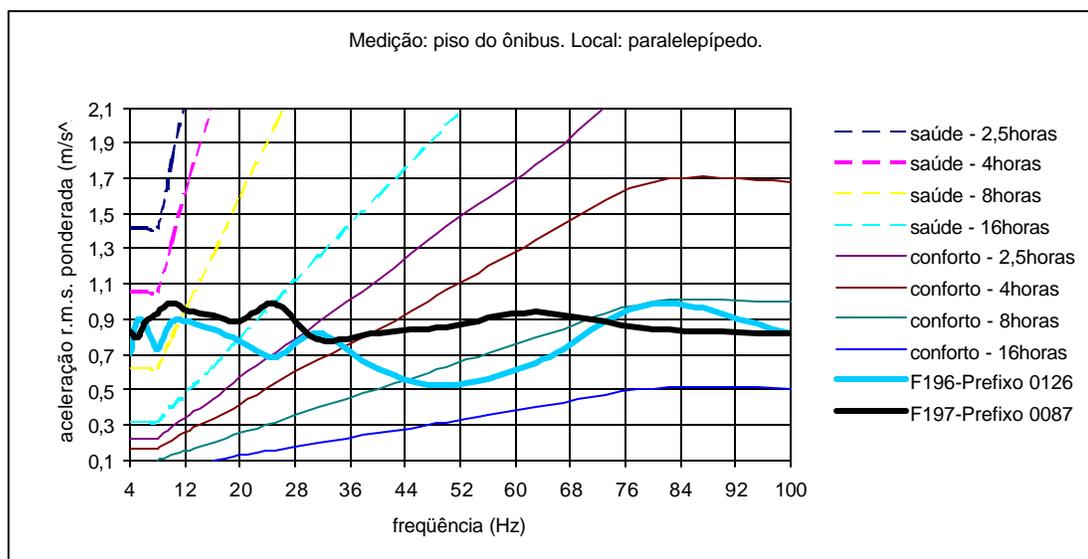


FIGURA 5.6 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F1. Localização: piso do ônibus. Local do ensaio: paralelepípedo.

Analisando-se as Figuras 5.1 a 5.3 (medição no assento do motorista) e os resultados dos outros veículos (Apêndice 2), verificou-se que os limites definidos pela norma ISO 2631, com relação ao conforto (exposição de 2,5 a 16 horas) foram excedidos, nas seguintes faixas de frequência e tipos de pisos:

- no piso asfalto: 4 a 20Hz no veículo F395\_0268; 4 a 25Hz nos veículos F196, F197, F291\_0051, F291\_0056, F298, F395\_0264 e F398\_0199; 4 a 31,5Hz nos veículos F292\_0060 e F398\_0196;
- no piso asfalto irregular: 4 a 25Hz nos veículos F196, F291\_0051 e F395\_0264; 4 a 31,5Hz nos veículos F197, F291\_0056, F292\_0060, F298, F395\_0268, F398\_0196 e F398\_0199;

- no piso paralelepípedo: 4 a 25Hz nos veículos F196, F291\_0056, F395\_0268 e F398\_0199; 4 a 31,5Hz nos veículos F197, F291\_0051, F292\_0060, F298, F395\_0264, F398\_0196.

Comparando-se os resultados experimentais (Figuras 5.1 a 5.3 e Apêndice 2) com os limites definidos pela ISO 2631 para saúde (exposição de 8 a 4horas), observou-se que:

- no piso asfalto, na faixa de frequência de 4 a 10Hz, nenhum veículo apresentou, no assento, acelerações que ultrapassaram os limites estabelecidos para 4 horas de exposição. Porém, considerando-se uma exposição de 8 horas, todos os veículos ultrapassaram os limites na faixa de frequência de 4 a 10Hz;
- no piso asfalto irregular, considerando-se uma exposição de 4horas, nenhum veículo apresentou, no assento, acelerações que ultrapassaram os limites. Porém, para uma exposição de 8horas, na faixa de frequência de 4 a 8Hz, todos os veículos ultrapassaram os limites definidos pela norma;
- no piso paralelepípedo, o veículo F196, na faixa de frequência de 4 a 6,3Hz ultrapassou os limites definidos para 4 horas de exposição (o único veículo). Para uma exposição de 8horas, na faixa de frequência de 4 a 6,3Hz, todos os veículos apresentaram acelerações que ultrapassam os níveis definidos pela ISO 2631.

Resumindo, os resultados experimentais indicam que, na faixa de frequência de 4 a 6,3Hz, 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. Porém, para uma exposição de 4 horas, os níveis para saúde não são ultrapassados, com exceção do veículo F196 no piso paralelepípedo. Cabe salientar, que os trabalhos de Griffin (1990), Tripepi *et al.* (2000), Stayner (2000) e Ishitake *et al.* (2000) mostram que, na faixa de frequência de 1 a 30Hz, as pessoas apresentam dificuldades para manter a postura e reflexos, exatamente a faixa que apresenta as maiores acelerações neste trabalho. Além disso, os

autores Rehn *et al.* (2000), Bovenzi *et al.* (1996), Backman (1983), Hedberg (1988) e Palmer *et al.* (2000b) registraram a grande incidência de problemas na região das costas, em motoristas profissionais, devido provavelmente aos níveis de vibrações. White *et al.* (1990) também registraram que veículos a motor são fatores bem estabelecidos como geradores de problemas na região das costas, principalmente após 3 horas de exposição.

Os resultados apresentados nos gráficos das Figuras 5.1 a 5.3 (e do Apêndice 2) demonstram que os motoristas destes veículos não devem exercer suas atividades por 8 horas, pois estarão sujeitos a índices potencialmente danosos a sua saúde. Além disso, observa-se que os maiores índices de aceleração encontram-se justamente na faixa de frequência de 4 a 8Hz onde a massa abdominal, ombros e pulmões apresentam grande sensibilidade à vibração vertical (Gerges, 1992). 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 diminui com o aumento do tempo de exposição (Griffin, 1990), exatamente em uma das frequências que apresentaram os maiores níveis de acelerações.

Para facilitar o entendimento dos dados anteriores, foi elaborada a Tabela 5.1 que apresenta as maiores acelerações r.m.s. ponderadas médias, com as correspondentes frequências, e a aceleração na frequência de 4Hz das Figuras 5.1 a 5.6 e do Apêndice 2.

TABELA 5.1 – As maiores acelerações r.m.s. ponderadas médias.

Ônibus prefixo	Ensaio -local	Maior aceleração ( $m/s^2$ ) e sua frequência	Aceleraçã o ( $m/s^2$ ) na frequência de 4Hz	Ensaio – local	Maior aceleração ( $m/s^2$ ) e sua frequência	Aceleraçã o ( $m/s^2$ ) na frequência de 4Hz
F196 0126	Asfalto – Assento	0,99 – 6,3	0,82	Asfalto – Piso	0,94 - 10	0,79
	Asfalto Irregular – Assento	0,98 – 6,3	0,72	Asfalto Irregular – Piso	0,92 - 16	0,82
	Paralelepípedo - Assento	1,07 – 4 <sup>#</sup>	1,07	Paralelepípedo - Piso	0,99 - 80	0,71
F197 0087	Asfalto – Assento	1,00 – 12,5	0,82	Asfalto – Piso	0,96 - 10	0,75
	Asfalto Irregular – Assento	0,98 - 25	0,67	Asfalto Irregular – Piso	0,99 – 12,5	0,88
	Paralelepípedo - Assento	1,04 - 5	0,80	Paralelepípedo - Piso	0,99 – 10 <sup>§</sup>	0,84
F291	Asfalto – Assento	0,97 – 6,3**	0,74	Asfalto – Piso	0,97 – 12,5	0,80
	Asfalto Irregular – Assento	1,02 - 16	0,59	Asfalto Irregular – Piso	0,98 – 16	0,86

0051	Paralelepípedo - Assento	1,15 - 16	0,83	Paralelepípedo - Piso	1,04 - 10 <sup>%</sup>	0,81
F291	Asfalto - Assento	0,98 - 6,3 <sup>++</sup>	0,81	Asfalto - Piso	0,98 - 10	0,77
0056	Asfalto Irregular - Assento	1,07 - 6,3	0,60	Asfalto Irregular - Piso	0,97 - 16 <sup>%</sup>	0,92
	Paralelepípedo - Assento	1,13 - 8	0,71	Paralelepípedo - Piso	1,03 - 10	0,93
F292	Asfalto - Assento	1,05 - 6,3	0,80	Asfalto - Piso	1,00 - 10	0,82
0060	Asfalto Irregular - Assento	0,95 - 31,5	0,68	Asfalto Irregular - Piso	1,05 - 16	0,92
	Paralelepípedo - Assento	1,06 - 5 <sup>&amp;</sup>	0,58	Paralelepípedo - Piso	1,07 - 16	0,81
F298	Asfalto - Assento	0,96 - 16	0,86	Asfalto - Piso	0,95 - 16 <sup>&amp;</sup>	0,77
0021	Asfalto Irregular - Assento	0,96 - 20	0,71	Asfalto Irregular - Piso	0,93 - 31,5	0,83
	Paralelepípedo - Assento	0,99 - 31,5	0,43	Paralelepípedo - Piso	1,24 - 8	1,09
F395	Asfalto - Assento	0,97 - 6,3 <sup>”</sup>	0,88	Asfalto - Piso	0,93 - 12,5	0,64
0264	Asfalto Irregular - Assento	0,97 - 16	0,76	Asfalto Irregular - Piso	0,98 - 8	0,78
	Paralelepípedo - Assento	1,06 - 16	0,75	Paralelepípedo - Piso	1,21 - 10	0,76

Observação: <sup>\*\*</sup> também nas frequências de 10Hz e 12,5Hz; <sup>++</sup> também na frequência de 12,5Hz; também na frequência de 10Hz; <sup>#</sup> também nas frequências de 5Hz e 6,3Hz; <sup>&</sup> também na frequência de 20Hz; <sup>%</sup> também na frequência de 63Hz; <sup>§</sup> também na frequência de 25Hz; <sup>@</sup> também na frequência de 100Hz.

Continuação da TABELA 5.1.

Ônibus prefixo	Ensaio -local	Maior aceleração (m/s <sup>2</sup> ) e sua frequência	Aceleraçã o (m/s <sup>2</sup> ) na frequência de 4Hz	Ensaio - local	Maior aceleração (m/s <sup>2</sup> ) e sua frequência	Aceleraçã o (m/s <sup>2</sup> ) na frequência de 4Hz
F395 0268	Asfalto - Assento	0,95 - 6,3	0,87	Asfalto - Piso	0,93 - 10 <sup>++</sup>	0,71
	Asfalto Irregular - Assento	1,00 - 12,5	0,63	Asfalto Irregular - Piso	0,98 - 16 <sup>&amp;</sup>	0,89
	Paralelepípedo - Assento	1,02 - 5	0,84	Paralelepípedo - Piso	1,02 - 25	0,84
F398	Asfalto - Assento	0,98 - 6,3	0,86	Asfalto - Piso	0,96 - 16	0,71
0196	Asfalto Irregular - Assento	0,98 - 25	0,70	Asfalto Irregular - Piso	0,99 - 20	0,81
	Paralelepípedo - Assento	1,03 - 20	0,53	Paralelepípedo - Piso	0,99 - 16	0,87
F398	Asfalto - Assento	0,99 - 6,3	0,82	Asfalto - Piso	0,98 - 16	0,60
0199	Asfalto Irregular - Assento	1,09 - 16	0,80	Asfalto Irregular - Piso	0,98 - 31,5	0,58
	Paralelepípedo - Assento	1,24 - 4	1,24	Paralelepípedo - Piso	1,03 - 31,5 <sup>@</sup>	0,80

Observação: <sup>\*\*</sup> também nas frequências de 10Hz e 12,5Hz; <sup>++</sup> também na frequência de 12,5Hz; também na frequência de 10Hz; <sup>#</sup> também nas frequências de 5Hz e 6,3Hz; <sup>&</sup> também na frequência de 20Hz; <sup>%</sup> também na frequência de 63Hz; <sup>§</sup> também na frequência de 25Hz; <sup>@</sup> também na frequência de 100Hz.

Analisando-se a Tabela 5.1, pode-se afirmar que as maiores acelerações (no piso e no assento), desconsiderando faixas de frequência, ocorreram no piso paralelepípedo, evidenciando, provavelmente a influência do tipo de piso no nível de aceleração (a análise estatística será apresentada no decorrer deste capítulo). Com relação à velocidade dos veículos, não foi possível a sua aquisição e, portanto, está confundida nos diversos ensaios. Porém, é possível afirmar que durante os ensaios a faixa de velocidade foi de 40 a 60km/h (com exceção no trecho de paralelepípedo onde a velocidade é da ordem de 30 a 40km/h). Considerando-se o estudo na faixa de frequência de 4Hz, observou-se que, na maioria dos resultados, os níveis de vibração (ponto de medição no piso) ocorreram nos pisos paralelepípedo ou asfalto irregular. Porém os veículos F197, F291\_0056, F292\_0060, F292\_0061, F298\_0021, F395\_0264, F395\_0268 e F398\_0196

apresentaram níveis de vibração, na frequência de 4Hz, maior no piso asfalto, podendo estar relacionado à velocidade do veículo que é maior neste piso. No decorrer do trecho ensaiado os assentos não apresentaram um comportamento adequado relacionado a segurança do motorista (as acelerações, na frequência de 4Hz, foram maiores no assento do que no piso), pois exatamente na região de ressonância da coluna o assento não atenua os níveis de vibração (estes resultados serão comparados posteriormente com a transmissibilidade dos referidos bancos) nos seguintes veículos e pisos:

- F196: asfalto e paralelepípedo;
- F197: asfalto;
- F291\_0051: paralelepípedo;
  
- F291\_0056: asfalto;
- F292\_0061: asfalto, asfalto irregular e paralelepípedo;
- F298\_0021: asfalto;
- F395\_0264: asfalto;
- F395\_0268: asfalto;
- F398\_0196: asfalto;
- F398\_0199: asfalto, asfalto irregular e paralelepípedo.

Considerando-se ainda os resultados da Tabela 5.1, comparados a norma BS 6841 (1987), para verificação do nível de conforto dos assentos, na frequência de 4Hz, os resultados obtidos, estão na faixa considerada *pouco desconfortável* a *médio desconfortável*. Para validação estatística dos dados das Figuras 5.1 a 5.6 (e do Apêndice 2) foi elaborado um projeto fatorial completo que é baseado na análise de variância (ANOVA). Este projeto envolve a análise de dois efeitos somente (tipos de ônibus e tipos de pisos), pois a quantidade de dados é extremamente grande. Cabe ressaltar que não foi implementada uma análise referente aos dois motoristas e portanto, estão confundidos nos projetos estatísticos, principalmente devido à impossibilidade de utilização de um mesmo tipo de veículo pelos dois motoristas conforme indicado na Tabela 4.2.

A Tabela 5.2 apresenta a análise estatística referente às acelerações ponderadas por faixa de frequência, obtidas nos assentos dos veículos e a Figura 5.7 à relação entre o fator F (F calculado e F tabelado). A Figura 5.8 apresenta à relação entre o fator F para o piso dos veículos (as tabelas dos Projetos de Experimentos encontram-se no Apêndice 5, assim como uma breve descrição do método empregado). Cabe observar, que em função do espaço, todos os gráficos aqui apresentados são as médias dos resultados obtidos, porém a análise estatística foi implementada considerando-se todos os ensaios, permitindo portanto, uma análise estatística significativa dos resultados obtidos.

TABELA 5.2 – ANOVA - acelerações ponderadas nos assentos dos veículos.

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GDL</i>	<i>MQ</i>	$F_c$	$F_t$	<i>Efeito</i>
A	0,60	10	0,06	1,89	1,83	S
B	0,42	2	0,21	6,62	3,00	S
AB	0,37	20	0,18	5,68	1,57	S
Erro	14,63	462	$3,17 \cdot 10^{-2}$			

Onde:

- SQ são as somas dos quadrados;
- GDL são os graus de liberdade;
- MQ são as médias quadradas;
- $F_c$  é o fator F calculado;
- $F_t$  é o fator F tabelado;
- o efeito A representa os modelos de ônibus;
- o efeito B representa os tipos de pisos;
- o efeito AB é a interação entre os efeitos A e B;
- o efeito pode ser S (significativo:  $F_c > F_t$ ) ou NS (não significativo:  $F_c < F_t$ ).

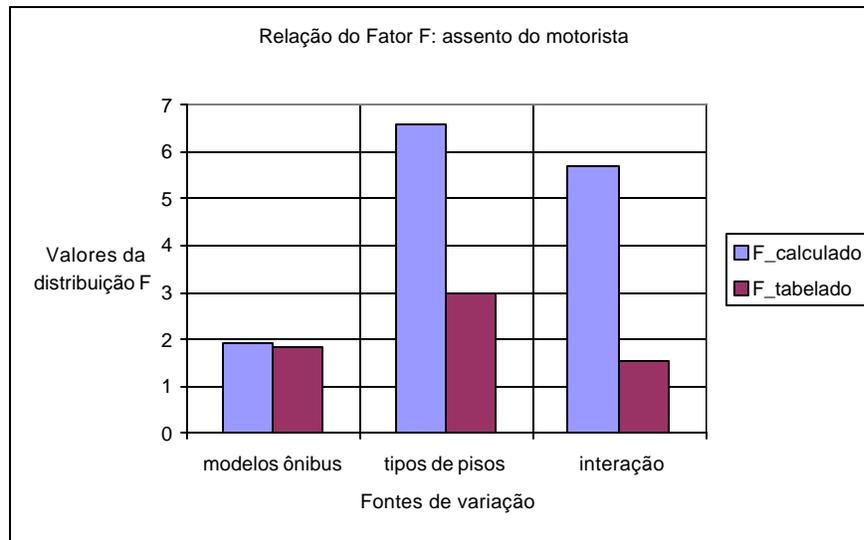


FIGURA 5.7 – Relação do fator F para o assento do motorista.

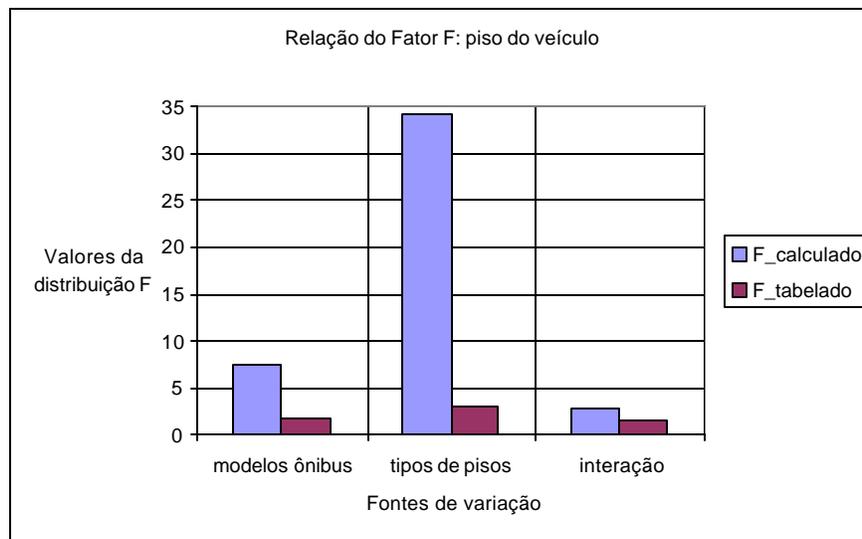


FIGURA 5.8 – Relação do fator F para o piso do veículo.

Baseado nos dados obtidos e na análise estatística, pode-se verificar, segundo os resultados da Tabela 5.2 e Figura 5.7, para um erro máximo de 5% ( $\alpha=5\%$  da Tabela de Distribuição F) que:

- as acelerações ponderadas, por faixa de frequência, no assento, para os diferentes tipos de ônibus são estatisticamente significativas ( $F_c = 1,89 > F_t = 1,83$ ), ou seja, os resultados obtidos apresentam diferença com relação aos modelos dos veículos. Cabe ressaltar, principalmente o fato de apresentarem níveis que ultrapassam os recomendados pela norma ISO 2631 principalmente na região da frequência de ressonância da coluna vertebral. Portanto, estes assentos e/ou veículos merecem atenção dos fabricantes para com relação a esta situação;
- as diferenças entre as acelerações ponderadas, por faixa de frequência, no assento, são estatisticamente diferentes quando relacionadas aos diferentes tipos de pisos dos ensaios, sendo portanto, interessante observar a importância da correta manutenção do piso;
- há diferença estatística significativa entre a interação dos efeitos A e B na determinação das acelerações ponderadas por faixa de frequência nos assentos.

Pelos resultados apresentados na Figura 5.8, observa-se que:

- as acelerações ponderadas, por faixa de frequência, no piso, para os diferentes tipos de ônibus são estatisticamente diferentes, ou seja, os resultados apresentaram comportamentos estatisticamente diferentes;
- as diferenças entre as acelerações ponderadas, por faixa de frequência, no piso, são estatisticamente diferentes quando relacionadas aos diferentes tipos de pisos dos ensaios (asfalto, asfalto irregular e paralelepípedo);
- há diferença estatística significativa entre a interação dos efeitos A e B na determinação das acelerações ponderadas por faixa de frequência nos pisos dos veículos.

A Tabela 5.3 apresenta a dose de vibração média (VDV total diário considerando uma jornada diária de 6 horas) e o parâmetro SEAT(%) médio, assim como, os desvios padrões dos referidos parâmetros.

TABELA 5.3 – VDV6horas médio e SEAT(%) médio.

<b>F196 – 0126</b>		
Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo

Resultados	Assento	Piso	Assento	Piso	Assento	Piso
<i>VDV 6h (m/s<sup>1,75</sup>)</i>	10,57	11,93	10,52	11,88	10,87	11,91
<i>Desvio padrão</i>	0,30	0,77	0,29	0,52	-	-
<i>SEAT (%)</i>	88,60		88,55		91,27	
<b>F197 – 0087</b>						
Resultados	Asfalto		Asfalto Irregular		Paralelepípedo	
	Assento	Piso	Assento	Piso	Assento	Piso
<i>VDV 6h (m/s<sup>1,75</sup>)</i>	10,58	11,89	10,49	12,01	10,79	12,01
<i>Desvio padrão</i>	0,50	0,58	0,39	0,46	1,03	0,38
<i>SEAT (%)</i>	88,98		87,34		89,84	
<b>F291 – 0051</b>						
Resultados	Asfalto		Asfalto Irregular		Paralelepípedo	
	Assento	Piso	Assento	Piso	Assento	Piso
<i>VDV 6h (m/s<sup>1,75</sup>)</i>	10,51	11,94	10,44	11,95	10,55	11,97
<i>Desvio padrão</i>	0,46	0,60	0,36	0,27	-	-
<i>SEAT (%)</i>	88,02		87,36		88,14	
<b>F291 – 0056</b>						
Resultados	Asfalto		Asfalto Irregular		Paralelepípedo	
	Assento	Piso	Assento	Piso	Assento	Piso
<i>VDV 6h (m/s<sup>1,75</sup>)</i>	10,57	11,93	10,15	11,90	10,00	11,83
<i>Desvio padrão</i>	0,61	0,63	1,50	0,43	-	-
<i>SEAT (%)</i>	88,60		85,29		84,53	
<b>F292 – 0060</b>						
Resultados	Asfalto		Asfalto Irregular		Paralelepípedo	
	Assento	Piso	Assento	Piso	Assento	Piso
<i>VDV 6h (m/s<sup>1,75</sup>)</i>	10,72	11,91	10,76	11,92	11,16	11,93
<i>Desvio padrão</i>	0,42	0,76	0,58	0,66	-	-
<i>SEAT (%)</i>	90,00		90,27		93,54	

Continuação da TABELA 5.3.

<b>F298 – 0021</b>						
Resultados	Asfalto		Asfalto Irregular		Paralelepípedo	
	Assento	Piso	Assento	Piso	Assento	Piso
<i>VDV 6h (m/s<sup>1,75</sup>)</i>	10,00	12,29	10,87	12,96	11,12	13,71
<i>Desvio padrão</i>	0,30	0,81	0,27	0,82	-	-
<i>SEAT (%)</i>	81,37		83,87		81,11	
<b>F395 – 0264</b>						
Resultados	Asfalto		Asfalto Irregular		Paralelepípedo	
	Assento	Piso	Assento	Piso	Assento	Piso
<i>VDV 6h (m/s<sup>1,75</sup>)</i>	9,94	14,91	11,06	14,77	14,89	13,39
<i>Desvio padrão</i>	0,40	0,61	0,40	0,77	-	-
<i>SEAT (%)</i>	66,67		74,88		111,20	
<b>F395 – 0268</b>						
Resultados	Asfalto		Asfalto Irregular		Paralelepípedo	
	Assento	Piso	Assento	Piso	Assento	Piso
<i>VDV 6h (m/s<sup>1,75</sup>)</i>	9,88	12,81	10,44	11,83	10,01	11,23
<i>Desvio padrão</i>	0,42	0,78	0,54	0,59	-	-
<i>SEAT (%)</i>	77,13		88,25		89,14	
<b>F398 – 0196</b>						
Resultados	Asfalto		Asfalto Irregular		Paralelepípedo	
	Assento	Piso	Assento	Piso	Assento	Piso
<i>VDV 6h (m/s<sup>1,75</sup>)</i>	9,86	13,38	9,97	12,88	9,88	13,75
<i>Desvio padrão</i>	1,22	0,39	0,25	0,29	-	-
<i>SEAT (%)</i>	73,69		77,41		71,85	
<b>F398 – 0199</b>						
	Asfalto		Asfalto Irregular		Paralelepípedo	

Resultados	Assento	Piso	Assento	Piso	Assento	Piso
$VDV\ 6h\ (m/s^{1,75})$	10,03	12,06	10,77	12,05	10,15	12,22
<i>Desvio padrão</i>	0,32	0,26	1,34	0,36	-	-
<i>SEAT (%)</i>		83,17		89,38		83,06

Os gráficos das Figuras 5.9 a 5.13, apresentam o comportamento do VDV6horas médio e do parâmetro SEAT(%) médio relacionado aos anos de fabricação dos veículos e aos diferentes tipos de pisos.

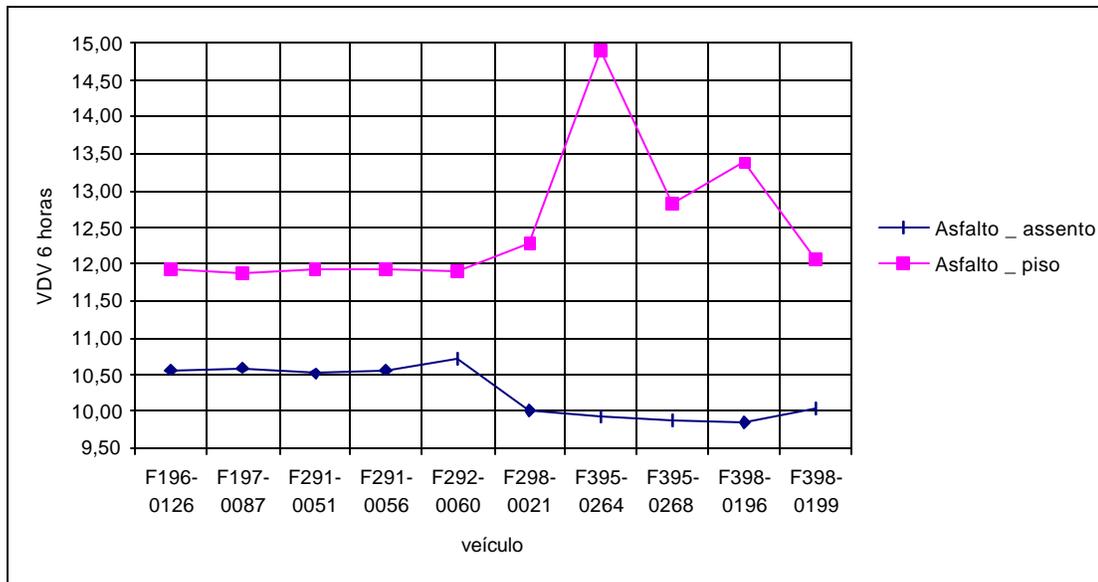


FIGURA 5.9 – VDV6horas médio para o piso asfalto.

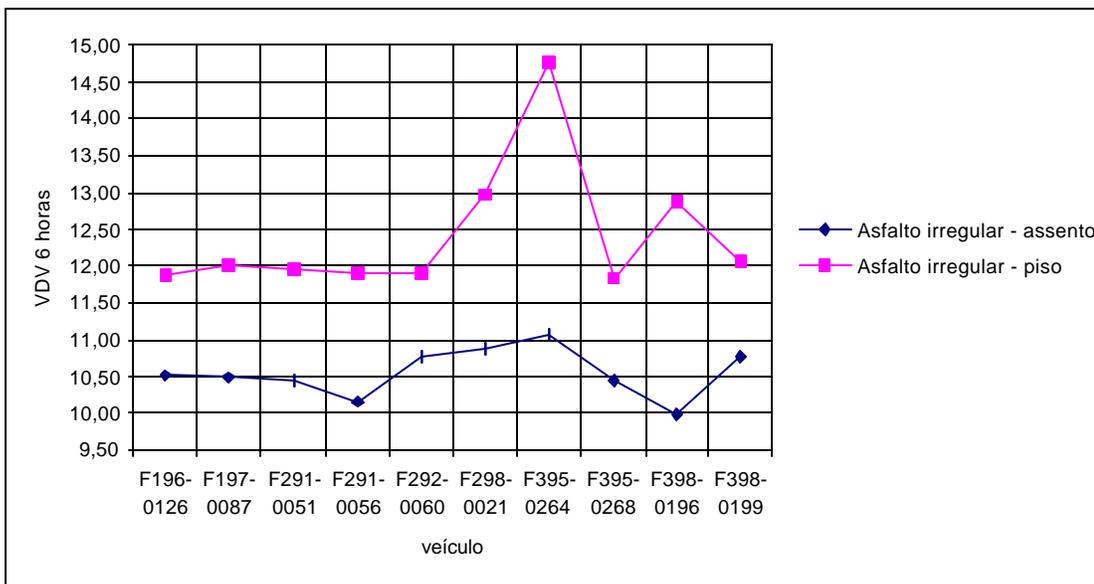


FIGURA 5.10 – VDV6horas médio para o piso asfalto irregular.

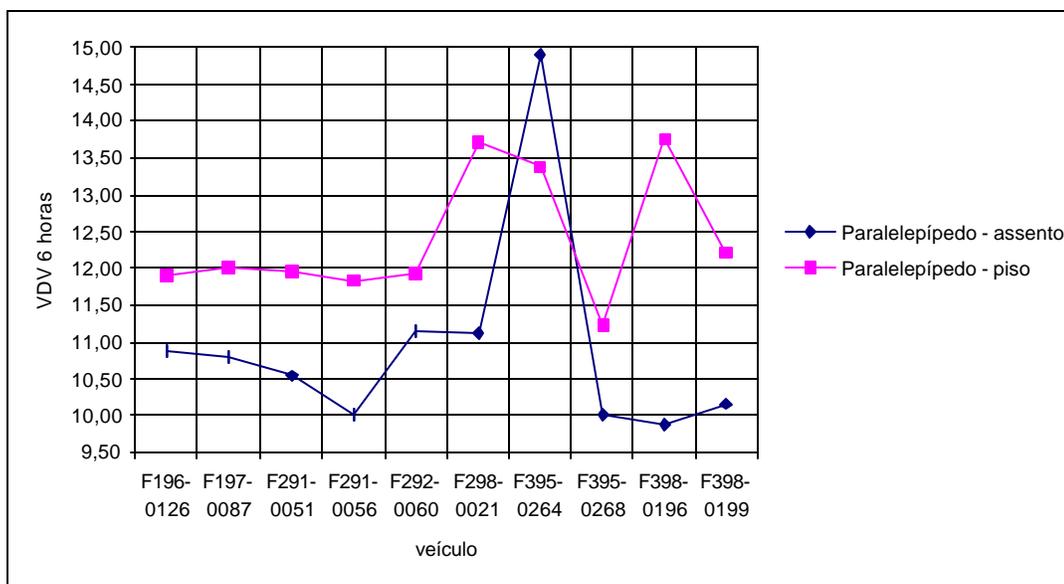


FIGURA 5.11 – VDV6horas médio para o piso asfalto paralelepípedo.

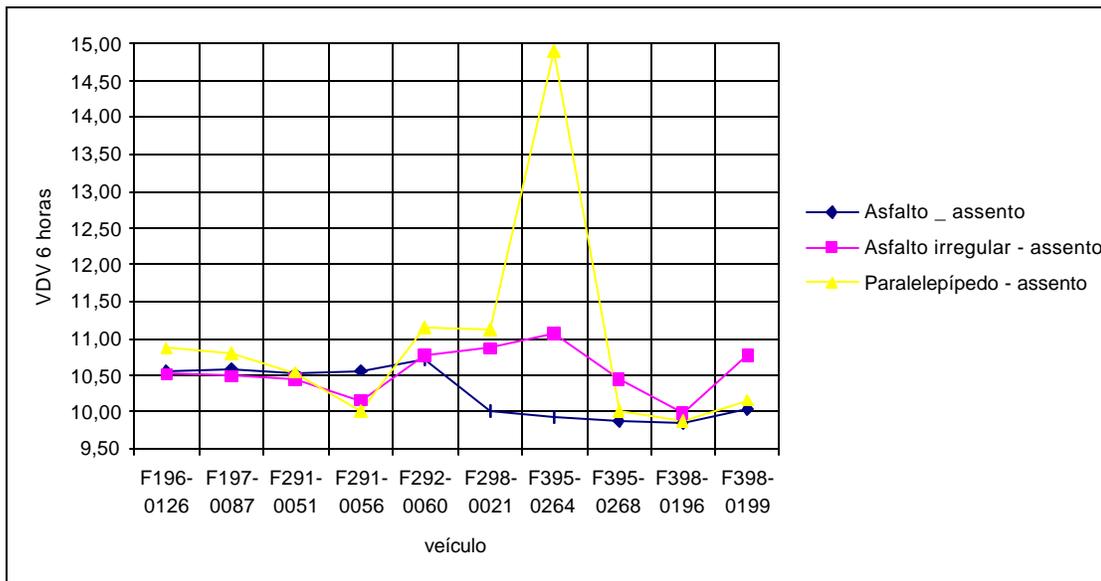


FIGURA 5.12 – VDV6horas médio no assento do motorista para os diversos tipos de pisos.

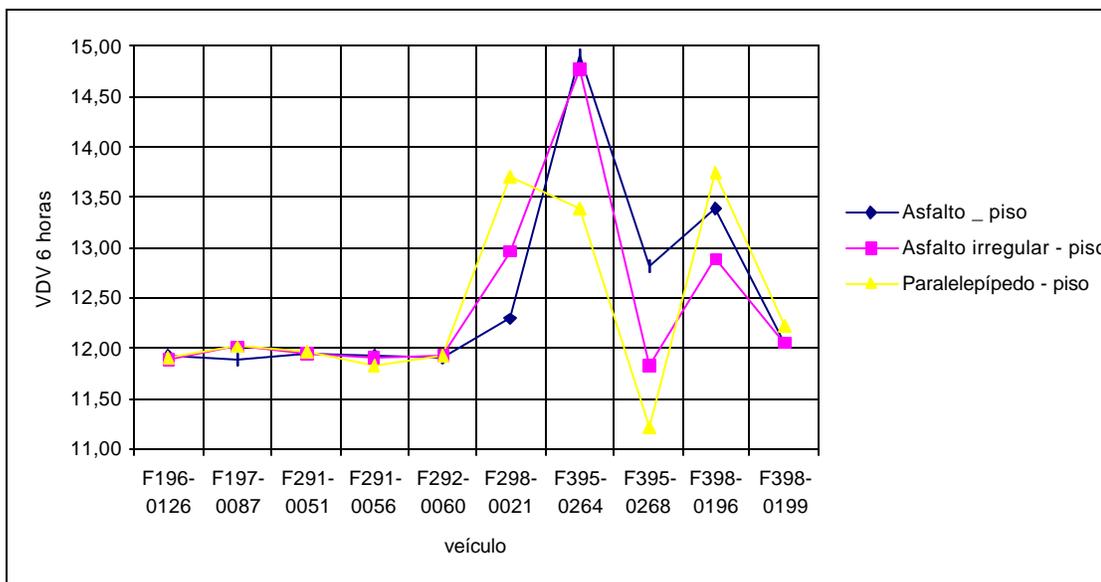


FIGURA 5.13 – VDV6horas médio no piso do ônibus para os diversos tipos de pisos.

Com relação ao parâmetro VDV<sub>6</sub>horas (Figuras 5.9 a 5.13), nenhum veículo apresentou um VDV de 15 m/s<sup>1.75</sup>, porém a faixa apresentada foi de 9,86 a 13,75 m/s<sup>1.75</sup> o que estaria no intervalo considerado de *desconforto médio*, de acordo com os dados das normas BS 6841 (1987) e ISO 2631-1 (1997). Esses resultados são similares aos estimados no estudo desenvolvido (ainda em desenvolvimento) por Palmer *et al.* (2000b). Os VDV's<sub>6</sub>horas (Figuras 5.9 e 5.10) são maiores no piso do ônibus do que no assento do motorista, com exceção do veículo F395\_0264. Os pisos paralelepípedo e asfalto irregular apresentaram VDV's<sub>6</sub>horas, nos assentos, maiores do que no asfalto em todos os veículos (com exceção no veículo F291\_0056).

Analisando-se o parâmetro SEAT(%) verifica-se, com exceção do veículo F291\_0056, que todos os veículos apresentaram um SEAT(%) maior no piso paralelepípedo ou asfalto irregular do que no asfalto. Porém, apenas o veículo F395\_0264, no piso paralelepípedo, apresentou um SEAT(%) maior do que 100 demonstrando, segundo este parâmetro, ser o único assento que amplifica a vibração. Cabe ressaltar, que o SEAT(%), apesar de ser muito utilizado, não representa o comportamento dinâmico do assento. Fato este que deve ser considerado na análise, pois um bom assento pode atenuar somente as frequências de interesse e as restantes não. Além disso, é importante frisar que estes resultados são similares aos encontrados por Griffin (1990), na análise dinâmica de assentos, em ônibus europeus (SEAT(%) na faixa de 69% a 108%).

### 5.1.2 Acelerações ponderadas obtidas nos ensaios com os ônibus no segmento mão- braço

As rotinas de processamento e avaliação, dos níveis de vibração do segmento mão-braço, foram descritas no Capítulo 4 e os resultados dos ensaios realizados, na mão esquerda (no *terceiro metacarpal*, no *triquetrum carpal*) e no ombro direito são apresentados nas Figuras 5.14 a 5.22 e no Apêndice 3. Cabe ressaltar que para os veículos F292 e F298 não foi possível a aquisição e/ou processamento dos dados relacionados ao segmento mão-braço.

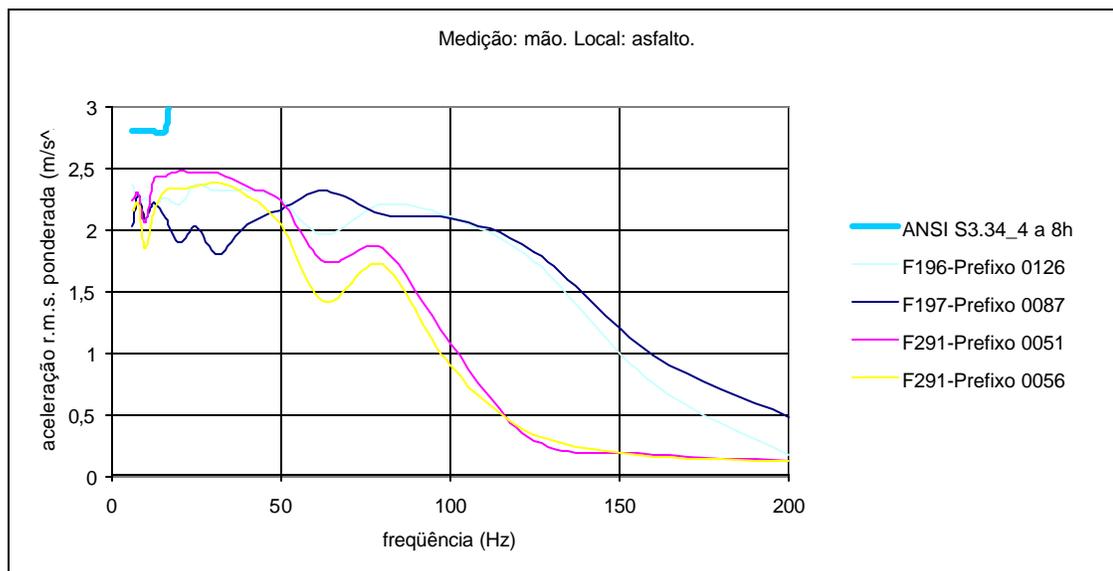


FIGURA 5.14 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ANSI S3.34, nos ônibus F1 e F2. Localização: mão do motorista. Local do ensaio: asfalto.

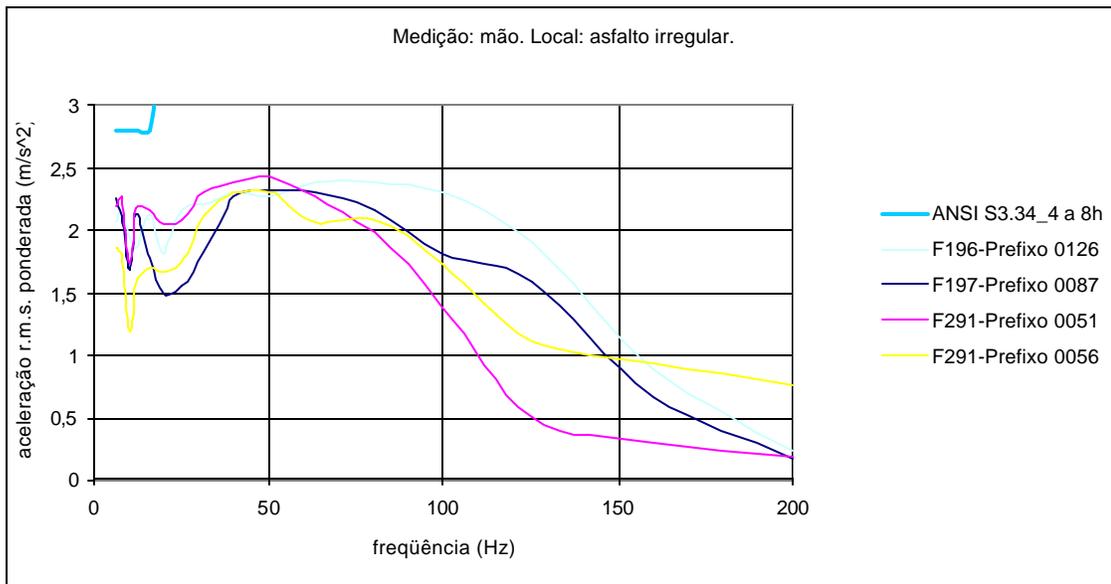


FIGURA 5.15 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ANSI S3.34, nos ônibus F1 e F2. Localização: mão do motorista. Local do ensaio: asfalto irregular.

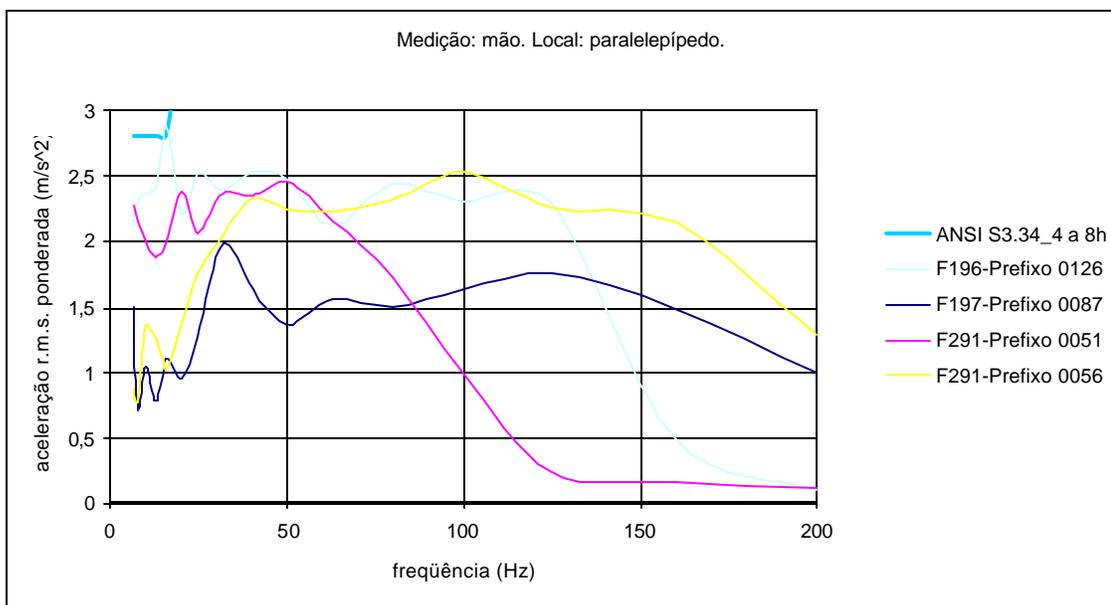


FIGURA 5.16 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ANSI S3.34, nos ônibus F1 e F2. Localização: mão do motorista. Local do ensaio: paralelepípedo.

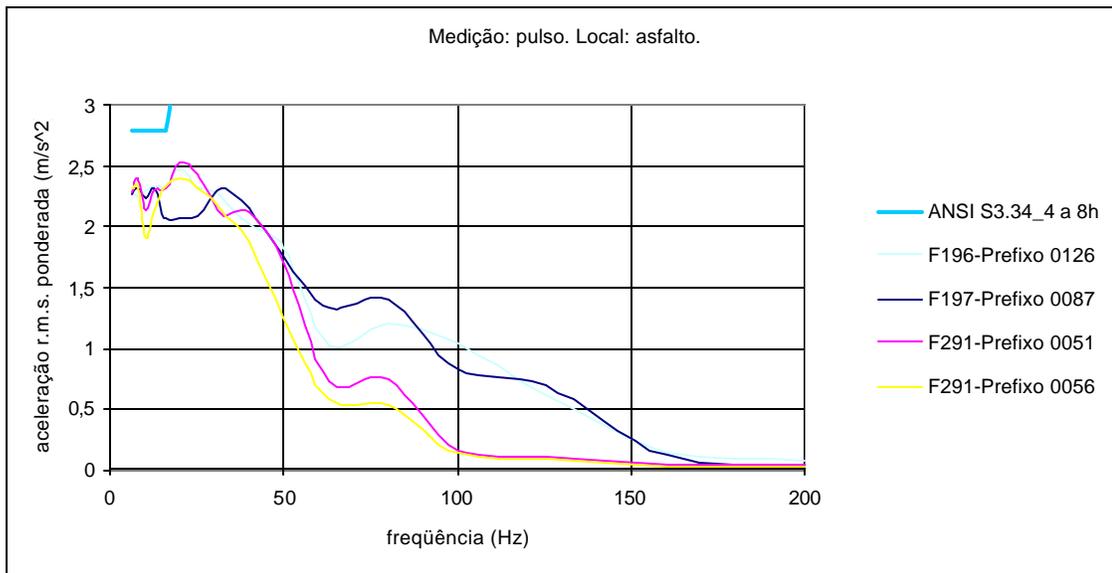


FIGURA 5.17 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ANSI S3.34, nos ônibus F1 e F2. Localização: pulso do motorista. Local do ensaio: asfalto.

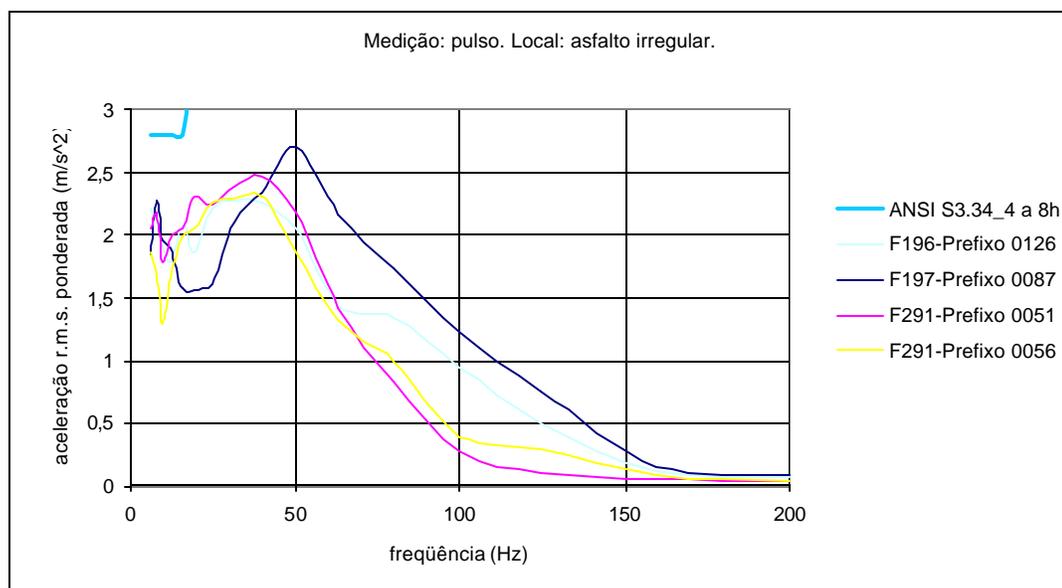


FIGURA 5.18 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ANSI S3.34, nos ônibus F1 e F2. Localização: pulso do motorista. Local do ensaio: asfalto irregular.

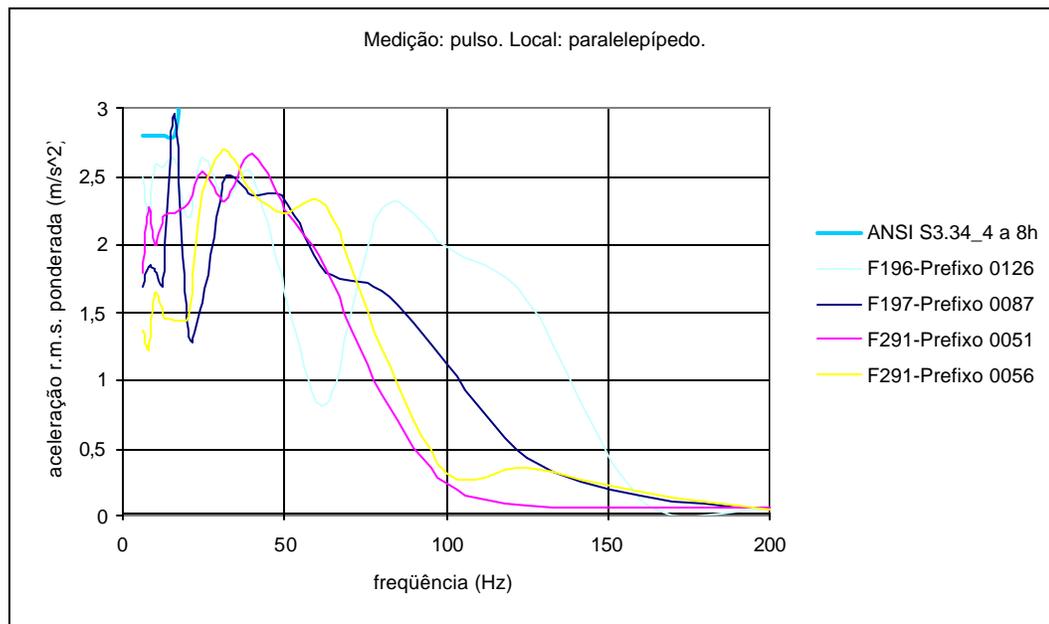


FIGURA 5.19 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ANSI S3.34, nos ônibus F1 e F2. Localização: pulso do motorista. Local do ensaio: paralelepípedo.

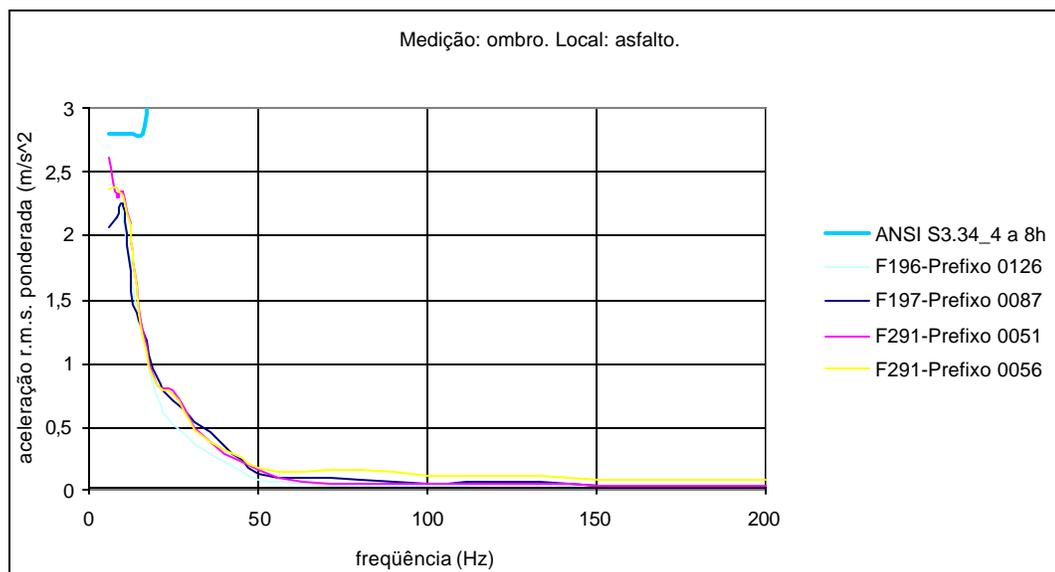


FIGURA 5.20 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ANSI S3.34, nos ônibus F1 e F2. Localização: ombro do motorista. Local do ensaio: asfalto.

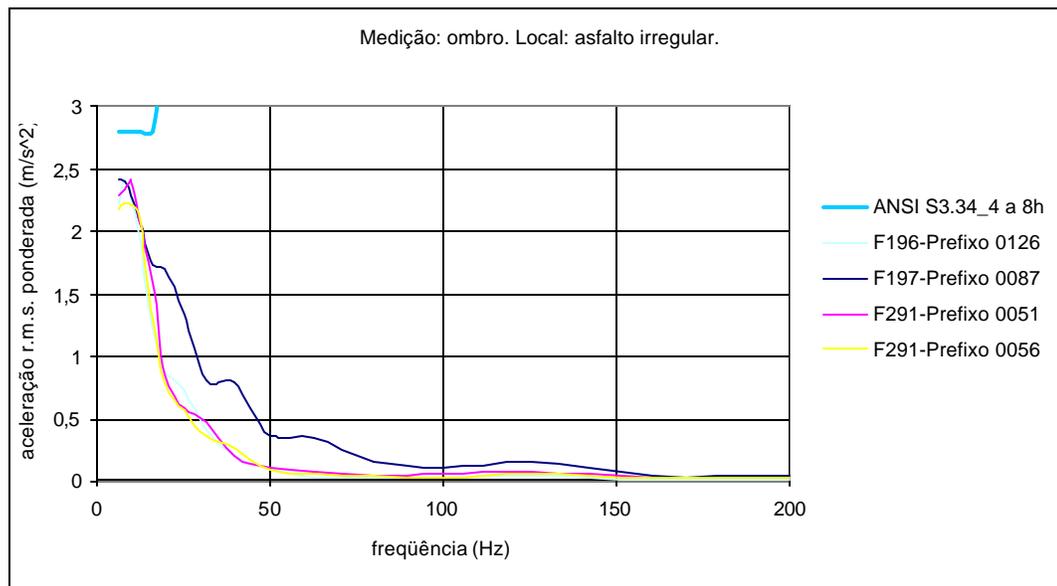


FIGURA 5.21 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ANSI S3.34, nos ônibus F1 e F2. Localização: ombro do motorista. Local do ensaio: asfalto irregular.

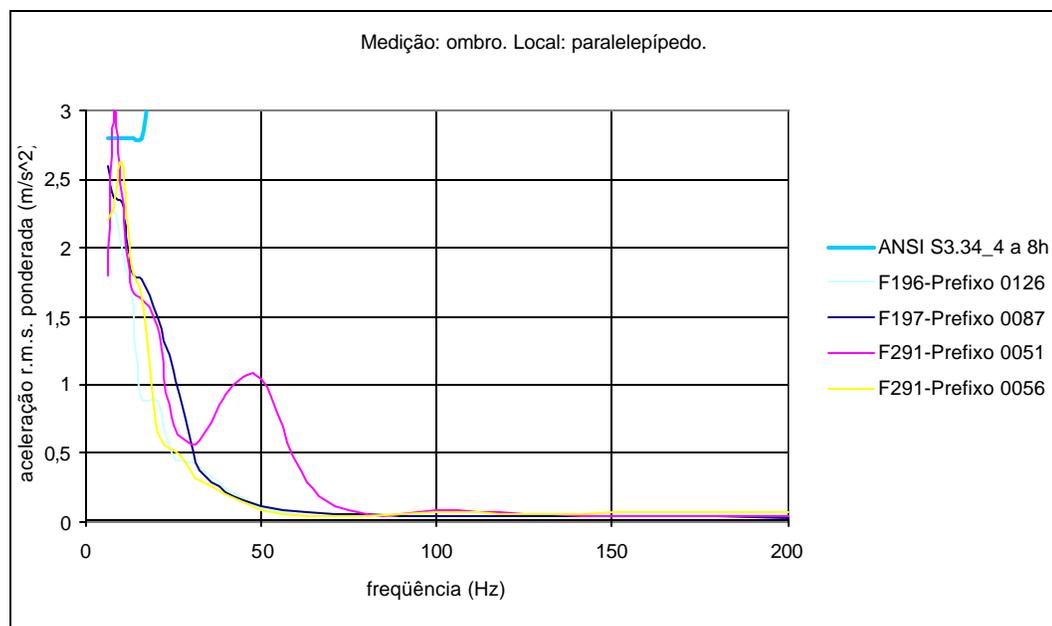


FIGURA 5.22 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ANSI S3.34, nos ônibus F1 e F2. Localização: ombro do motorista. Local do ensaio: paralelepípedo.

### 5.1.3 Transmissibilidade nos ensaios com os ônibus

Os programas de análise, dos níveis de vibração do corpo humano e do segmento mão-braço, utilizam rotinas básicas (Figura 4.22) e, dentre elas, a Transformada Rápida de Fourier, que permite a análise no domínio da frequência de um determinado ensaio. Todos os espectros gerados são armazenados em disco e utilizados para a obtenção da transmissibilidade média, das regiões de interesse do corpo humano, como por exemplo, a transmissibilidade média entre a vibração medida no piso do ônibus e a do assento do motorista, possibilitando a verificação do comportamento biodinâmico de determinadas regiões, entre elas, o estudo do comportamento dinâmico do assento e a comparação destes resultados com o parâmetro SEAT(%).

Para facilitar a leitura do trabalho, só serão apresentadas no corpo principal as curvas referentes à transmissibilidade média do veículo F196 (no Apêndice 4 encontram-se as transmissibilidades médias para os restantes dos veículos). Para cada região estudada, existem três curvas básicas relacionadas aos pisos: asfalto, asfalto irregular e paralelepípedo e em cada curva segue a melhor aproximação polinomial (curvas tracejadas) com o equivalente  $R^2$  (coeficiente de determinação) e a equivalente expressão aproximada (serão utilizadas nos modelos em desenvolvimento em outros trabalhos). No Apêndice 5 encontram-se os desvio padrões das transmissibilidades médias.

#### 5.1.3.1 Transmissibilidade entre o assento do motorista e o piso do ônibus

Com o objetivo de investigar o comportamento dinâmico dos assentos foi implementado o estudo da transmissibilidade. Cabe salientar que este método apresenta melhor aplicação em função da possibilidade de analisar o comportamento do assento em faixas de frequência e correlacionar com as frequências de ressonância de regiões de interesse do corpo humano. Nos capítulos anteriores foi implementada a técnica baseada no parâmetro SEAT(%) que possibilitou verificar os assentos que atenuavam ou amplificavam a vibração, porém foi registrado que os resultados não apresentam uma caracterização por frequência e sim um comportamento global do assento. As Figuras

5.39 a 5.41 apresentam a transmissibilidade média do assento do motorista e o piso do ônibus para o veículo F196 com relação aos diferentes tipos de pisos.

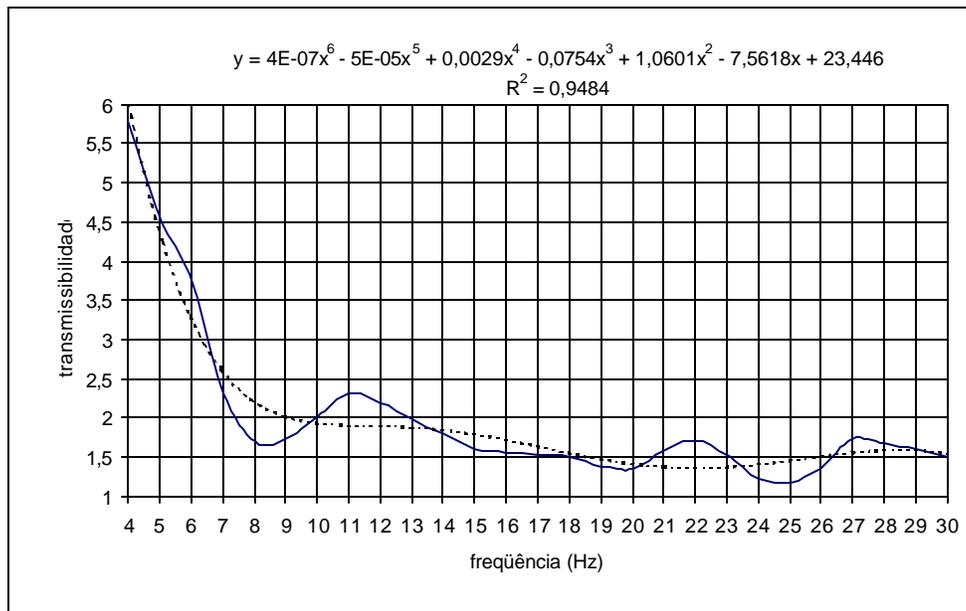


FIGURA 5.39 – Transmissibilidade média entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F196 – tipo de piso: asfalto.

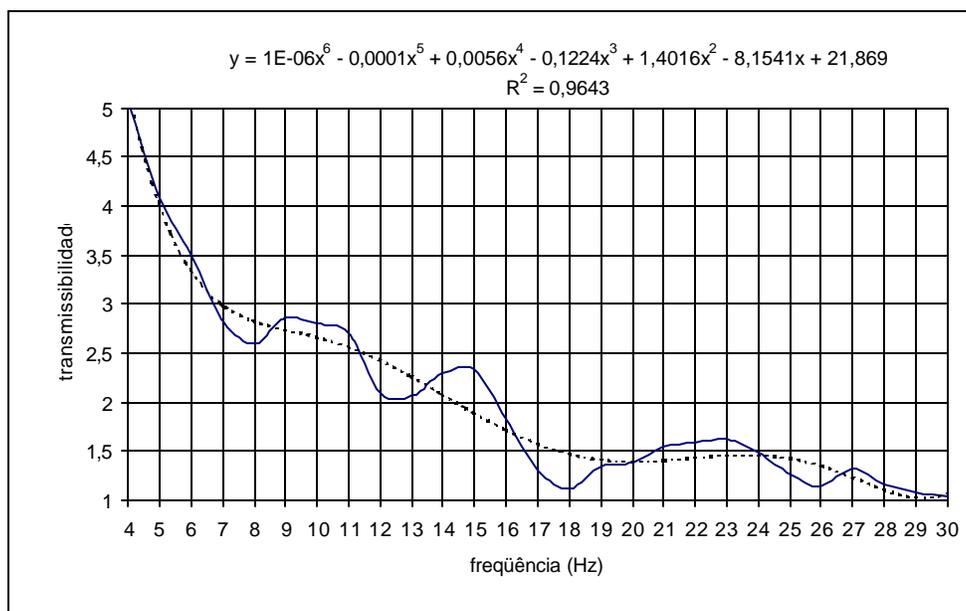


FIGURA 5.40 – Transmissibilidade média entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F196 – tipo de piso: asfalto irregular.

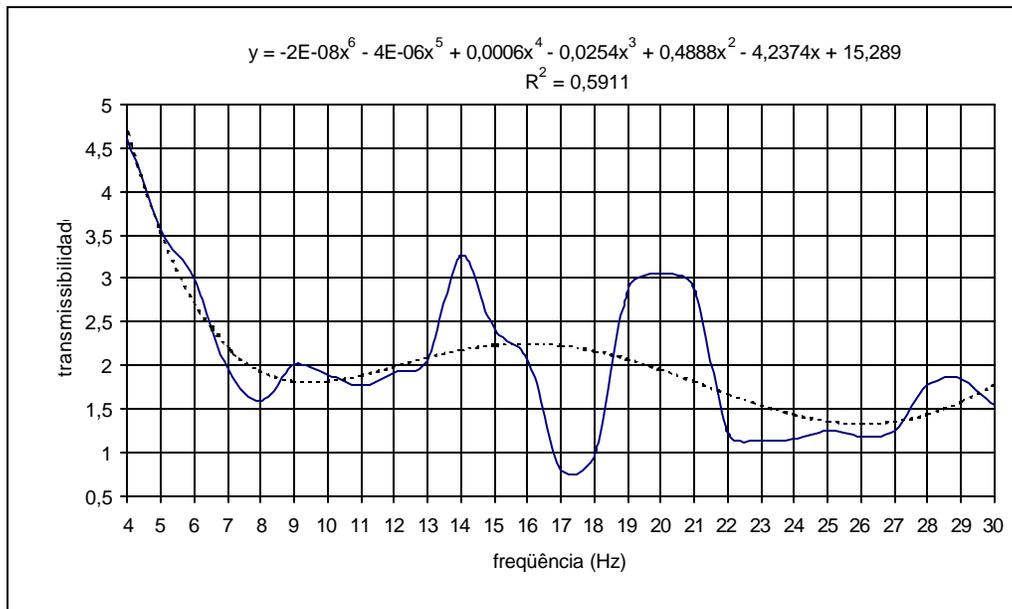


FIGURA 5.41 – Transmissibilidade média entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F196 – tipo de piso: paralelepípedo.

Analisando-se as curvas de transmissibilidade média, entre os assentos dos motoristas e os pisos dos diferentes veículos, foi possível verificar que a transmissibilidade da vibração é maior no:

- veículo F196 na faixa de frequência de 4 a 7Hz para o piso asfalto e asfalto irregular; 4 a 5Hz no piso paralelepípedo;
- veículo F197 na faixa de frequência de 4 a 8Hz para o piso asfalto, 4 a 6Hz para o piso asfalto irregular e 4 a 11Hz para o paralelepípedo;
- veículo F291\_0051 na faixa de frequência de 4 a 7Hz para o piso asfalto, 4 a 8Hz para o piso asfalto irregular e 7 a 8Hz para o piso paralelepípedo (cabe observar que nas frequências de 4Hz, 5Hz e 6Hz a transmissibilidade é maior do que 1);
- veículo F291\_0056 na faixa de frequência de 4 a 7Hz para o piso asfalto, 4 a 9Hz para o piso asfalto irregular e de 17Hz para o piso paralelepípedo (cabe observar que na faixa de interesse de 4Hz a 8Hz a transmissibilidade é maior do que 1);

- veículo F292\_0060 na faixa de frequência de 4 a 5Hz para o piso asfalto, 5 a 6Hz para o piso asfalto irregular (na frequência de 4Hz a transmissibilidade também é maior do que 1) e de 4 a 10Hz para o piso paralelepípedo;
- veículo F292\_0061 na faixa de frequência de 4 a 9Hz para o piso asfalto, 4 a 8Hz para o piso asfalto irregular e 4 a 10Hz para o piso paralelepípedo;
- veículo F298\_0021 na faixa de frequência de 4 a 6Hz para o piso asfalto, 4 a 6Hz para o piso asfalto irregular e paralelepípedo;
- veículo F395\_0264 na faixa de frequência de 4 a 7Hz para o piso asfalto, 4 a 9Hz para o asfalto irregular e 15 Hz para o paralelepípedo (na faixa de frequência de 4 a 10Hz a transmissibilidade é maior do que 1);
- veículo F395\_0268 na faixa de frequência de 4 a 7Hz para o piso asfalto, 4 a 8Hz para o piso asfalto irregular e 15Hz para o paralelepípedo (na faixa de frequência de 4 a 10Hz a transmissibilidade é maior do que 1);
- veículo F398\_0196 na faixa de frequência de 8Hz para o piso asfalto (na faixa de frequência de 4 a 8Hz a transmissibilidade é maior do que 1), 4 a 9Hz para o piso asfalto irregular e 28Hz para o piso paralelepípedo (na faixa de frequência de 4 a 10Hz a transmissibilidade é maior do que 1);
- veículo F398\_0199 na faixa de frequência de 4 a 7Hz é menor do que 1 e a partir de 8Hz é maior do que 1 (as maiores transmissibilidades encontram-se nas frequências de 13 e 18Hz) para o piso asfalto. Para o piso asfalto irregular, na faixa de frequência de 4 a 7Hz a transmissibilidade é menor do que 1 e a partir de 8Hz é maior do que 1 e para o piso paralelepípedo nas frequências de 4 e 7Hz a transmissibilidade é menor do que 1 o mesmo não ocorrendo nas frequências 5 e 6Hz.

Pode-se verificar as excelentes aproximações polinomiais ( $R^2 \geq 0,70$ ) na maioria das curvas experimentais, com exceção de alguns ensaios relacionados no piso paralelepípedo ( $R^2 \geq 0,49$ ) que por se tratar de um pequeno trecho do ensaio não foi possível realizar repetições o que dificultou uma melhor avaliação estatística e experimental do mesmo.

Com exceção do veículo F398\_0119, todos os outros apresentaram a transmissibilidade na faixa de frequência de 4Hz a 8Hz maior do que o patamar 1, demonstrando, portanto, que os assentos destes veículos não atenuam as vibrações nesta particular faixa de frequência. Portanto, as colunas destes profissionais estão expostas a índices perigosos de vibração particularmente na frequência de ressonância desta região.

O trabalho desenvolvido por White *et al.* (1990) relata que a dor na espinha aumenta em motoristas expostos a mais de 3 horas por dia, período este dentro da faixa de trabalho de todos os motoristas de ônibus. Wilder *et al.* (1982), observaram que a exposição à vibração nos assentos de diferentes veículos é dominante na faixa de frequência de 3 a 6Hz o que ficou também registrado nos resultados apresentados na maioria dos veículos aqui ensaiados. Comparando-se os resultados da transmissibilidade com o parâmetro SEAT(%) observou-se que somente o veículo F395\_0264 (para o piso paralelepípedo) apresentou um SEAT(%) maior do que 100 indicando, portanto, que este assento não atenua a vibração. Porém cabe ressaltar que este parâmetro não possibilita uma análise por faixa de frequência o que ficou demonstrado nos resultados obtidos neste trabalho, onde nas frequências de ressonância da coluna vertebral os assentos não atenuam a vibração.

Este comportamento inadequado do parâmetro SEAT(%) pode também ser observado nos resultados de Griffin (1990), na Figura 2.34, onde visualiza-se que na frequência de 4Hz os assentos não atenuam a vibração e o parâmetro SEAT(%), em alguns casos, é menor do que 100. Com relação ao conforto cabe lembrar a afirmação de Chaffin *et al.* (1999) que o desconforto é máximo, para vibração vertical, nas frequências de 4 a 8Hz, ou seja, exatamente na faixa que os assentos apresentam um comportamento que não atenua a vibração. Levando-se em consideração esta afirmação, os motoristas estão expostos a níveis de aceleração, na faixa de ressonância, que podem prejudicar a saúde e conforto dos profissionais.

### 5.1.3.2 Transmissibilidade entre o ombro do motorista e o piso do ônibus

Os ensaios experimentais permitiram verificar a transmissibilidades de outras regiões do corpo humano, completando os estudos na área dos efeitos relacionados ao corpo humano, pois a maioria dos dados relativos a transmissibilidade da vibração foram obtidos em laboratório, normalmente em uma plataforma vibratória excitada por um sinal senoidal. Em função disto, as transmissibilidades aqui representadas servem como referência a futuros estudos, pois foram obtidas no próprio ambiente de trabalho. As Figuras 5.42 a 5.44 apresentam a transmissibilidade média entre o ombro do motorista e o piso do ônibus para o veículo F196 com relação aos diferentes tipos de pisos (o Apêndice 4 apresenta as transmissibilidades dos outros veículos).

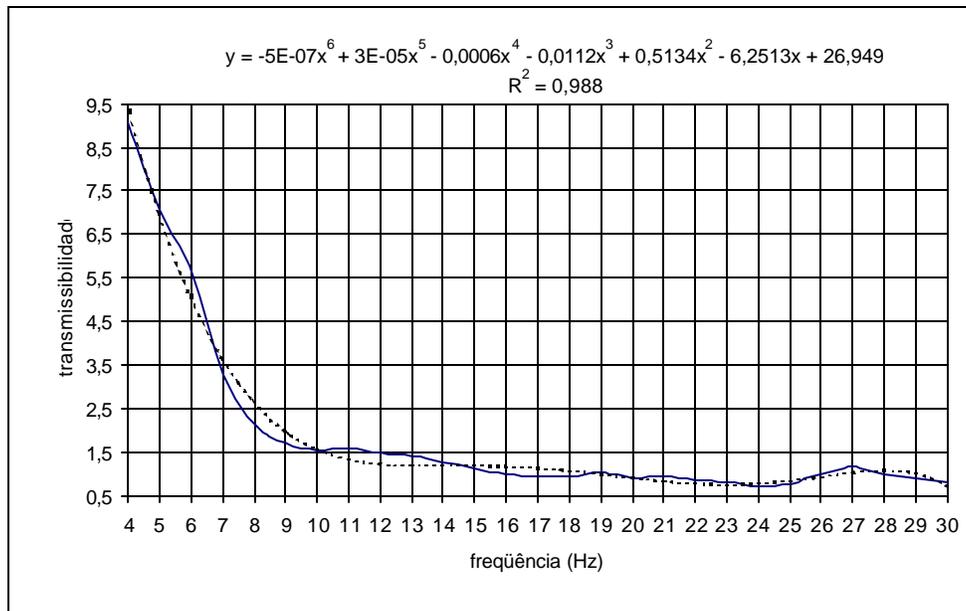


FIGURA 5.42 – Transmissibilidade média entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F196 – tipo de piso: asfalto.

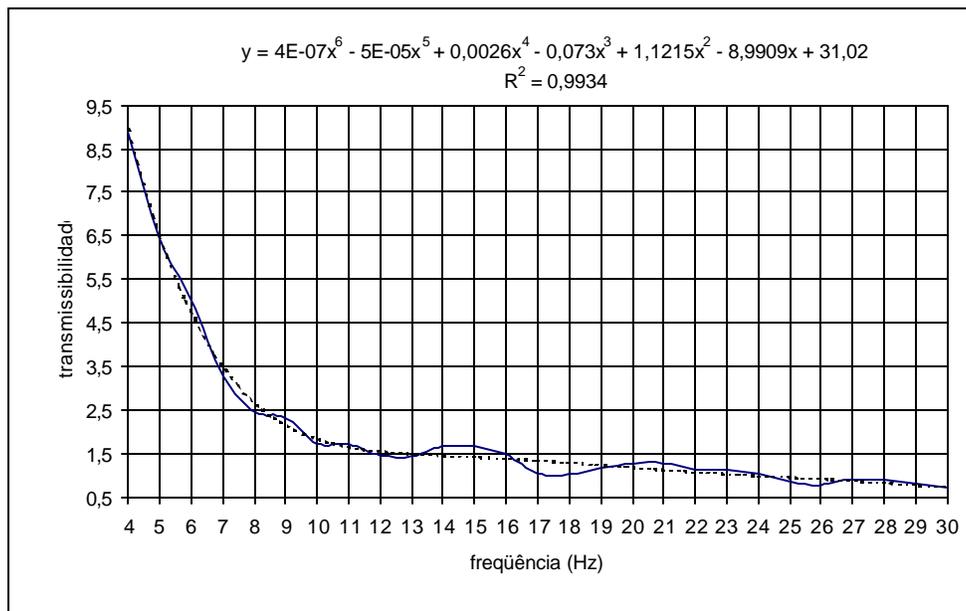


FIGURA 5.43 – Transmissibilidade média entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F196 – tipo de piso: asfalto irregular.

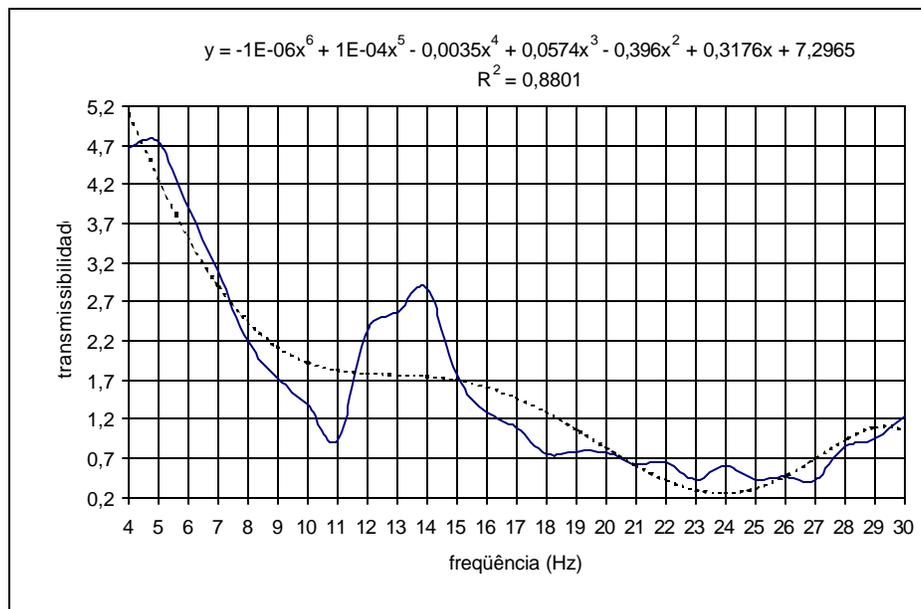


FIGURA 5.44 – Transmissibilidade média entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F196 – tipo de piso: paralelepípedo.

Analisando-se as curvas de transmissibilidade média, entre os ombros dos motoristas e os pisos dos diferentes veículos, foi possível verificar que a transmissibilidade da vibração é maior no:

- veículo F196 na faixa de frequência de 4 a 8Hz para o piso asfalto, 4 a 9Hz para o piso asfalto irregular e 4 a 7Hz no piso paralelepípedo;
- veículo F197 na faixa de frequência de 4 a 9Hz para o piso asfalto, 4 a 6Hz para o piso asfalto irregular e 4 a 7Hz para o paralelepípedo;
- veículo F291\_0051 na faixa de frequência de 4 a 9Hz para o piso asfalto, 4 a 8Hz para o piso asfalto irregular e 4 a 9Hz para o piso paralelepípedo;
- veículo F291\_0056 na faixa de frequência de 4 a 12Hz para o piso asfalto, asfalto irregular e de 4 a 7Hz para o piso paralelepípedo;
- veículo F395\_0264 na faixa de frequência de 4 a 13Hz para o piso asfalto, 4 a 11Hz para o asfalto irregular e 4 a 8Hz para o paralelepípedo;
- veículo F395\_0268 na faixa de frequência de 4 a 7Hz para o piso asfalto, 4 a 8Hz para o piso asfalto irregular e 4 a 8Hz para o paralelepípedo;
- veículo F398\_0196 na faixa de frequência de 4 a 11Hz para o piso asfalto, asfalto irregular e 8Hz para o piso paralelepípedo (na faixa de frequência de 4 a 10Hz a transmissibilidade é maior do que 1);
- veículo F398\_0199 na faixa de frequência de 9 a 13Hz para o piso asfalto (nas frequências de 4, 7 e 8 a 10Hz a transmissibilidade é maior do que 1), 14 a 23Hz para o piso asfalto irregular (nas frequências de 4 a 10Hz a transmissibilidade é maior do que 1) e na faixa de frequência de 6 a 7Hz e 14 a 15Hz são as maiores transmissibilidades (na faixa de 4 a 8Hz a transmissibilidade é maior do que 1).

Todas as transmissibilidades obtidas para o ombro com relação ao piso apresentaram excelentes aproximações polinomiais ( $R^2 \geq 0,77$ ). Todos os veículos, para esta região do corpo humano, apresentaram a transmissibilidade na faixa de frequência de 4Hz a 10Hz, maior do que o patamar 1, demonstrando, portanto, que nesta região do corpo, a vibração é amplificada coincidindo com a frequência de ressonância desta região, segundo os resultados apresentados por Chaffin *et al.* (1999). Da mesma forma que na transmissibilidade do assento e do piso, estes dados estão relacionados com o conforto e a saúde dos referidos profissionais.

### 5.1.3.3 Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista

Da mesma forma que nas transmissibilidades entre o ombro do motorista e o piso do ônibus não existem dados experimentais de outros estudos que possam ser comparados a estes. As Figuras 5.45 a 5.47 apresentam a transmissibilidade média entre o pulso do motorista e o ombro do motorista para o veículo F196 com relação aos diferentes tipos de pisos (o Apêndice 4 apresenta as transmissibilidades médias restantes dos outros veículos).

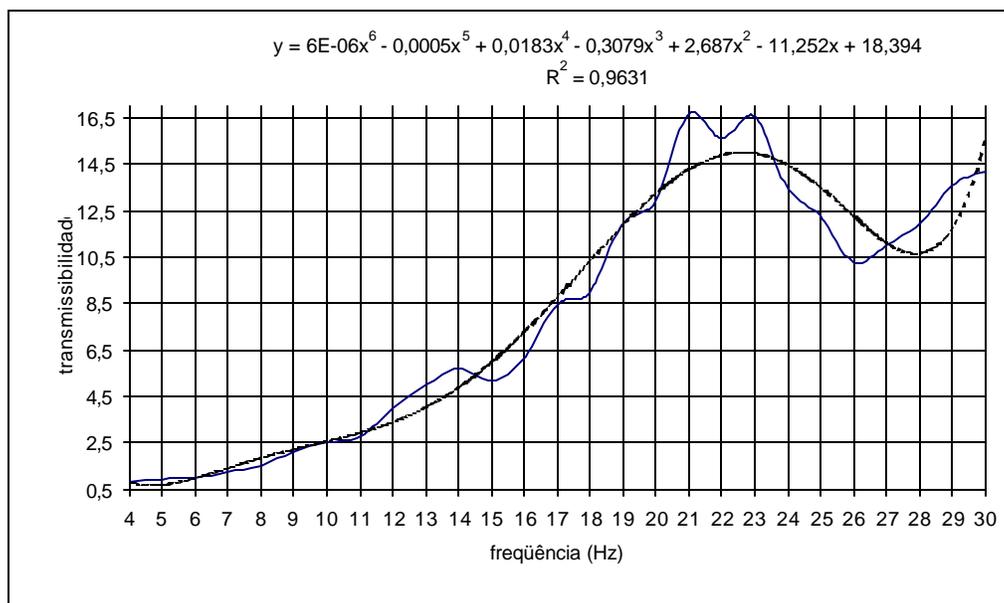


FIGURA 5.45 – Transmissibilidade média entre o pulso do motorista e ombro do motorista. Veículo: F196 – tipo de piso: asfalto.

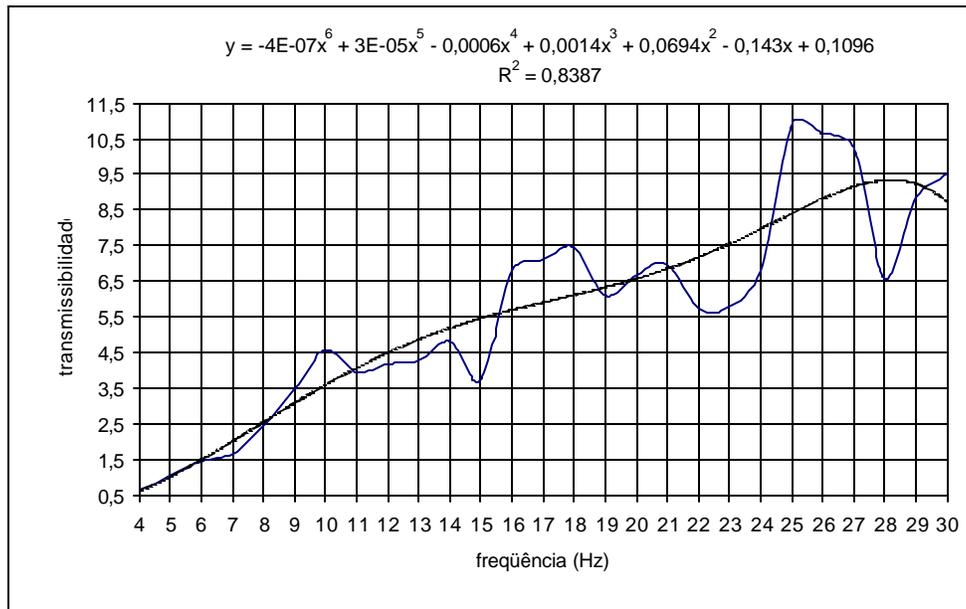


FIGURA 5.46 – Transmissibilidade média entre o pulso do motorista e ombro do motorista. Veículo: F196 – tipo de piso: asfalto irregular.

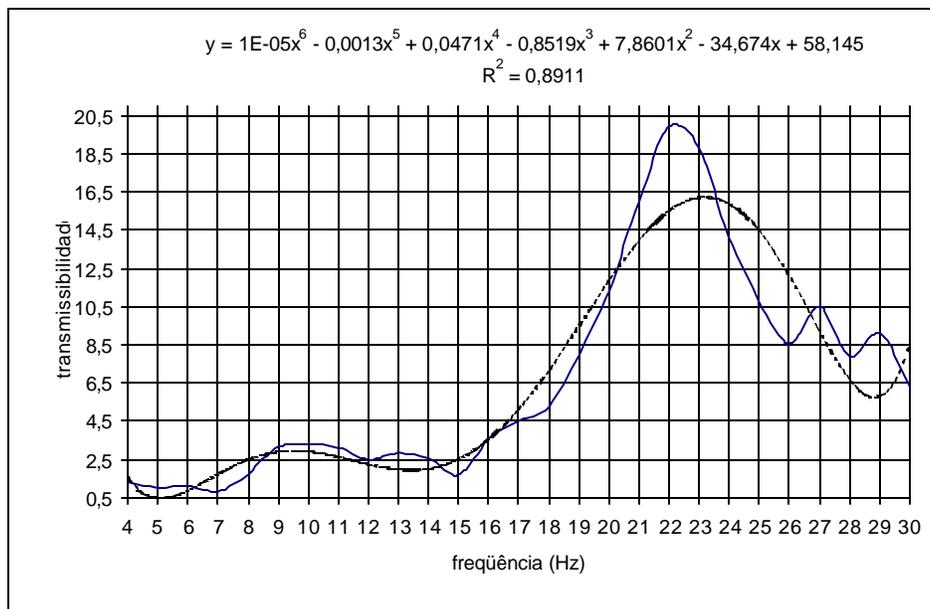


FIGURA 5.47 – Transmissibilidade média entre o pulso do motorista e ombro do motorista. Veículo: F196 – tipo de piso: paralelepípedo.

Analisando-se as curvas de transmissibilidade média, entre os pulsos dos motoristas e ombros dos motoristas e os pisos dos diferentes veículos, foi possível verificar que a transmissibilidade da vibração é maior no:

- veículo F196 na faixa de frequência de 21 a 23Hz para o piso asfalto (a partir de 8Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1), 25 a 27Hz para o piso asfalto irregular (a partir de 5Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1) e 20 a 25Hz no piso paralelepípedo (a partir de 8Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1);
- veículo F197 na faixa de frequência de 27 a 30Hz para o piso asfalto (a partir de 4Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1), 27 a 29Hz para o piso asfalto irregular (a partir de 4Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1) e 19 a 20Hz para o paralelepípedo (a partir de 4Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1);
- veículo F291\_0051 na faixa de frequência de 28 a 30Hz para o piso asfalto (a partir de 4Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1), 24 a 27Hz para o piso asfalto irregular (a partir de 6Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1) e 10 a 12Hz para o piso paralelepípedo (a partir de 4Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1);
- veículo F291\_0056 na faixa de frequência de 24 a 28Hz para o piso asfalto (a partir de 5Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1), 20 a 22Hz para o piso asfalto irregular (a partir de 5Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1) e de 18 a 20Hz para o piso paralelepípedo (a partir de 5Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1);
- veículo F395\_0264 na faixa de frequência de 21 a 26Hz para o piso asfalto (a partir de 4Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1), 26Hz para o asfalto irregular (a partir de 4Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1) e 23 a 25Hz para o paralelepípedo (a partir de 4Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1);
- veículo F395\_0268 na faixa de frequência de 25 a 27Hz para o piso asfalto (a partir de 4Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1), 23 a 25Hz para o piso asfalto irregular (a partir de 5Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1);

- veículo F398\_0196 na faixa de frequência de 16 a 22Hz para o piso asfalto (a partir de 4Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1), 22 a 30Hz para o piso asfalto irregular (a partir de 4Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1) e 15 a 19Hz para o piso paralelepípedo (a partir de 5Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1);
- veículo F398\_0199 na faixa de frequência de 27 a 29Hz para o piso asfalto (a partir de 4Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1), 19 a 20Hz para o piso asfalto irregular (a partir de 5Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1) e na faixa de frequência de 23 a 26Hz (a partir de 4Hz toda a transmissibilidade é maior do que 1).

As transmissibilidades obtidas para os pisos asfalto e asfalto irregular, apresentaram excelentes aproximações polinomiais ( $R^2 \geq 0,74$ ), o mesmo não ocorreu com o paralelepípedo em função da pequena amostra obtida para este tipo de piso ( $R^2 \geq 0,54$ ). Todos os veículos, para esta região do corpo humano, apresentaram a transmissibilidade a partir de 5Hz maior do que o patamar 1, porém as maiores estão ao redor da faixa de frequência de 16 a 30Hz. Porém não existem ainda dados para verificar o que ocorre nesta região exposta a vibração excessiva.

A Figura 5.48 apresenta a análise baseada na ANOVA para os três tipos de transmissibilidade apresentados neste trabalho. Segundo os resultados da ANOVA relacionada às transmissibilidades, pode-se constatar que:

- o efeito do modelo do ônibus é significativo em todas as transmissibilidades;
- o efeito do tipo de piso somente é significativo na transmissibilidade assento/piso;
- a interação entre os efeitos A (modelos) e B (pisos) são significativas nas transmissibilidades assento/piso e pulso/ombro.

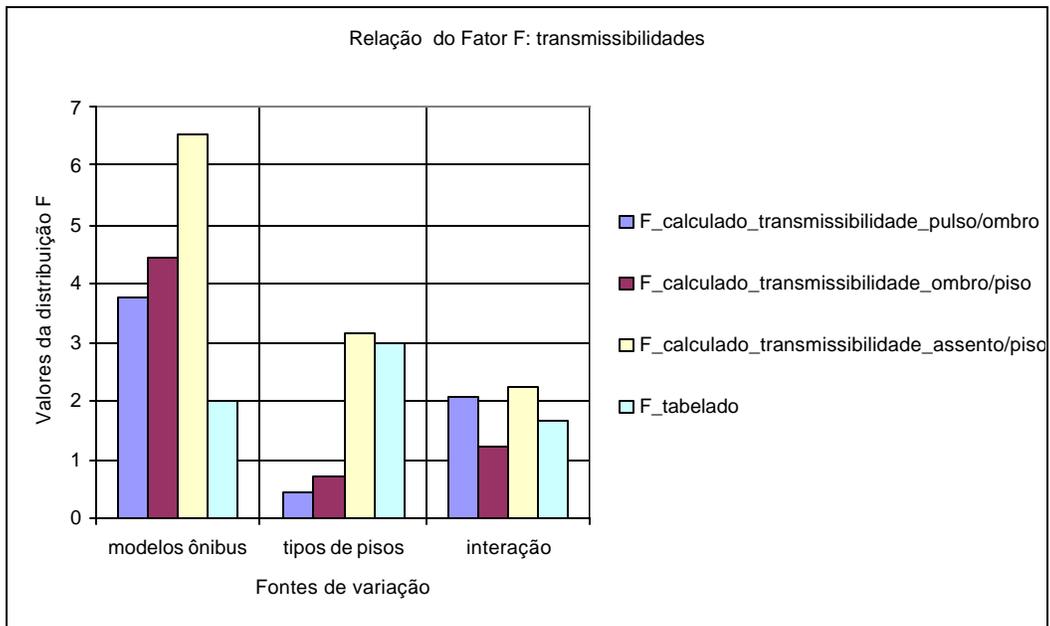


FIGURA 5.48 – ANOVA relacionando as transmissibilidades.

## 5.2 Ensaios com a mesa vibratória: uma análise relacionada à transmissibilidade

Com a utilização dos bancos mostrados nas Figuras 4.17 a 4.18 e o sistema implementado (Figuras 4.14 a 4.16) foi possível verificar o comportamento dinâmico nas seguintes situações: 4 diferentes excitações e 2 diferentes ângulos do encosto do assento. O principal objetivo deste ensaio é verificar se o assento aparentemente mais confortável (Figura 4.18) realmente apresenta características que comprovam isto (nas faixas de frequência de excitação) e se a relação entre os ângulos dos assentos alteram significativamente o comportamento na faixa de frequência gerada pela mesa vibratória.

As Figuras 5.49 a 5.64 apresentam os resultados comparando as transmissibilidades médias entre os bancos para os diferentes ângulos do encosto ( $90^\circ$  e  $120^\circ$ ) e polias (Tabela 4.4) utilizadas no sistema experimental (Figura 4.14).

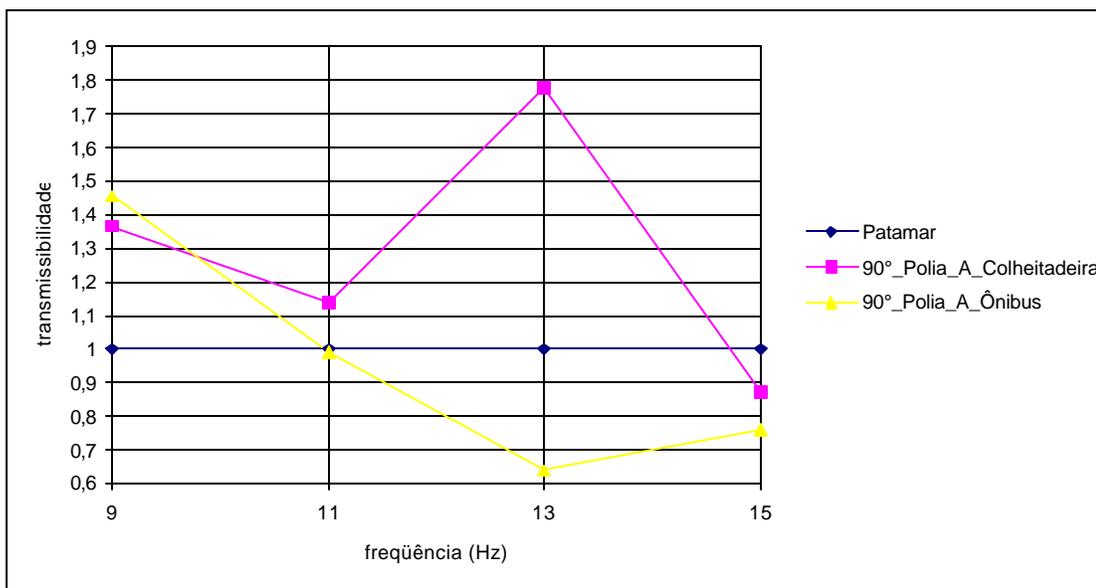


FIGURA 5.49 – Comparação das transmissibilidades médias entre os assentos. Ângulo do encosto:  $90^\circ$  – Polia utilizada: A.

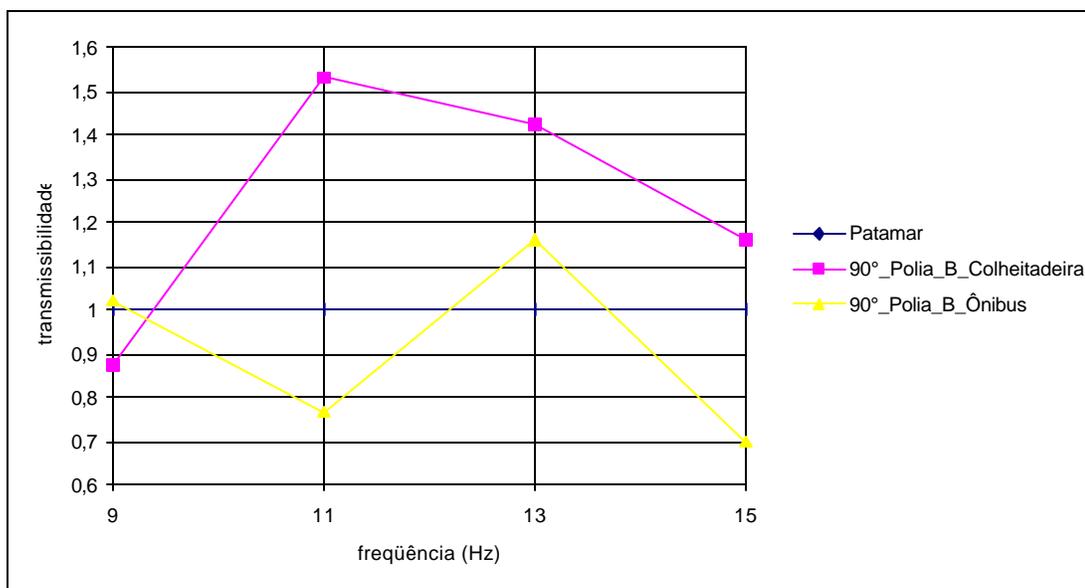


FIGURA 5.50 – Comparação das transmissibilidades médias entre os assentos. Ângulo do encosto: 90° – Polia utilizada: B.

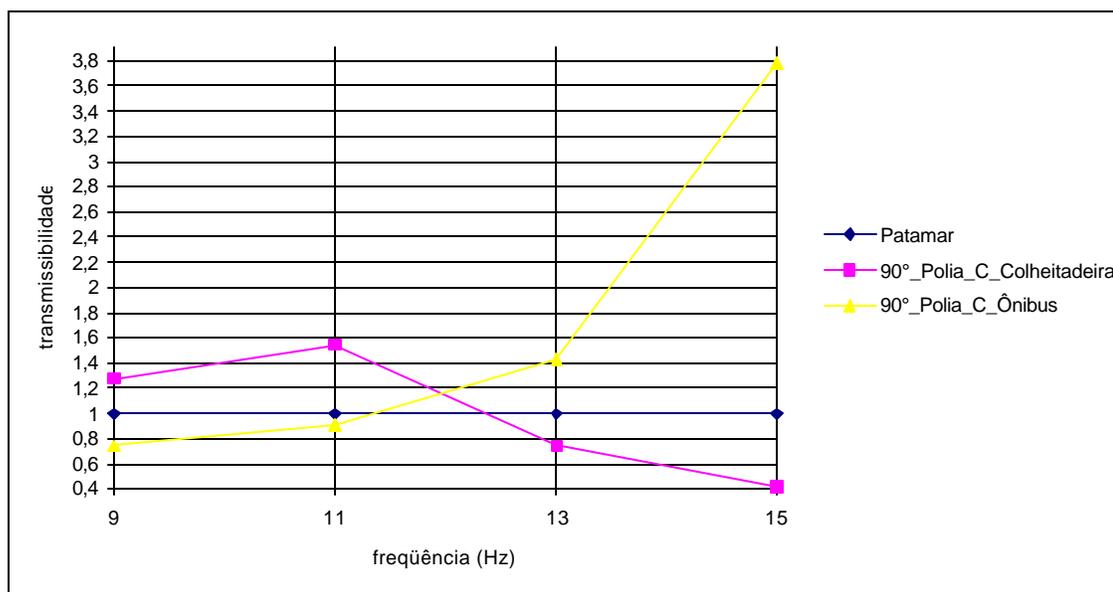


FIGURA 5.51 – Comparação das transmissibilidades médias entre os assentos. Ângulo do encosto: 90° – Polia utilizada: C.

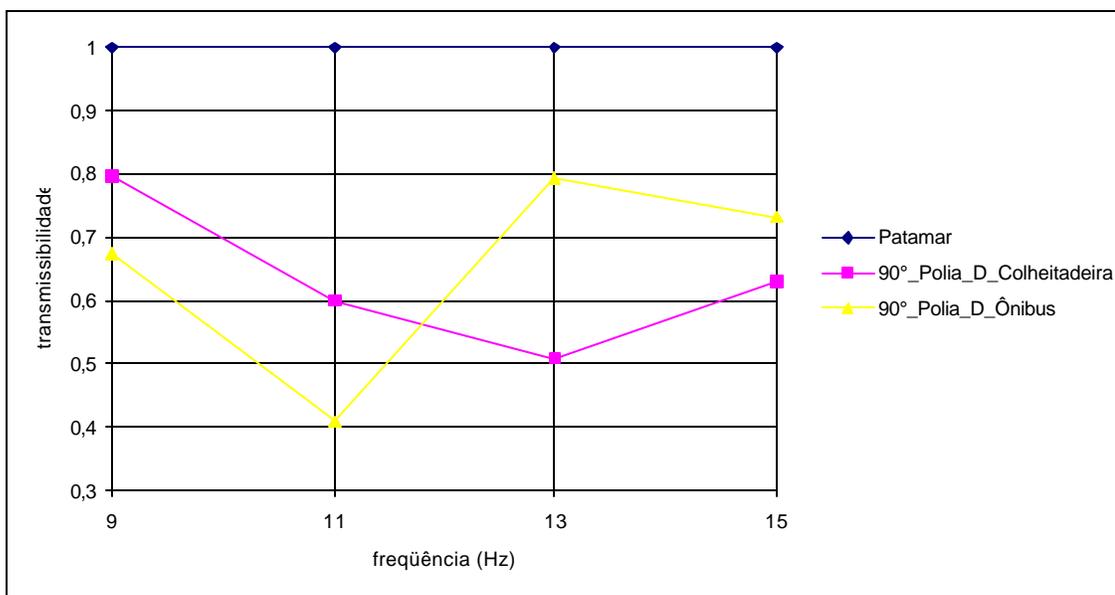


FIGURA 5.52 – Comparação das transmissibilidades médias entre os assentos. Ângulo do encosto: 90° – Polia utilizada: D.

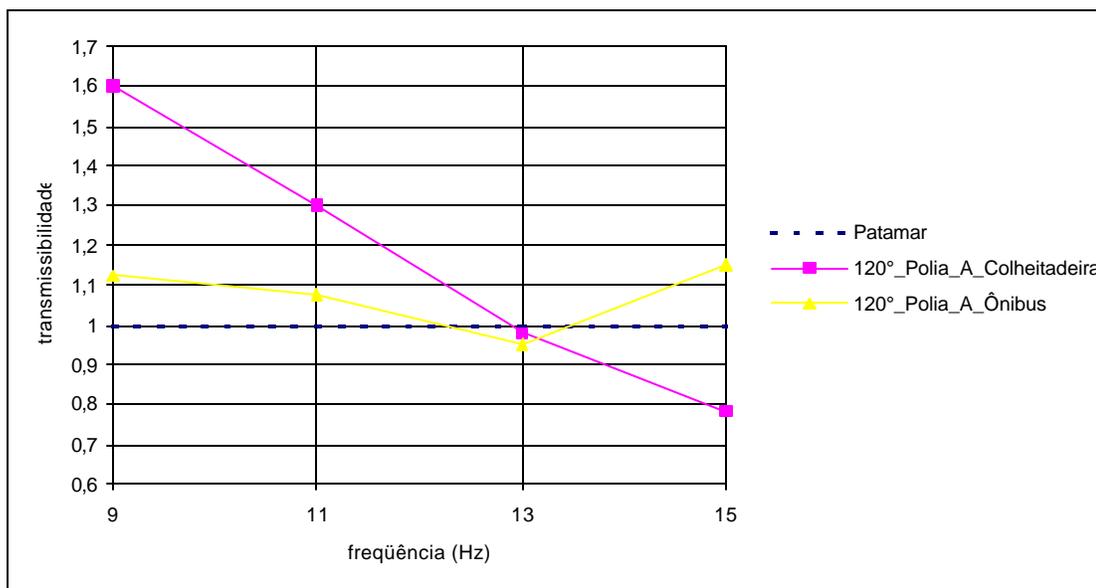


FIGURA 5.53 – Comparação das transmissibilidades médias entre os assentos. Ângulo do encosto: 120° – Polia utilizada: A.

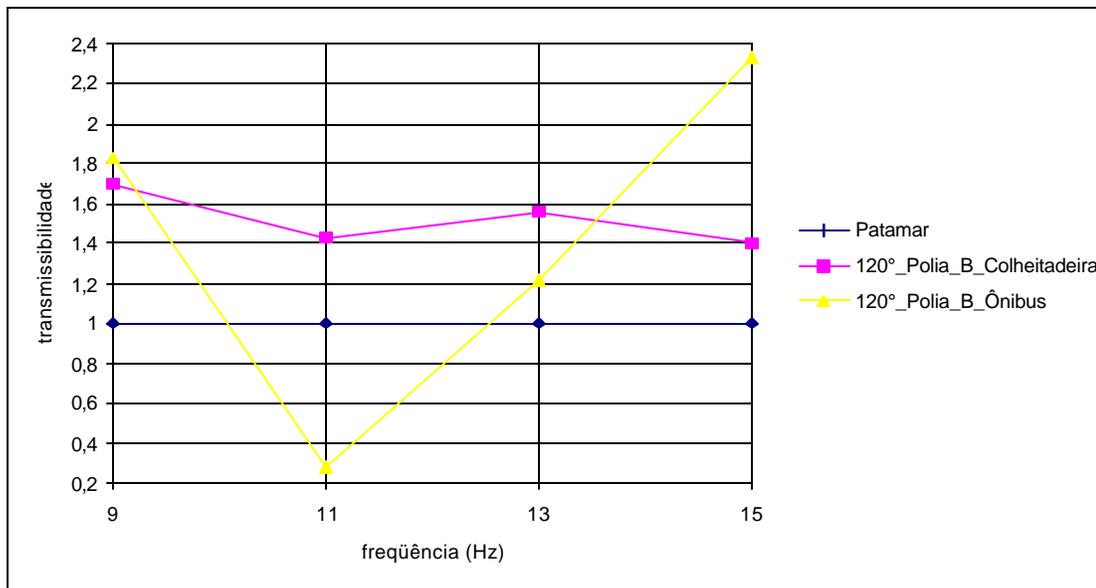


FIGURA 5.54 – Comparação das transmissibilidades médias entre os assentos. Ângulo do encosto: 120° – Polia utilizada: B.

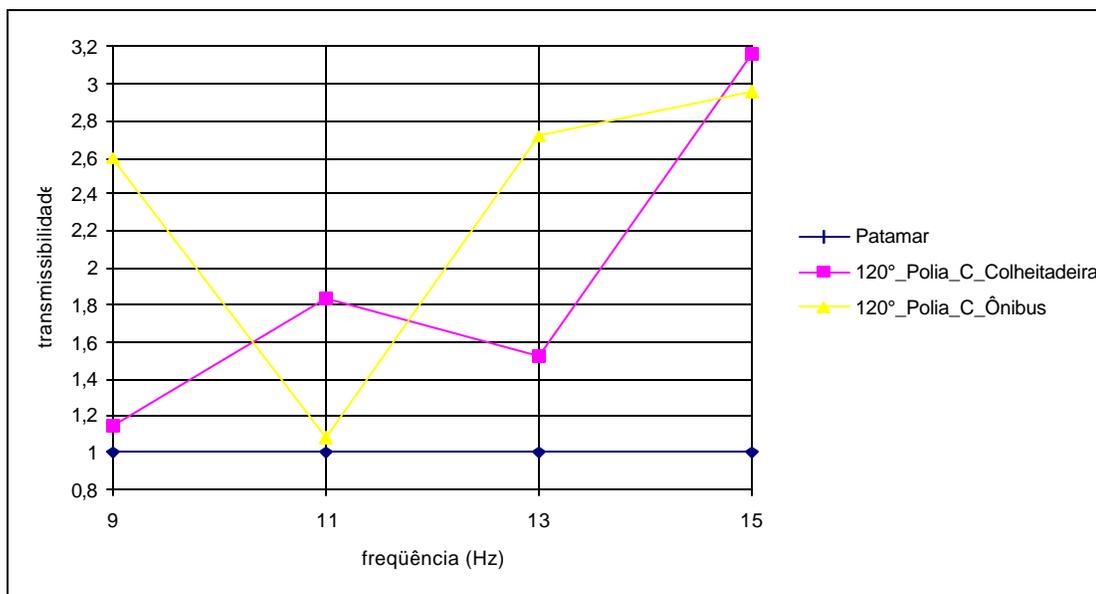


FIGURA 5.55 – Comparação das transmissibilidades médias entre os assentos. Ângulo do encosto: 120° – Polia utilizada: C.

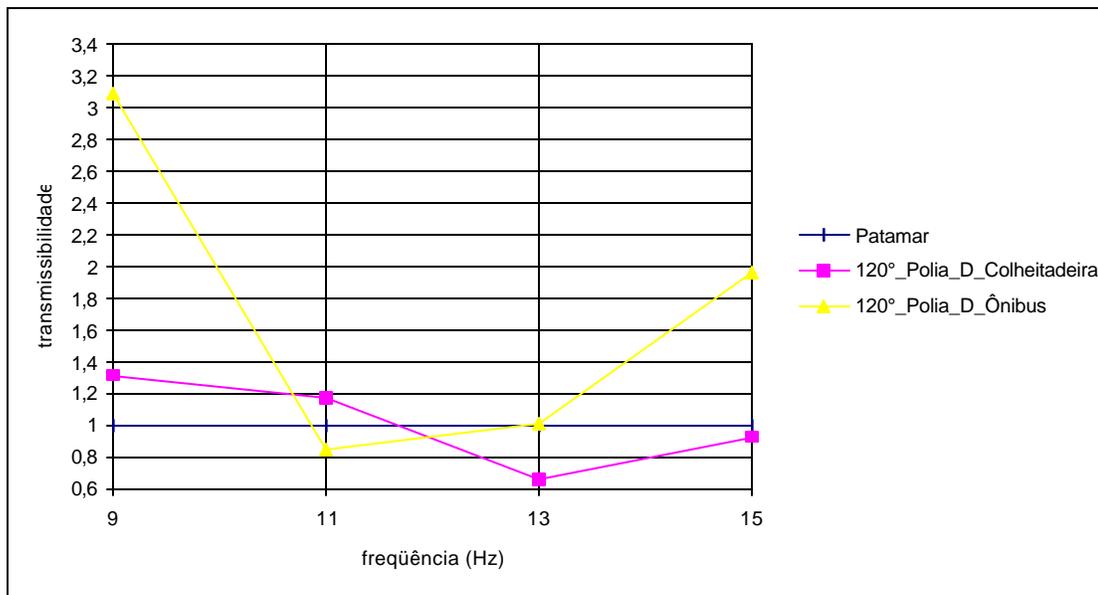


FIGURA 5.56 – Comparação das transmissibilidades médias entre os assentos. Ângulo do encosto: 120° – Polia utilizada: D.

Analisando-se as Figuras 5.49 a 5.52, percebe-se que para o ângulo de 90°, o banco da colheitadeira, em determinadas frequências, apresenta transmissibilidade média superior ao banco de ônibus. Cabe observar que não foi possível analisar os assentos em diferentes frequências, como por exemplo, a faixa de frequência de ressonância da coluna vertebral, pois a excitação da mesa vibratória (sinal de entrada) apresenta um comportamento senoidal (não apresentando estas frequências). Outro ponto a salientar é que os resultados foram diferentes para as diversas polias utilizadas (fato que será verificado a nível estatístico), pois a excitação é diferente, demonstrando a dificuldade no desenvolvimento de um assento confortável e que deveria apresentar características para beneficiar a saúde humana, tanto a nível ergonômico como com relação à vibração. Com relação ao ângulo do encosto de 120° (Figuras 5.53 a 5.56), observou-se também que, em determinadas frequências, os assentos não atenuaram a vibração.

Outro ponto a observar, é que o ambiente experimental no laboratório é diferente do trajeto na cidade, o que leva a afirmar que estes resultados não devem ser comparados aos dos obtidos em situação real, mas de qualquer forma apresenta validade no sentido de possibilitar a comparação entre assentos diferentes para uma determinada situação controlada. Além disso, todos os gráficos deste tópico apresentam transmissibilidades pontuais (nas frequências de 9, 11, 13 e 15Hz) e que a ligação entre estes pontos tem por objetivo facilitar a visualização dos resultados.

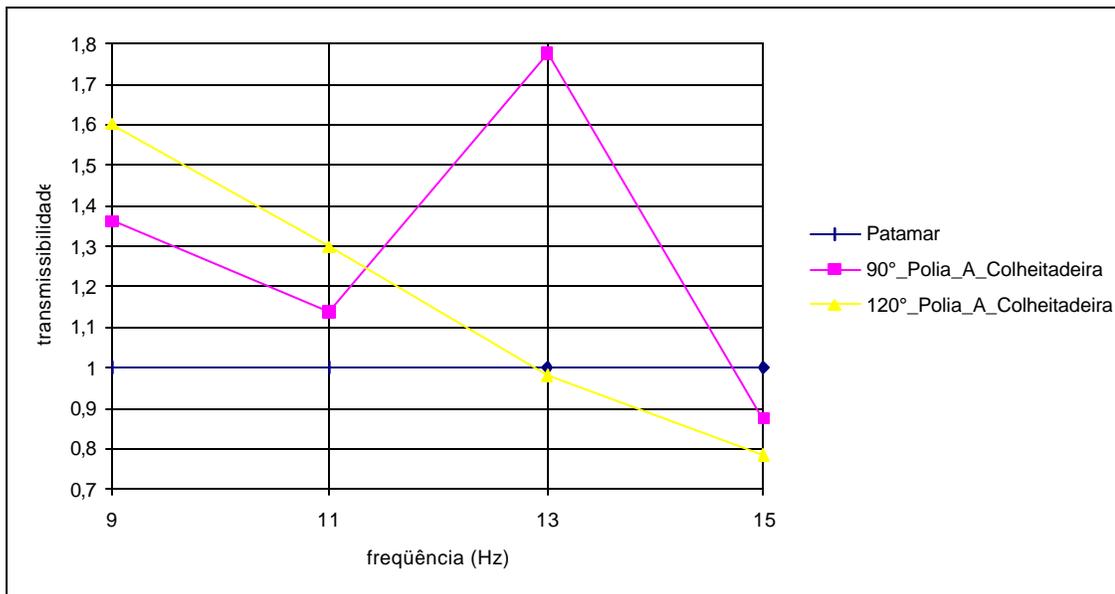


FIGURA 5.57 – Comparação das transmissibilidades do assento da colheitadeira para os diferentes ângulos do encosto – Polia utilizada: A.

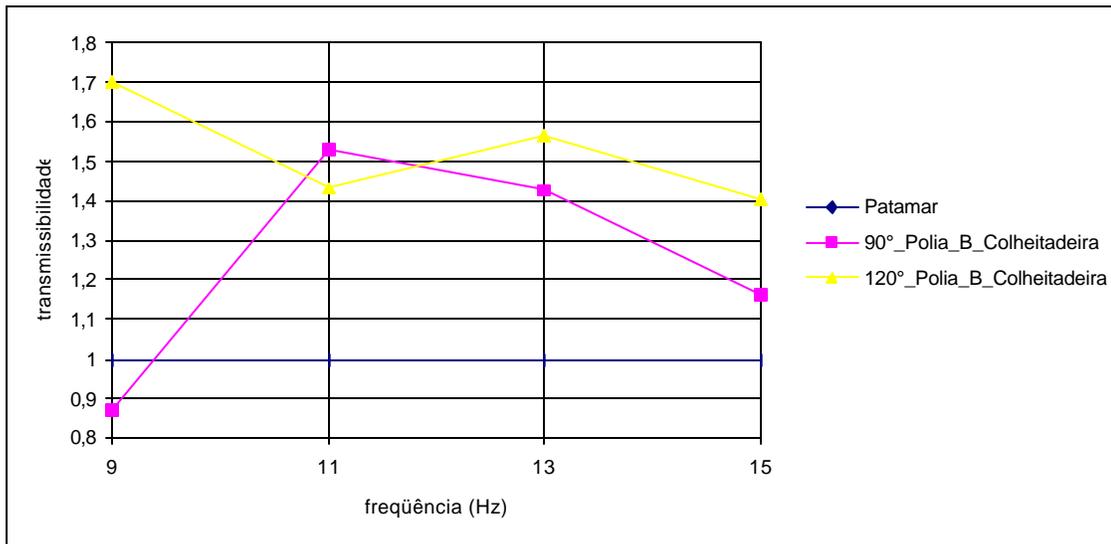


FIGURA 5.58 – Comparação das transmissibilidades do assento da colheitadeira para os diferentes ângulos do encosto – Polia utilizada: B.

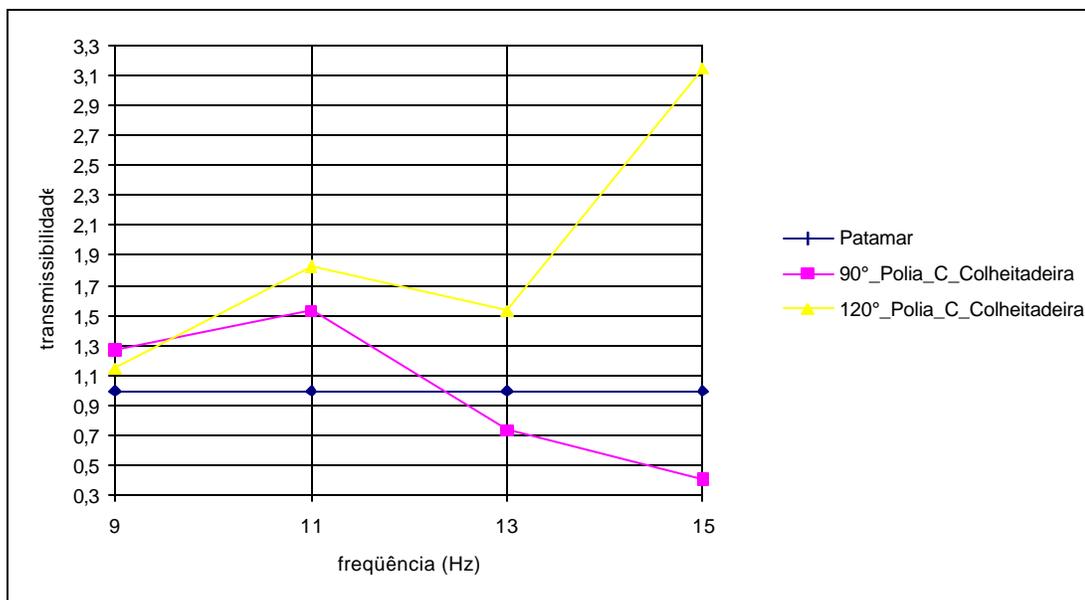


FIGURA 5.59 – Comparação das transmissibilidades do assento da colheitadeira para os diferentes ângulos do encosto – Polia utilizada: C.

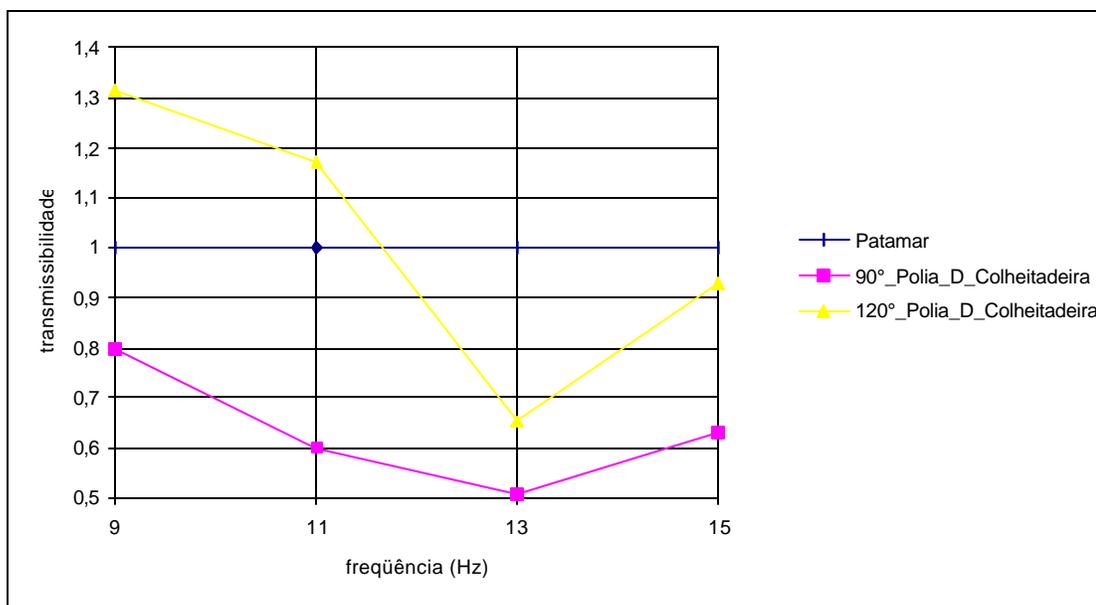


FIGURA 5.60 – Comparação das transmissibilidades do assento da colheitadeira para os diferentes ângulos do encosto – Polia utilizada: D.

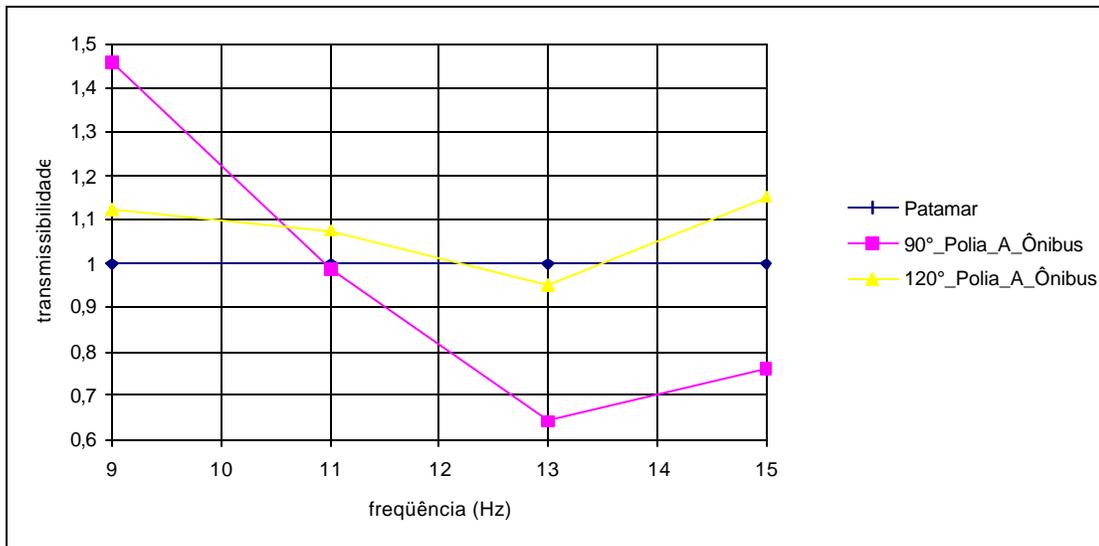


FIGURA 5.61 – Comparação das transmissibilidades do assento do ônibus para os diferentes ângulos do encosto – Polia utilizada: A.

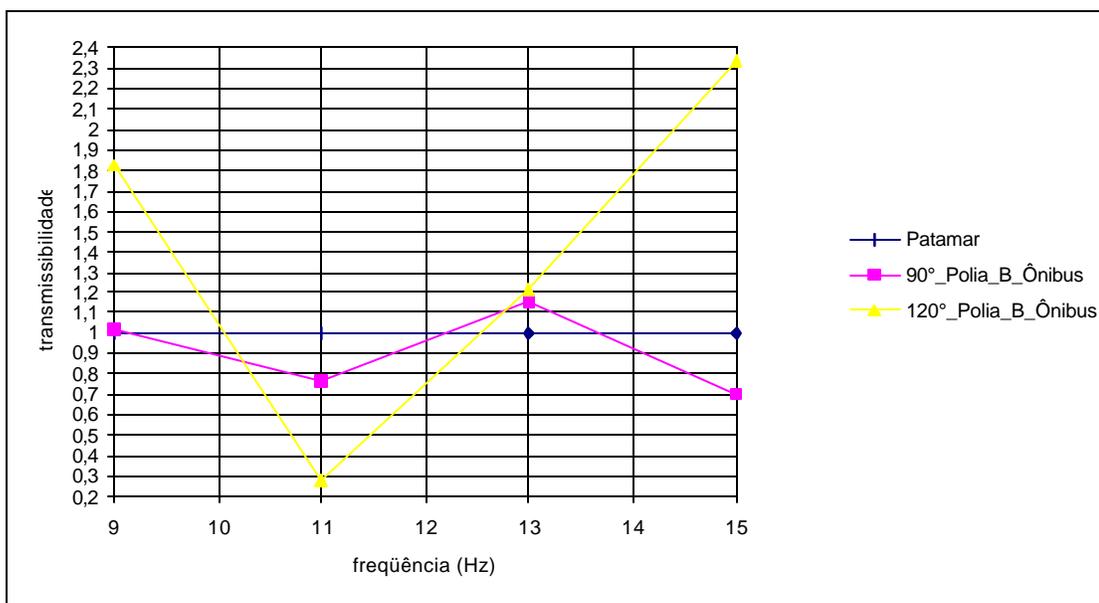


FIGURA 5.62 – Comparação das transmissibilidades do assento do ônibus para os diferentes ângulos do encosto – Polia utilizada: B.

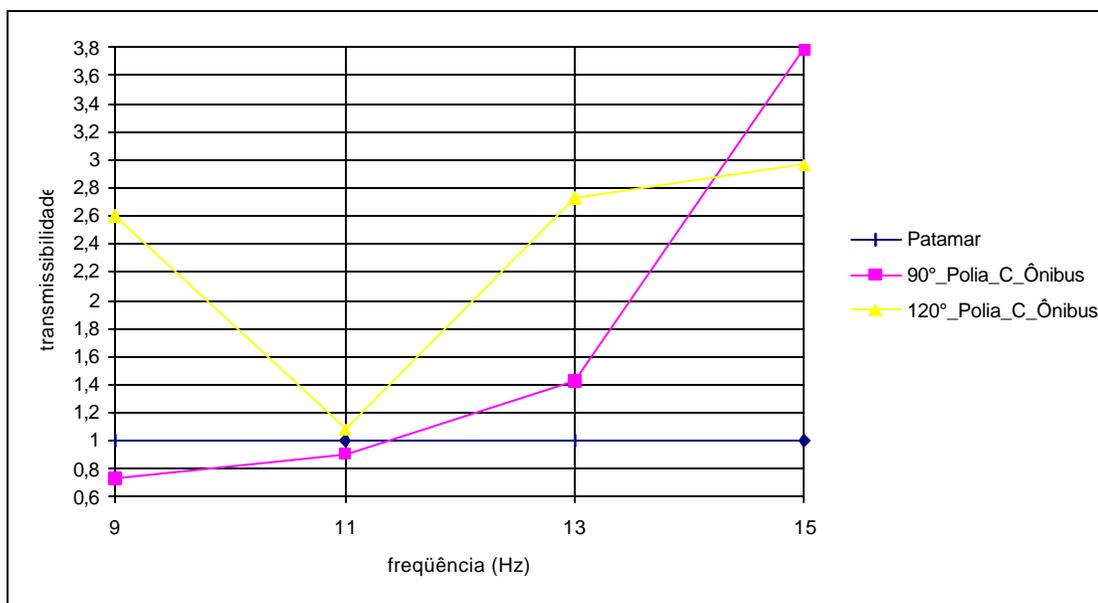


FIGURA 5.63 – Comparação das transmissibilidades do assento do ônibus para os diferentes ângulos do encosto – Polia utilizada: C.

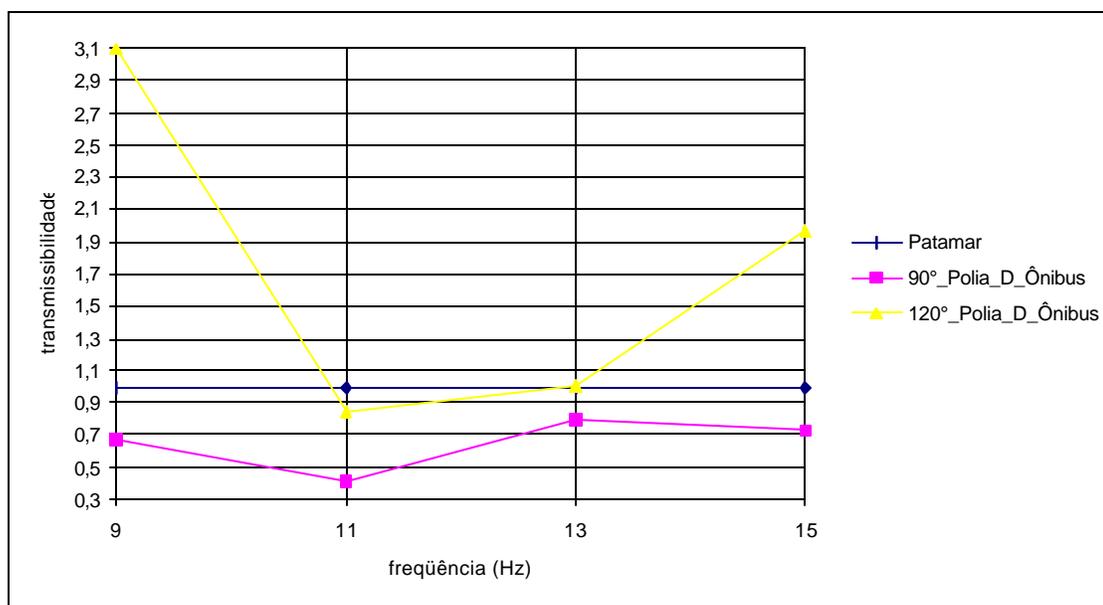


FIGURA 5.64 – Comparação das transmissibilidades do assento do ônibus para os diferentes ângulos do encosto – Polia utilizada: D.

As Figuras 5.57 a 5.64 apresentam o comportamento de um mesmo assento relacionado ao dois ângulos do encosto ( $90^\circ$  e  $120^\circ$ ) utilizados neste ensaio. Apesar do ângulo de  $120^\circ$  ser considerado, por alguns autores, um ângulo melhor com relação à pressão gerada na vértebra L3 (White *et al.*, 1990), o mesmo não pode ser afirmado com relação à vibração, pois em determinadas frequências, a transmissibilidade média para o ângulo de  $120^\circ$ , no banco do ônibus, é maior do que para o ângulo de  $90^\circ$ . Cabe ressaltar, a necessidade de aperfeiçoamento no projeto da mesa vibratória ou a aquisição de um controlador de rotações para o motor para permitir uma varredura em frequência, possibilitando assim, o estudo dinâmico do assento em diferentes frequências (preferencialmente na faixa de 4 a 30Hz).

Com relação ao ensaio realizado no laboratório para verificar o comportamento dos bancos de ônibus e de colheitadeira foi implementado um projeto fatorial completo a três níveis: diferentes polias, diferentes ângulos do encosto e tipos de bancos, cujos resultados encontram-se na Figura 5.65.

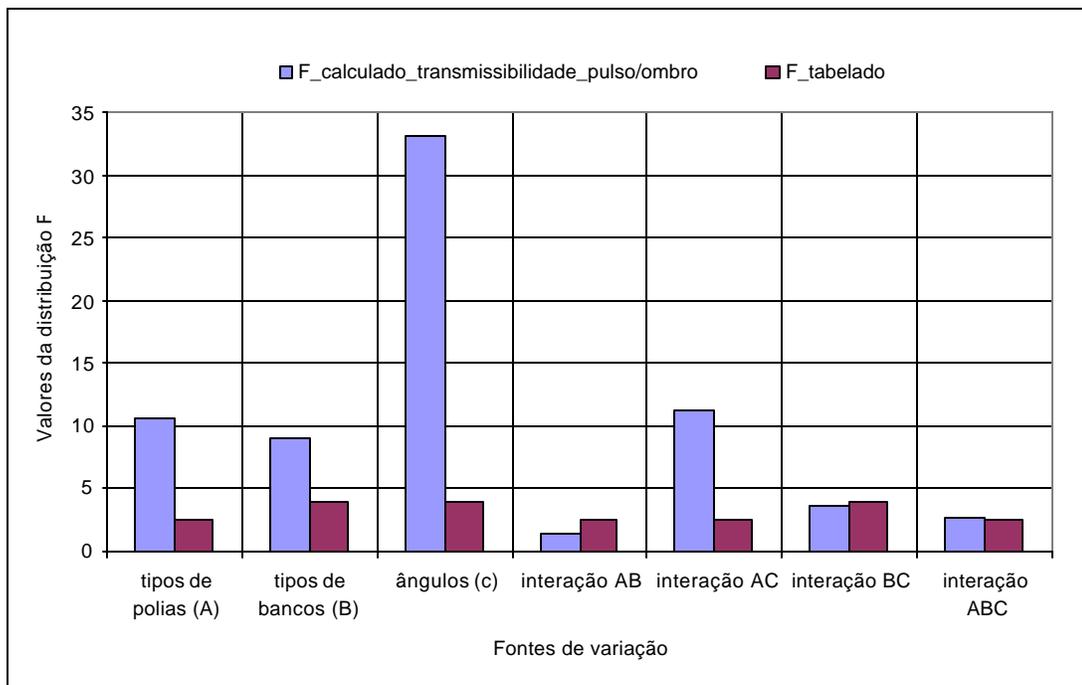


FIGURA 5.65 – Fator F - transmissibilidades assento/piso dos bancos: ônibus e colheitadeira.

Segundo os resultados da ANOVA (Figura 5.65 e Apêndice 5) relacionada às transmissibilidades assento/piso para os dois tipos de bancos, pode-se afirmar que:

- o efeito do tipo de polia usada é significativo;
- o efeito do tipo de banco usado é significativo, ou seja, os dois bancos apresentam comportamento estatisticamente significativo;
- o ângulo do encosto é significativo na determinação da transmissibilidade;
- a interação entre os efeitos A e B não são significativos;
- a interação entre os efeitos A e C são significativos;
- a interação entre os efeitos B e C não são significativos;
- a interação entre os efeitos A, B e C são significativos.

Cabe ressaltar que este aparato experimental está sendo utilizado em outros trabalhos com o objetivo de melhor avaliar o comportamento dinâmico dos assentos para diferentes pessoas e situações. Rowlands, Johnston, Moseley e Griffin (*apud* Griffin, 1990) e SAE (1993) indicaram que a transmissibilidade da vibração até a cabeça é influenciada pelo encosto, sendo que, o mesmo ficou comprovado pelos resultados dos assentos para a transmissibilidade assento/piso em função provavelmente da diferença de distribuição de pressão das nádegas e pernas para os diferentes ângulos do encosto (esta observação merece verificação experimental, com o desenvolvimento de um aparato experimental que permita medir a distribuição de pressão em diversas partes do assento vibrando).

### 5.3 Avaliação dos questionários

Como todo o trabalho que envolve a área da saúde com a área das ciências exatas, o ser humano deve ser um dos focos principais do trabalho. Inicialmente buscou-se uma avaliação médica dos profissionais envolvidos neste trabalho, porém não foi possível a obtenção dos mesmos. Em função disto, um questionamento importante e intrigante foi aberto neste trabalho: *apesar dos resultados indicarem que estes profissionais estão expostos a situações de risco ocupacional, será que os mesmos já apresentam sintomas relativos a sua ocupação?*

Não é possível responder a este questionamento, porém alguns dados obtidos através dos questionários são intrigantes, deixando registrado a necessidade de um estudo envolvendo a área médica relacionado a este trabalho. Foi elaborado um questionário (já descrito no capítulo 4 e apresentado no Apêndice 1) para verificar-se a existência ou não de sintomas ou problemas que possam estar relacionados à atividade ocupacional dos motoristas de ônibus<sup>8</sup>. O mesmo questionário foi aplicado a um grupo de pessoas das mais diversas atividades (grupo denominado de controle – nenhum motoristas profissional), para verificar a significância dos resultados entre os grupos. Cabe salientar que foram aplicados:

- 103 questionários nos motoristas de ônibus;
- 75 questionários no grupo de controle (GC).

A Figura 5.66 apresenta o percentual entre pessoas do sexo masculino e feminino para os grupos que responderam os questionários: motoristas de ônibus e grupo de controle (de diversas ocupações e profissões). Infelizmente não foi possível a participação de nenhum motorista de ônibus do sexo feminino. As Figuras 5.67 e 5.68 apresentam os percentuais com relação ao cigarro (importante fator a ser considerando, pois parece existir uma relação entre o fumo e o aparecimento das doenças dos dedos brancos - NIOSH, 1989) e qual é a mão dominante (ou a mão utilizada na maioria das situações).

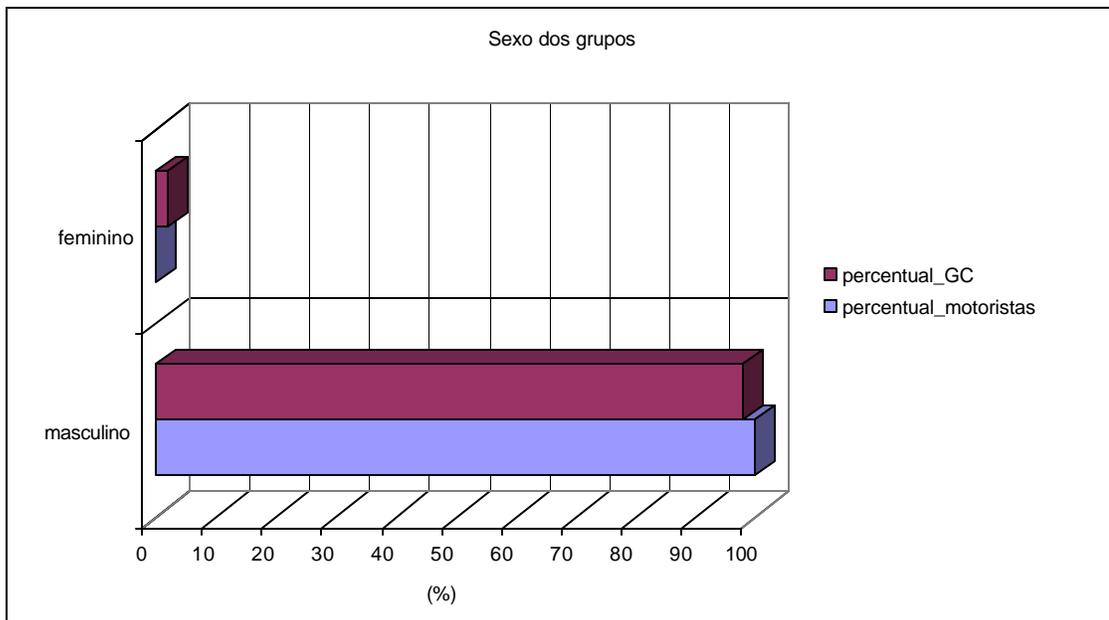
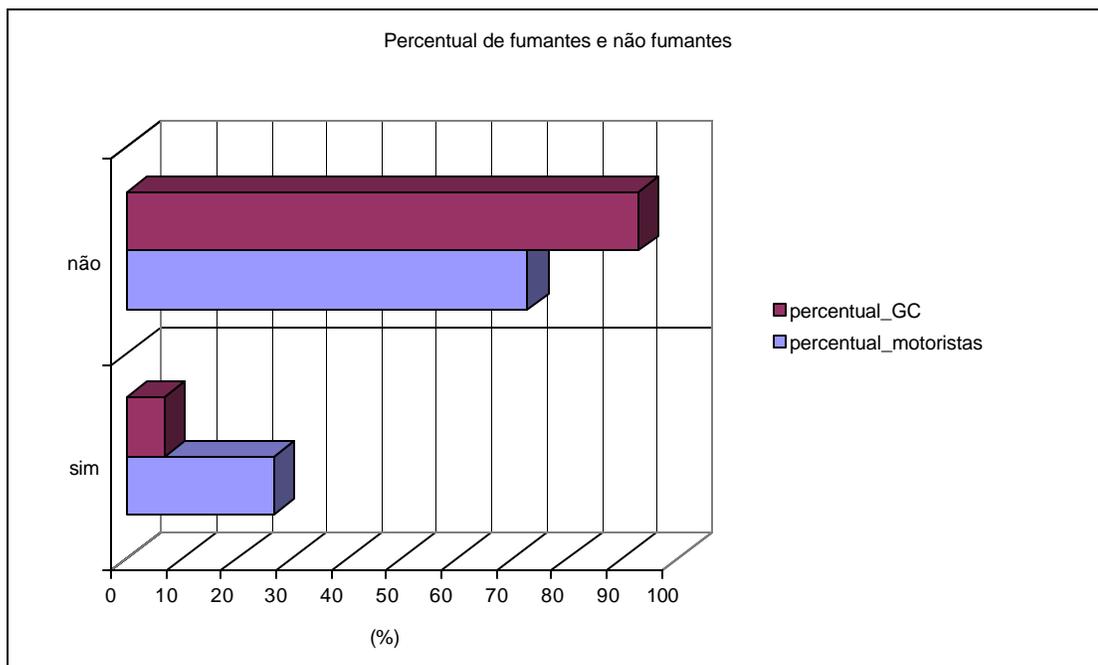


FIGURA 5.66 – Percentual de participantes do sexo feminino e masculino.



<sup>8</sup> Os motoristas de ônibus responderam os questionários na empresa sob a supervisão das Psicólogas do Setor de

FIGURA 5.67 – Percentual de fumantes e não fumantes entre os grupos.

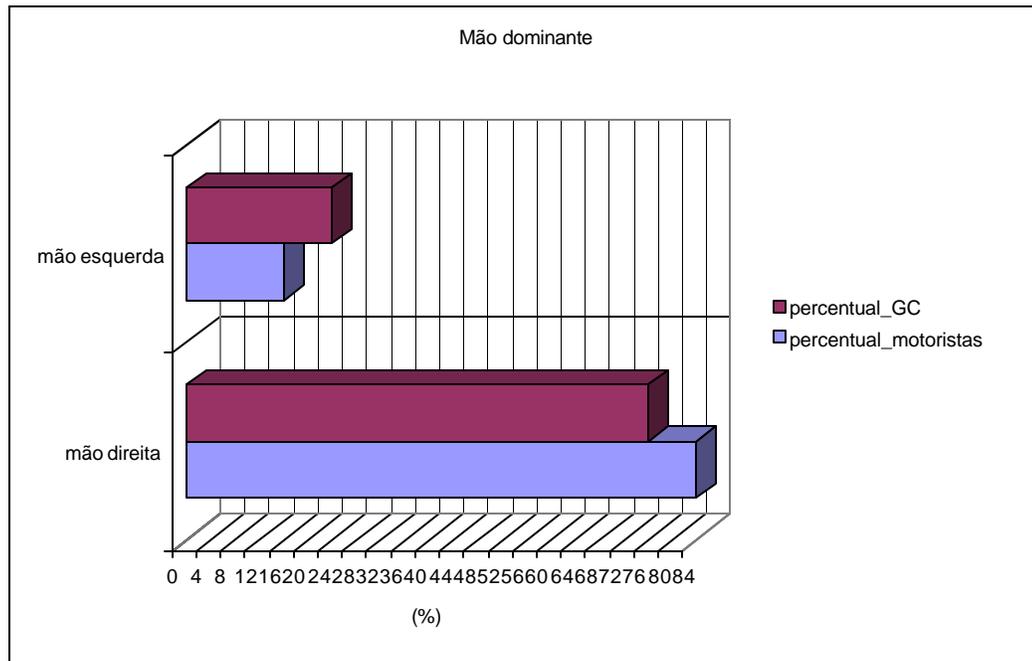


FIGURA 5.68 – Percentual indicando a mão dominante.

A Figura 5.69 apresenta o percentual de trabalhadores (entre os grupos) expostos ao ar-condicionado. O frio é considerado um fator físico que acelera o aparecimento dos problemas relacionados à vibração do segmento mão-braço, como por exemplo, a síndrome dos dedos brancos, conforme estudos elaborados por Pelmeier *et al.* (1998) e NIOSH (1989). Segundo os dados obtidos neste trabalho com relação à vibração do segmento mão-braço, pode-se verificar que os motoristas não estão expostos a índices perigosos de vibração que possam ocasionar danos a esta região e o percentual de motoristas expostos ao ar-condicionado é somente de 27%. Outro ponto a salientar é que a falta do ar-condicionado no veículo é considerada, pelos motoristas, como um fator preponderante na escolha do melhor ou pior ônibus (Figuras 5.76 e 5.77).

As Figuras 5.70 a 5.72 apresentam os principais problemas apresentados nos últimos doze meses, na última semana e após um dia de trabalho para os grupos que responderam os questionários.

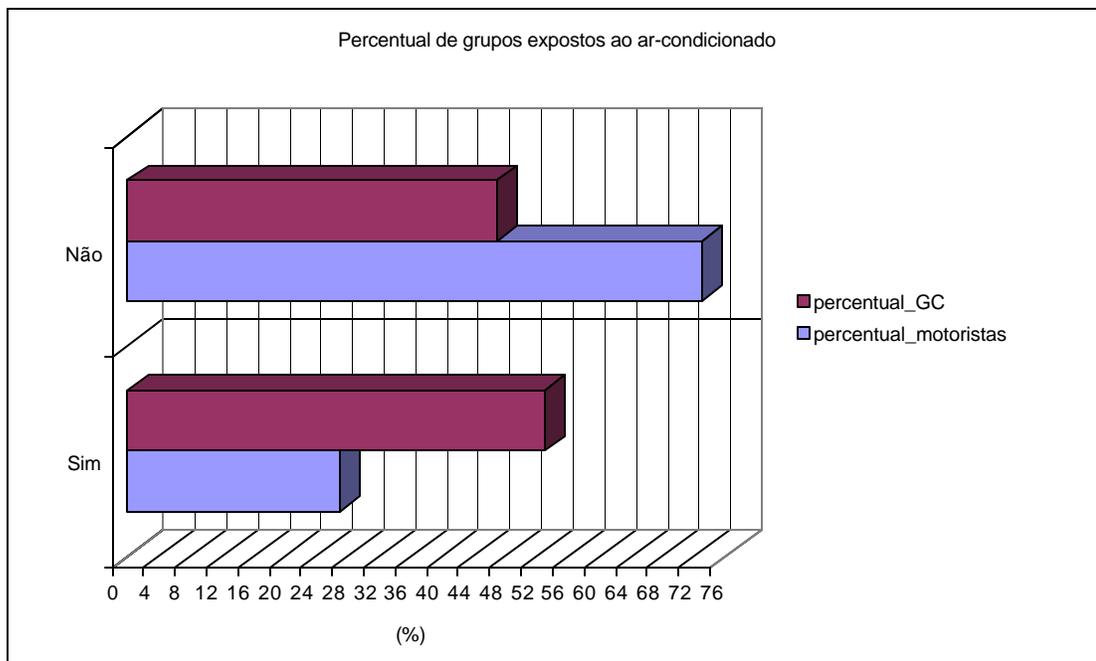


FIGURA 5.69 – Percentual de pessoas expostas ao ar-condicionado.

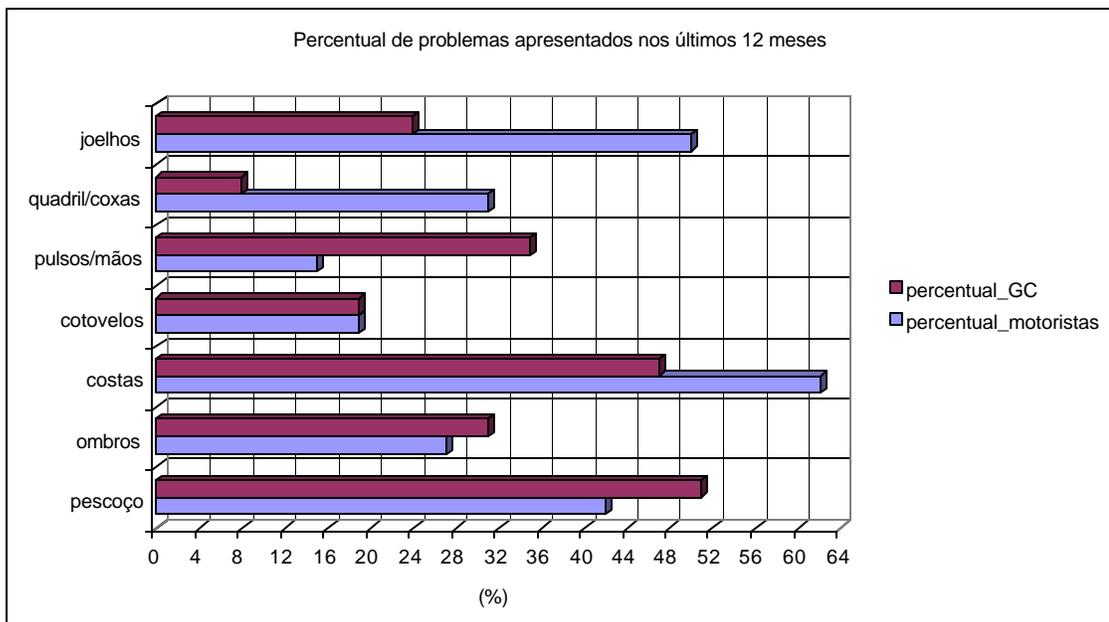


FIGURA 5.70 – Percentual de problemas apresentados nos últimos doze meses.

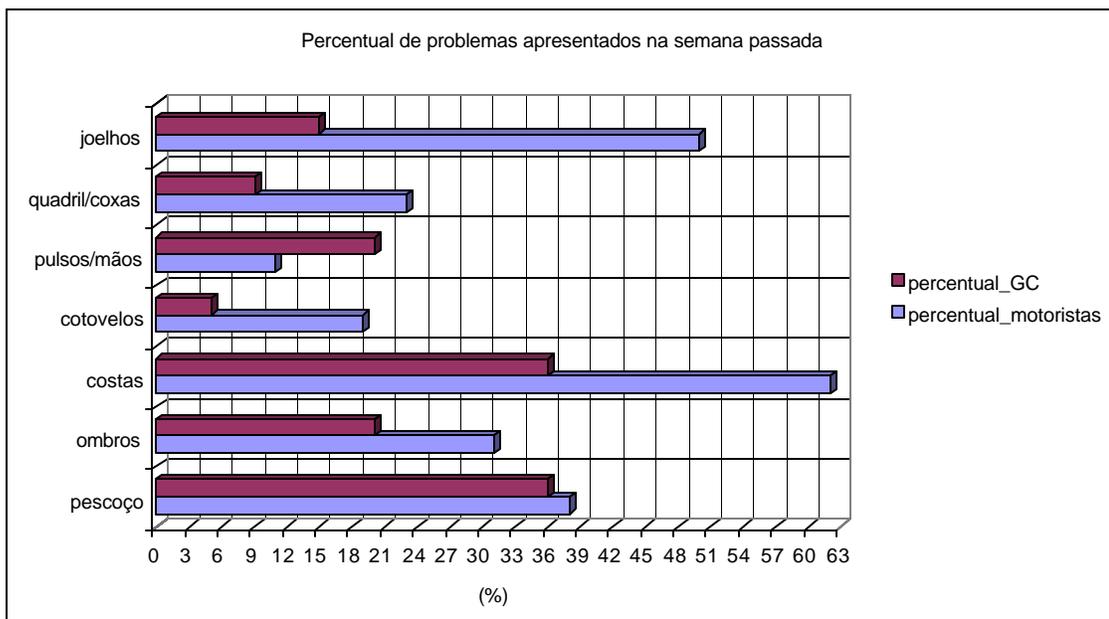


FIGURA 5.71 – Percentual de problemas apresentados na semana passada.

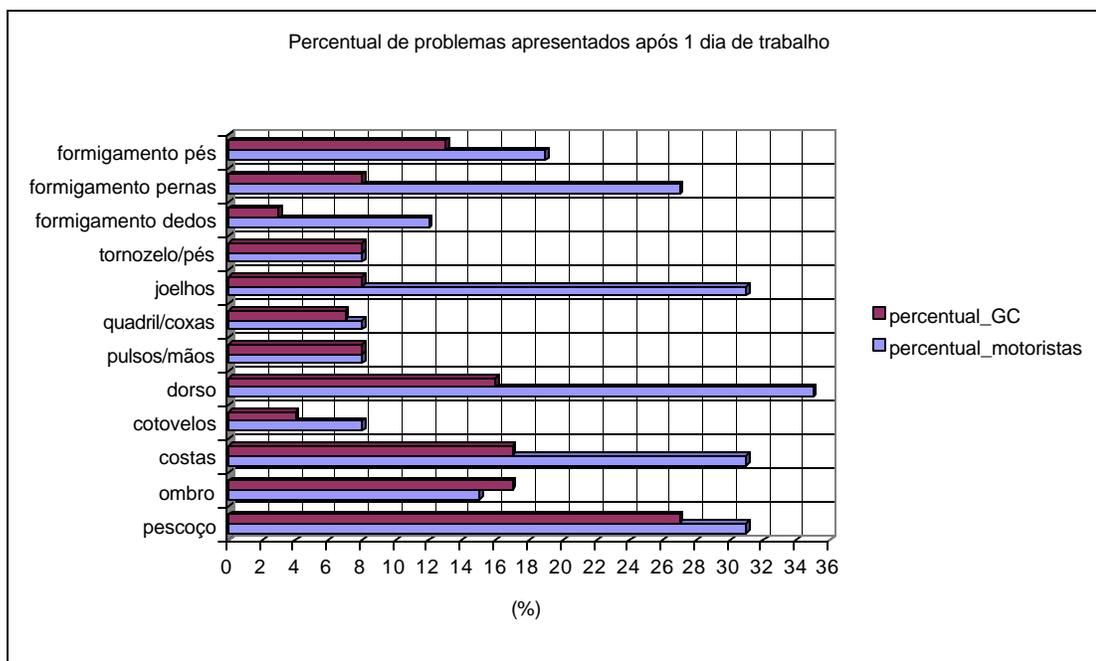


FIGURA 5.72 – Percentual de problemas apresentados após um dia de trabalho.

As Figuras 5.70 a 5.72, com relação às dores nas costas, apresentam índices semelhantes aos encontrados por Backman (1983), que verificou que os problemas de saúde em motoristas profissionais estão relacionados principalmente às dores nas costas e ombros. Os motoristas de ônibus apresentam um índice de dores nas costas praticamente o dobro quando comparado ao grupo controle, principalmente com relação aos percentuais apresentados na semana passada e após um dia de trabalho. Da mesma maneira, o trabalho de Hedberg (1988) apresenta, para motoristas de caminhões, os maiores percentuais relacionados aos problemas nas regiões das costas, joelhos e ombros.

A Figura 5.73 apresenta o percentual dos veículos mais utilizados pelos motoristas participantes deste questionário. Conforme já salientado, os veículos F291, F292 e F1 são os mais usados pelos motoristas. Os veículos F3 são relativamente usados por uma parcela menor de

motoristas, pois são articulados e, portanto, ônibus de maior porte utilizados em horários de maior interesse.

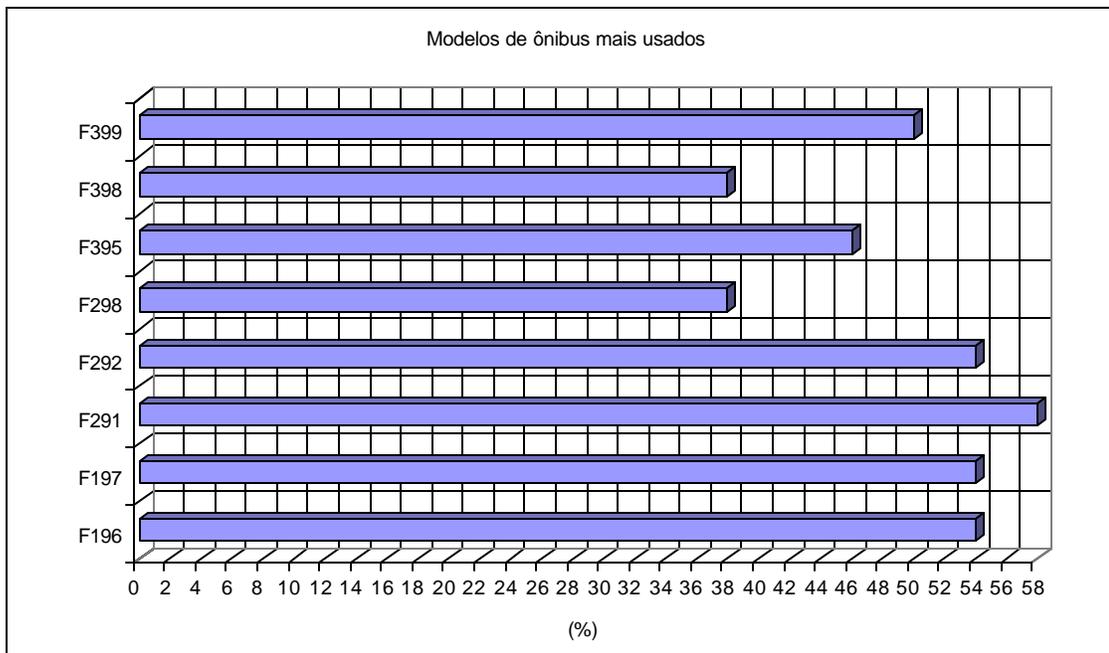


FIGURA 5.73 – Percentual de veículos mais usados pelos motoristas participantes.

Cabe ressaltar que o objetivo deste trabalho está relacionado às vibrações ocupacionais que possam prejudicar os profissionais, ou seja, não pretendesse apontar qual é o melhor veículo e sim que os mesmos merecem um certo cuidado no projeto quando relacionado ao ser humano. De qualquer forma, são interessantes os resultados obtidos que indicaram os piores modelos e os principais motivos que os levaram a esta escolha (ou estas escolhas), conforme indicado nas Figuras 5.74 a 5.76, segundo os motoristas de ônibus.

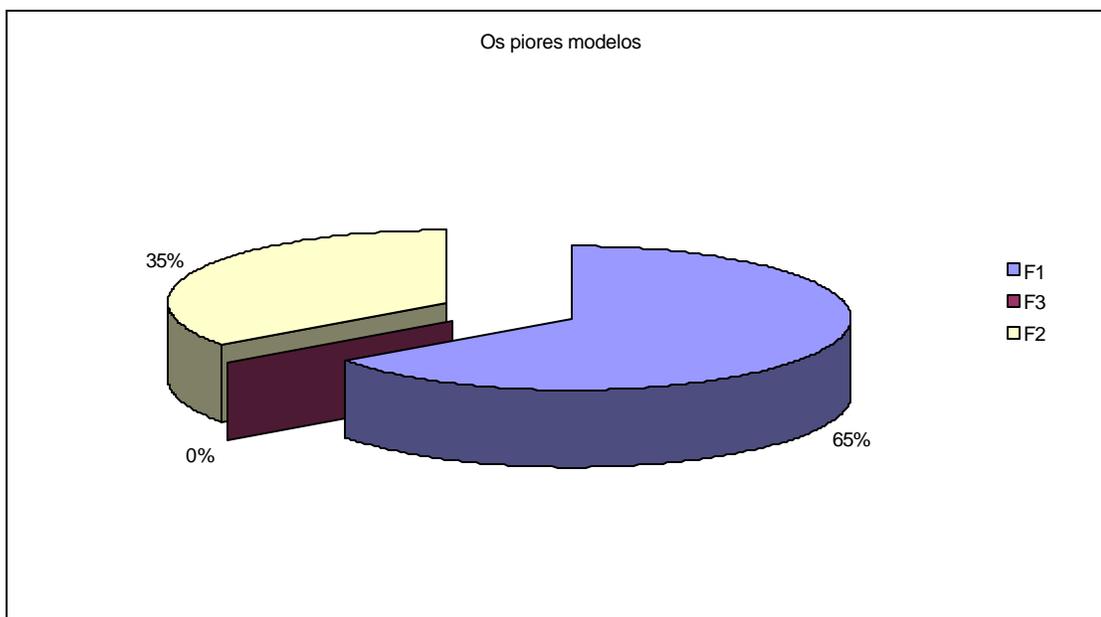


FIGURA 5.74 – Os piores modelos de ônibus segundo os motoristas.

A Figura 5.74 indica que o veículo preferencial, para os motoristas, é o da marca F3 e o da marca F1 é apontado como o pior modelo. Este fato também ficou registrado na Figura 5.75, que apresenta os modelos que, segundo os motoristas, apresentam maior vibração na coluna de direção e/ou carroceria. Os modelos F1 foram os escolhidos, seguidos dos F2 o que indica que o conforto do veículo é um fator importante para o bem estar dos motoristas profissionais, fator este normalmente não levado em consideração. A Figura 5.76 apresenta os principais motivos para a escolha dos veículos da Figura 5.74.

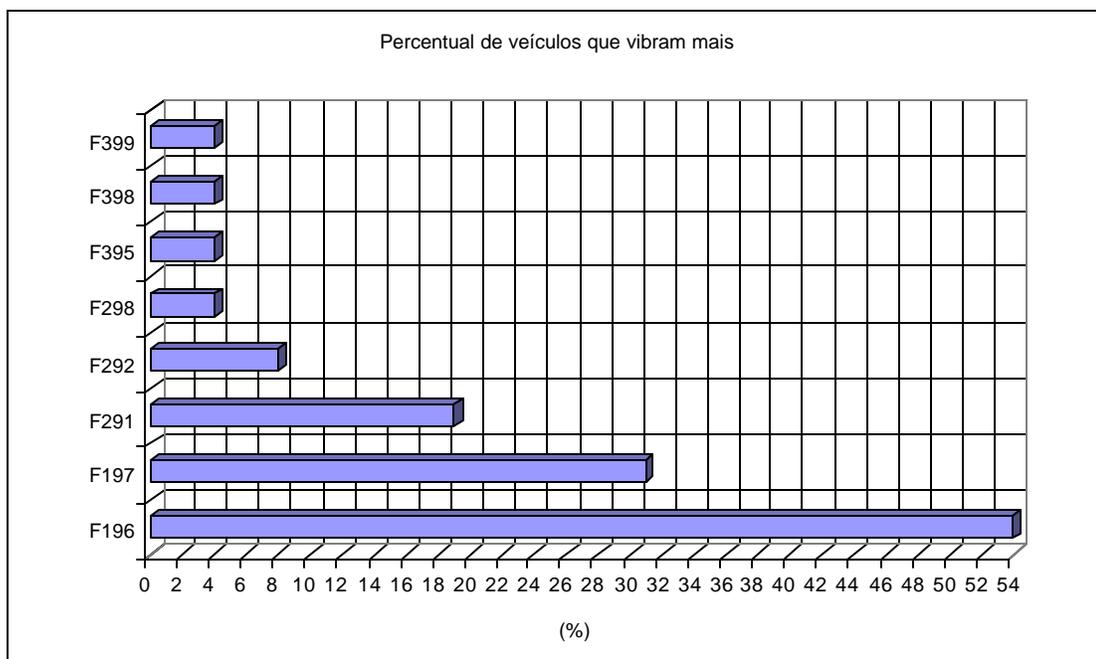


FIGURA 5.75 – Percentual de veículos cuja vibração da direção e/ou carroceria são mais elevados.

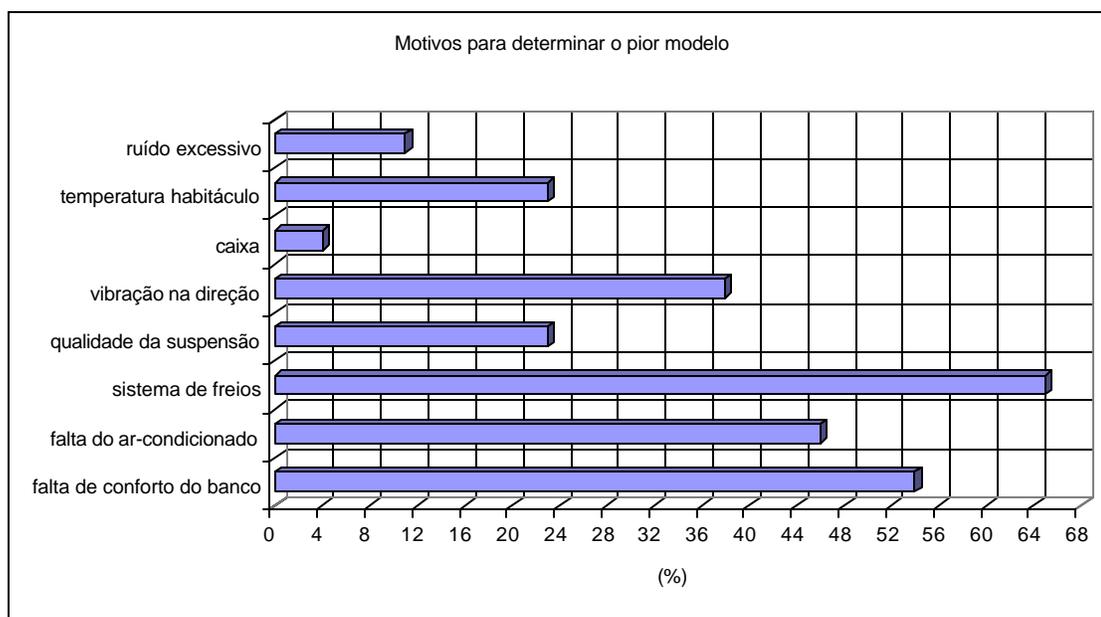


FIGURA 5.76 – Percentual dos motivos para determinar o pior veículo.

Os principais motivos apresentados, pelos motoristas, na determinação do pior veículo merecem destaque, pois apontam, com exceção do sistema de freios, que este tipo de veículo apresenta características que não possibilitam o conforto do profissional, como por exemplo, os altos índices para a falta de conforto do banco do motorista (os resultados deste trabalho apontam neste sentido) e para a vibração na direção (de acordo com os resultados deste trabalho, os motoristas não estão expostos a índices potencialmente danosos a saúde, porém não foi implementada uma avaliação com relação ao conforto na região do segmento mão-braço). A Figura 5.77 apresenta os principais motivos que levaram os motoristas a determinar como melhor veículo os da marca F3, salientando aspectos relacionados ao conforto dos mesmos.

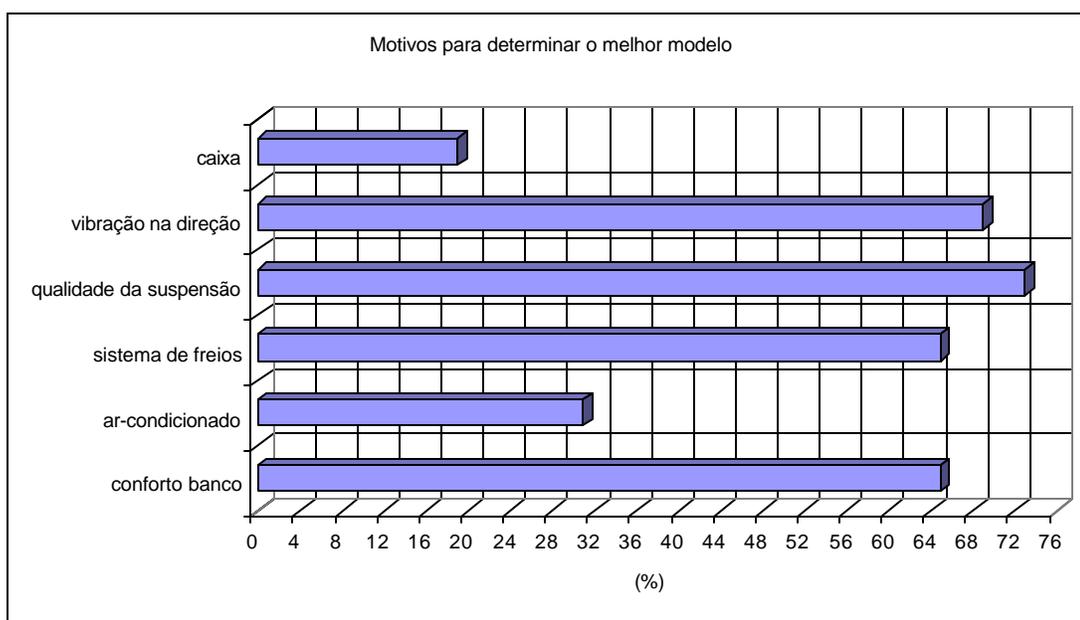


FIGURA 5.77 – Motivos que levaram a escolha do melhor veículo.

Cabe salientar que os modelos dos bancos são os mesmos, porém os veículos mais novos apresentam bancos novos quando comparados aos veículos de anos anteriores. De qualquer forma, o projeto ergonômico dos veículos da F3 parece agradar uma parcela significativa dos motoristas. A Figura 5.78 apresenta o percentual relacionado aos anos de exposição dos motoristas participantes dos questionários.

Percebe-se que a empresa apresenta motoristas novos (dois anos de empresa) e outros mais antigos (22, 24 anos de empresa) e seria interessante à análise dos dados médicos (não disponíveis) com relação aos anos de exposição às vibrações. A Figura 5.79 apresenta as horas de trabalho sem descanso dos motoristas.

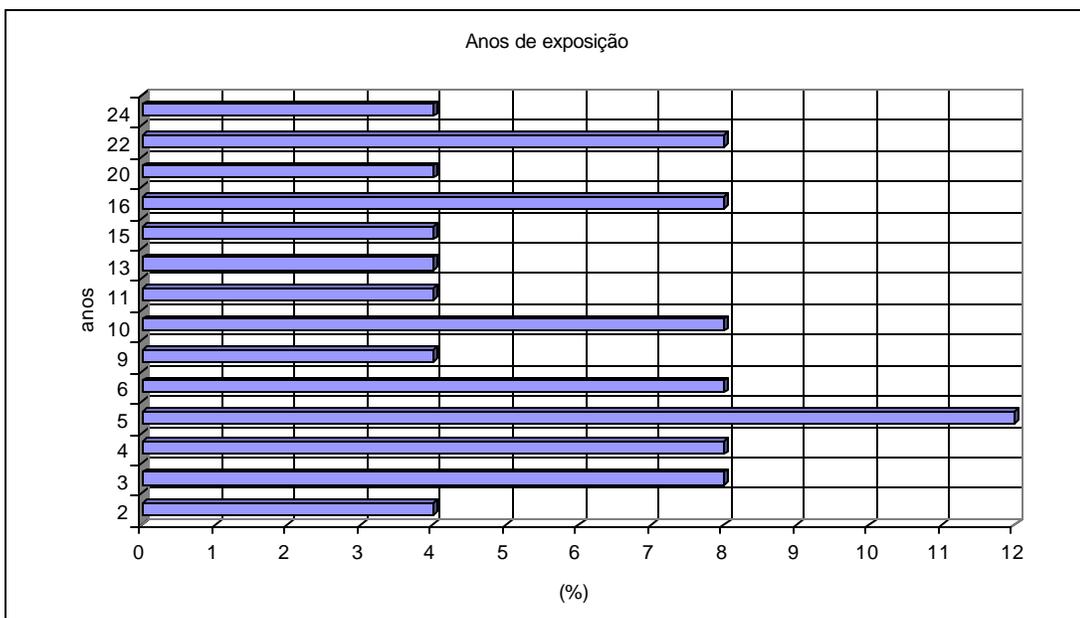


FIGURA 5.78 – Anos de exposição dos motoristas participantes.

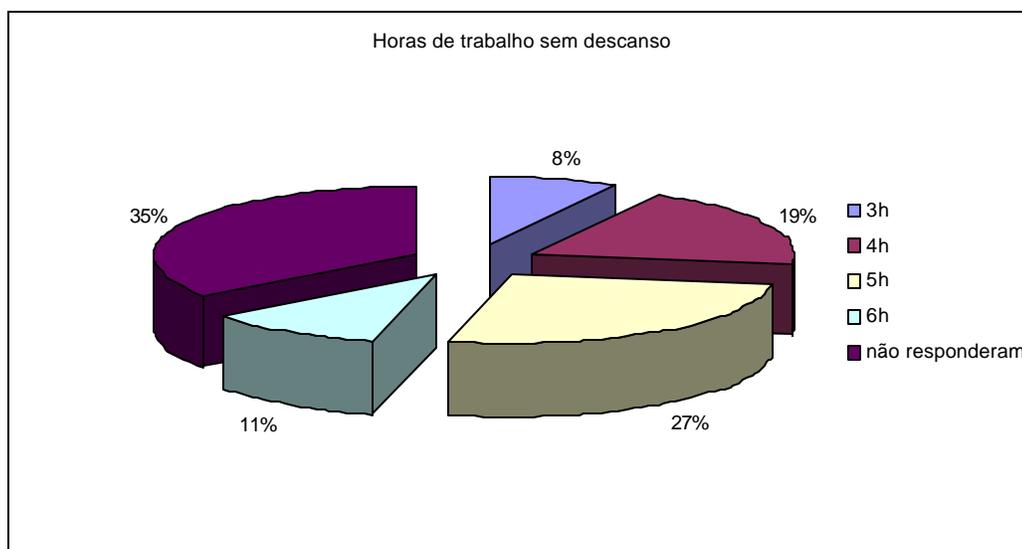


FIGURA 5.79 – Horas de trabalho sem descanso.

Como este trabalho é base para outros que estão em desenvolvimento, os dados da Figura 5.80 são registrados para futura utilização, principalmente relacionados ao desenvolvimento de modelos para a comparação com os resultados deste trabalho.

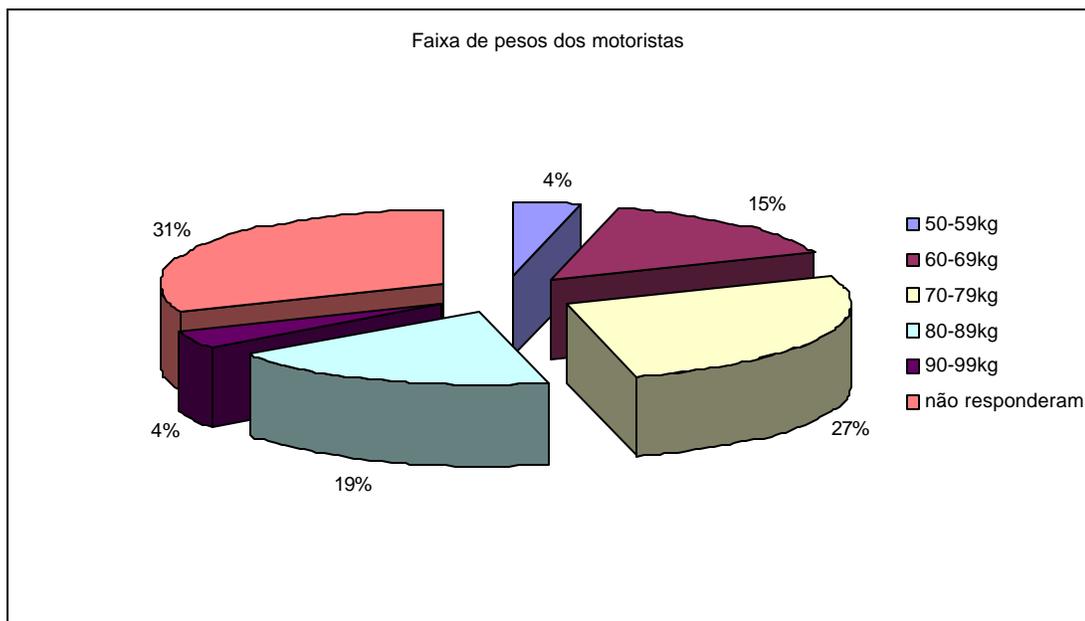


FIGURA 5.80 – Faixas de pesos dos motoristas.

## **CAPÍTULO 6**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

#### **6.1 Conclusões**

Este trabalho foi proposto com os seguintes objetivos:

- medir e avaliar os níveis de vibração a que estão sujeitos os motoristas de ônibus urbanos brasileiros;
- gerar documentação científica com relação às vibrações no corpo humano de brasileiros;
- desenvolver um programa para avaliar os níveis de vibração do corpo humano e do segmento mão-braço.

Com relação aos objetivos propostos pode-se afirmar que todos foram alcançados, pois foi elaborado um trabalho de medição e avaliação dos níveis de vibração do corpo humano e do segmento mão-braço, no próprio ambiente ocupacional do motorista. Esta característica torna mais importante o trabalho realizado, pois os mesmos representam a situação real a que estão expostos os profissionais. Além disso, acrescentam dados reais à literatura da área que normalmente é constituída por dados determinados em laboratório. Para a avaliação dos dados adquiridos foram desenvolvidos dois programas que permitiram analisar e tratar os dados experimentais. Por outro lado, os mesmos estão sendo utilizados em outras pesquisas, permitindo assim o crescimento de outros campos de atuação, como por exemplo, modelagem do corpo humano e do segmento mão-braço, avaliação dos níveis de vibração no segmento mão-braço no uso de ferramentas manuais.

Além disso, alguns questionamentos se fizeram presentes no decorrer deste trabalho:

- os níveis de vibrações no corpo humano ultrapassam os limites estabelecidos e portanto podem prejudicar a saúde dos trabalhadores?

- os bancos dos motoristas são projetados para atenuar às vibrações como deveriam?
- os motoristas de ônibus estão sujeitos a vibrações danosas no segmento mão-braço?

Para responder a estes questionamentos, será realizada uma breve revisão dos resultados discutidos anteriormente:

1. as acelerações ponderadas por faixa de frequência (Figuras 5.1 a 5.3 e Apêndice 2) para o assento, mostraram que os motoristas dos veículos estão expostos a limites que ultrapassam os recomendados para conforto (exposição de 2,5 a 16 horas). Este fato deve ser levado em consideração e avaliado em outros trabalhos que sejam desenvolvidos, pois provavelmente estão diretamente ligados ao *stress* da atividade;
2. as mesmas acelerações foram comparadas aos limites estabelecidos para saúde e pode-se verificar que os motoristas estão expostos, a partir de 8 horas de trabalho, a valores de aceleração danosos a saúde. Segundo os resultados do questionário nenhum motorista exerce 8 horas de atividades sem descanso, porém uma parcela considerável (Figura 5.79) exerce sua atividade sem descanso na faixa de 4 a 6 horas seguida. De acordo com esta constatação, os motoristas estariam numa faixa intermediária que pode ser perigosa quando relacionada à saúde ocupacional, porém não existem limites estabelecidos por norma para esta faixa de trabalho. Outro ponto a considerar em trabalhos futuros é a relação cumulativa desta vibração, fato não levado em consideração neste trabalho;
3. o ponto mais significativo dos resultados anteriores foi à constatação de que as maiores acelerações estão na faixa da frequência de ressonância da coluna vertebral demonstrando, portanto que os motoristas estão expostos a vibrações extremamente perigosas. É importante ressaltar que outros trabalhos relacionam o aparecimento de problemas na região das costas à exposição à vibração e que os resultados obtidos dos questionários apontam fortemente nesta direção;

4. a análise estatística desses dados provou que o efeito do modelo de ônibus e do tipo de piso está diretamente ligado ao nível de vibração. Portanto, a escolha do veículo a ser utilizado pela empresa merece destaque, assim como, a determinação de rotas em função da qualidade do tipo de piso, pois além de diminuir o desgaste do veículo estará melhorando a qualidade do posto de trabalho;
5. o fator mais importante e que está diretamente ligado a qualidade do posto de trabalho do motorista é o assento. Os mesmos apresentaram resultados que merecem atenção, pois não atenuam como deveriam as vibrações, principalmente na faixa de frequência próxima a ressonância da coluna vertebral expondo os motoristas a riscos à sua saúde independente do tipo de piso e do veículo utilizado;
6. o parâmetro VDV 6horas mostrou que os motoristas estão expostos a acelerações consideradas “desconforto médio” o que demonstra que os motoristas estão expostos a níveis de aceleração que causam desconforto fato que pode estar ligado ao cansaço e desconforto no trabalho (o que ficou também comprovado nas respostas dos questionários). Cabe observar que os limites utilizados pela ISO 2631 (1974) também mostraram que as acelerações por faixa de frequência ultrapassavam os limites para o conforto, porém esta norma não fazia distinção ao nível de conforto ou desconforto como se pode observar através do parâmetro VDV;
7. assim como outros trabalhos, o parâmetro SEAT(%) não demonstra o comportamento dinâmico dos assentos podendo levar a conclusões equivocadas, pois um bom assento pode ser aquele que absorve somente as vibrações nas faixas de frequência que prejudicam a saúde humana, sendo portanto, necessária a determinação do comportamento dos assentos por faixa de frequência;
8. as vibrações no segmento mão-braço não expõem os motoristas a riscos de saúde, sendo portanto, improvável o surgimento da *Síndrome de Raynauds* nestes trabalhadores devido às vibrações segmentadas. De qualquer forma, a mão está exposta a vibração principalmente devido ao contato deste segmento com a direção do veículo. Este fato merece atenção por

parte dos fabricantes, pois se a exposição for maior do que 16 a 20 anos, alguns veículos, em determinados pisos, podem apresentar riscos a um percentual dos trabalhadores, como por exemplo, ficou demonstrado pelas Figuras 5.33 a 5.35;

9. a análise da transmissibilidade média dos assentos demonstrou (fato também verificado na determinação das acelerações nos assentos por faixa de frequência) que estes não atenuam as vibrações como deveria na faixa de frequência próxima a frequência de ressonância da coluna vertebral (exceção ao modelo VV98\_0119);
10. verificou-se que as transmissibilidades médias apresentam resultados significativos quando comparados ao diferentes veículos e tipos de piso, porém cabe aqui observar que este trabalho não pretende indicar o melhor modelo e sim mostrar que os veículos não são projetados em função da exposição do trabalhador à vibração ocupacional;
11. as transmissibilidades médias, na região dos ombros, demonstraram que esta região também está exposta a níveis perigosos de vibrações, fato também apontado pelo questionário (apesar de não apresentar uma diferença significativa quando comparada ao grupo de controle);
12. considerando os resultados apresentados com relação aos assentos, indicam que devem ocorrer melhorias no seu desenvolvimento principalmente com relação ao comportamento e a avaliação dinâmica dos mesmos;
13. os questionários servem como indicativo de alguns problemas apresentados. É importante observar a grande incidência de problemas na região das costas fato que provavelmente está ligado à péssima qualidade dos assentos usados e portanto, estes motoristas possivelmente estão expondo suas colunas ao risco.

Resumindo, os resultados indicam que os níveis de vibração ultrapassam os limites estabelecidos para conforto na atividade diária destes profissionais e não ultrapassam os limites para saúde (considerando-se uma exposição a 4 horas apenas). Analisando-se os assentos, pode-se afirmar que os motoristas estão expostos a níveis e faixas de acelerações danosas ao corpo humano,

pois os assentos não atenuam as vibrações como deveriam. Com relação ao segmento mão-braço os motoristas não estão expostos a níveis perigosos na maioria das situações.

Cabe registrar que as aquisições para os pisos asfalto e paralelepípedo foram contínuas o mesmo ocorrendo com o piso asfalto irregular. Neste tipo de piso seria importante avaliar, em trabalhos futuros, a influência de determinados impactos que possam ser ocasionados pelas características intrínsecas do referido piso. Além disso, a avaliação da rugosidade do piso torna-se uma necessidade para melhorar a comparação dos níveis de vibrações do corpo humano com o efeito do tipo de piso.

## **6.2 Propostas de continuidade**

Com o objetivo de contribuir é interessante registrar algumas propostas de continuidade para este trabalho:

1. desenvolvimento de modelos matemáticos que podem ser comparados aos resultados experimentais aqui registrados;
2. estudo e avaliação de novos assentos e/ou postos de trabalho para melhorar o conforto e/ou atenuar às vibrações nas frequências de 4 a 12Hz;
3. desenvolvimento de ensaios com aquisição simultânea da velocidade dos veículos para estudo desta variável com relação à vibração gerada;
4. utilização destes métodos na avaliação de outros veículos;
5. varredura de outros pontos com o objetivo de verificar o comportamento da carroceria e pontos a melhorar na mesma;
6. repetição dos experimentos com um grupo maior de motoristas para determinação das características individuais comparadas às vibrações;

7. aplicar os questionários e realizar medições em diversas empresas para realizar um levantamento significativo das atividades que expõem ao risco os trabalhadores com relação às vibrações ocupacionais. Este fato é extremamente importante, pois é torna-se necessário à divulgação deste problema no país e incrementar a troca de informações com grupos internacionais;
8. comparação destes resultados com os aspectos ergonômicos do posto de trabalho e verificar a significância dos mesmos;
9. correlacionar sinais eletromiográficos de determinadas regiões do corpo humano, quando expostas às vibrações, com a análise dos níveis de vibração ocupacional para conforto e saúde;
10. implementar um sistema baseado na determinação da temperatura de regiões do corpo humano e correlacionar estes dados com os níveis de vibração ocupacional para conforto e saúde. Verificar a eficácia da avaliação da temperatura corporal com relação à irrigação sanguínea de regiões expostas à vibração.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alaranta, H.; Seppäläinen, A.M., 1977. "Neuropathy and the automatic analysis of electromyographic signal from vibration exposed workers". **Scand. Journal Work Environ. & Health**, pp. 128-134.

Andersson, G. B. J., 1981. "Epidemiologic aspects on low-back pain in industry". **Spine**, pp. 53-60.

Ansi S3.34, 1986. "**Guide for the measurement and evaluation of human exposure to vibration transmitted to the hand**". American National Standard.

Backman, A. L. 1983. "Health survey of professional drivers". **Scand. Journal Environ. Health**, pp. 30-35.

Barry, D. T., Geiringer, S. T., Ball, R. D., 1985. **Muscle & Nerve**, pp. 189-194.

Bedrokow, B., Algranti, E., Buschinelli, J. T. P., Morrone, L. C., 1997. "Occupational health in Brazil". **Int. Arch. Occup. Environ. Health**, pp. 215-221.

Beranek, L. L., István, L. V., 1992. "**Noise and vibration control engineering: principles and applications**". John Wiley & Sons, U.S.A.

Bongers, P. M., Boshuizen, H. C., Hulshof, C. T. J., Koemeester, A. P., 1988. "Back disorders in crane operators exposed to whole-body vibration". **Int. Arch. Occup. Environ. Health**, pp. 129-137.

Bovenzi, M., Zadini, A., 1992. "Self-reported low back symptoms in urban bus drivers exposed to whole-body vibration". **Spine**, pp. 1048-59.

Bovenzi, M., 1994. "Hand-arm vibration syndrome and dose-response relation for vibration induced white finger among quarry drillers and stonecarvers". **Occupational and Environmental Medicine**, pp. 603-611.

Bovenzi, M., 1996. "Low back pain disorders and exposure to whole-body vibration in the workplace". **Seminars in Perinatology**, pp. 38-53.

Bovenzi, M., Hulshof, C. T. J., 1999. "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.

Brüel & Kjaer, 2000. "**Le vibrazioni del corpo umano**". Folheto técnico.

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

BS 6842, 1987. "**Measurement and evaluation of human exposure to vibration to the hand**". British Standard Guide.

BS 7085, 1989. "**Safety aspects of experiments in which people are exposed to mechanical vibration and shock**". British Standard Guide.

BS 4220, 1974. "**Seats on agricultural wheeled tractors**". British Standard Guide.

BS 6055, 1981. "**Methods for measurement of whole-body vibration of the operators of agricultural wheeled tractors and machinery**". British Standard Guide.

BS 6414, 1983. "**Methods for specifying characteristics of vibration and shock isolators**". British Standard Guide.

BS 6472, 1992. "**Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)**". British Standard Guide.

BS 6794, 1986. “**Method for reporting measured vibration data for land vehicles**”. British Standard Guide.

BS EN 61260, 1995. “**Electroacoustics – octave-band and fractional-octave-band filters**”. British Standard Guide.

BS 28041, 1993. “**Human response to vibration – measuring instrumentation**”. British Standard Guide.

Chaffin, D. B., Andersson, G. B. J., Martin, B. J., 1999. “**Occupational biomechanics**”. Wiley-Interscience, U.S.A.

Chaffin, D. B., 2001. “**Digital human modeling for vehicle and workplace design**”. Society of automotive engineers, Inc.

Corbridge, C., Griffin, M. J., 1986. “Vibration and comfort: vertical and lateral motion in the range 0,5 to 5,0 Hz”. *Ergonomics*, pp. 249-272.

Corbridge, C., Griffin, M. J., 1991. “Effects of vertical vibrations passenger activities: writing and drinking”. *Ergonomics*, pp. 1313-1332.

Gerges, S. N. Y. “**Ruído: fundamentos e controle**”. Imprensa Universitária. Universidade Federal de Santa Catarina, 1992.

Gillespie, T. D., 1992. “**Fundamentals of vehicle dynamics**”. Society of Automotive Engineers, U.S.A.

Griffin, M. J., 1990. “**Handbook of human vibration**”. Academic Press, U.S.A.

Griffin, M.J., Hayward, R.A., 1994. “Effects of horizontal whole-body vibration on reading applied ergonomics”. *Ergonomics*, pp. 165-169.

Gruber, G. J., Zipermann, H., 1974. “**Relationship between whole body vibration and morbidity patterns among motor coach operators**”. NIOSH, Ohio.

Gupta, A., McCabe, S. J., 1993. “Vibration white finger”. **Occupational diseases of the hand**, pp. 325-337.

Hansson, J.E., Wikström, B. O., 1981. “Comparison of some technical methods for the evaluation of whole -body vibration”. **Ergonomics**, pp. 953-963.

Hedberg, G. E., 1988. “The period prevalence of musculoskeletal complaints among Swedish professional drivers”. **Scand. Journal Soc. Medicine** , pp. 5-13.

Hoy, J., Murabarak, N., 2000. “The effect of whole body vibration on forklift drivers”. **2<sup>nd</sup> International Conference on Whole-Body Vibration Injuries**, 19-20

Hult, L., 1974. “Cervical, dorsal, and lumbar spinal syndromes”. **Acta Orthop. Scand.**, pp. 17.

Hulshof, C. T. J., Van der Laan, G. J., Braam, I. T. J., Verbeek, J., 2000. “Criteria for recognition of whole-body vibration injury as occupational disease: a review”. **2<sup>nd</sup> International Conference on Whole-Body Vibration Injuries**, 57-58

Ishitake, T., Matoba, T., 2000. “Frequency weighting for the effects of exposure to whole-body vibration on gastric motility.” **2<sup>nd</sup> International Conference on Whole-Body Vibration Injuries**.

ISO 2631, 1974. “**Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration**”. International Standard.

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

ISO 5008, 1979. “**Methods for measurement of whole-body vibration of the operators of agricultural wheeled tractors and machinery**”. International Standard.

ISO 5349, 1986. “**Mechanical vibration – guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration**”. International Standard.

ISO 7505, 1986. “**Forestry machinery – chain saws – measurement of hand-transmitted vibration**”. International Standard.

ISO 7962, 1987. “**Mechanical vibration and shock-mechanical transmissibility of the human body in the z direction**”. International Standard.

ISO 8041, 1990. “**Human response to vibration-measuring instrumentation**”. International Standard.

Johanning, E., 1991a. “Back disorders and health problems among subway train operators exposed to whole-body vibration”. **Scand. Journal Work Environ. Health**, pp. 414-419.

Johanning, E., Wilder, D. G., Landrigan, P. J., Pope, M. H., 1991b. “Whole-body vibration exposure in subway cars and review of edverse health effects”. **Journal of Occupational Medicine**, pp. 605-612.

Kelsey, J. L., Hardy, R. J., 1975. “Driving of motor vehicles as a risk factor for acute herniated lumbar intervertebral disc”. **American Journal of Epidemiology**, pp. 63-73.

Kitazaki, S., Griffin, M. J., 1998. “Resonance behaviour of the seated human body and effects of posture”. **Journal of Biomechanics**, pp. 143-149.

Klingestierna, U, Pope, M. H., 1987. “Body height changes from vibration”. **Spine**, pp. 566-568.

Kjellberg, A., Wikström, B. O., Dimberg, U., 1985. "Whole-body vibration: exposure time and acute effects-experimental assessment of discomfort". **Ergonomics**, pp. 545-554.

Kuorinka, I., Jossion, B., Vinterberg, H., Andersson, G., Jorgensen, K., 1987. "Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms". **Applied Ergonomics**, pp. 233-237.

Magnusson, M.L., Pope, M.H., Wilder, D. G., Areskong, B., 1996. "Are occupational drivers at an increased risk for developing musculoskeletal disorders?". **Spine**, pp. 710-717.

Magnusson, M. L., Pope, M. H., 1998. "A review of the biomechanics and epidemiology of working postures (it isn't always vibration which is to blame!)". **Journal of Sound and Vibration**, pp. 965-976.

Mansfield, N. J., Griffin, M. J., 2000. "Effect of posture and vibration magnitude on apparent mass and pelvis rotation during exposure to whole-body vertical vibration". **2<sup>nd</sup> International Conference on Whole-Body Vibration Injuries**, 43-44.

Mehta, C. R., Shyam, M., Singh, P., Verma, R. N., 2000. "Ride vibration on tractor-implement system". **Applied Ergonomics**, pp. 323-328.

Ministério da Saúde, 1999. "Lista de doenças relacionadas ao trabalho". **Portaria 1339/GM**.

Miyashita, K., Morioka, I., Tanabe, T., Iwata, H., Takeda, S., 1992. "Symptoms of construction workers exposed to whole body vibration and local vibration". **Int. Arch. Occup. Environ. Health**, pp. 347-351.

NIOSH, 1989. "**Criteria for a recommended standard: occupational exposure to hand-arm vibration**". U.S. Department of Health and Human Services, U.S.A.

OKATA, K., 1993. "**Engenharia de Controle Moderno**". PHB Editora.

Palmer, K., Coggon, D., Pannett, B., Griffin, M., 1998. "The development of a self-administered questionnaire to assess exposures to hand-transmitted and whole-body vibration and their health effects". **Journal of Sound and Vibration**, pp. 653-686.

Palmer, K. T., Coggon, D., Sydall, H. Griffin, M.J., 2000a. "Occupational exposure to whole-body vibration in Great Britain and their relation to low back pain". **2<sup>nd</sup> International Conference on Whole-Body Vibration Injuries**.

Palmer, K. T., Griffin, M. J., Bendall, H., Pannett, B., 2000b. "Prevalence and pattern of occupational exposure to whole body vibration in Great Britain: findings from a national survey". **Occupational Environmental Medicine**, pp. 229-236.

Palmer, K. T., Griffin, M. J., Bendall, H., Pannett, B., Coggon, D., 2000c. "Prevalence and pattern of occupational exposure to hand transmitted vibration in Great Britain: findings from a national survey". **Occupational Environmental Medicine**, pp. 218-228.

Palmer, K.T., Coggon, D., Bendall, H.E., Pannett, B., Griffin, M. J., Haward, B. M., 2000d. "**Whole-body vibration: occupational exposures and their health effects in Great Britain**". HSE Books.

Panjabi, M. M., Andersson, G. B. J., Jorneus, L., Hult, E. Mattsson, L., 1986. "In vivo measurement of spinal column vibrations". **The Journal of Bone and Joint Surgery**, pp. 695-702.

Pelmear, P.L., Wasserman, D.E., 1998. "**Hand-arm vibration: a comprehensive guide for occupational health professionals**". OEM Press, U.S.A.

Pope, M. H., Svensson, M., Broman, H., Andersson, G., 1986. "Mounting of the transducers in measurement of segmental motion of the spine". **Journal of Biomechanics**, pp. 675-677.

Pope, M. H., Wilder, D. G., Jorneus, L., Broman, H., Svensson, M., Andersson, G., 1987. "The response of the seated human to sinusoidal vibration and impact". **Journal of Biomechanical Engineering**, pp. 279-284.

Rehn, B., Lündström, R., Nilsson, T., Bergdahl, I. A., Ahlgren, C., Sundelin, G., 2000. "Musculoskeletal symptoms among drivers of all-terrain vehicles". **2<sup>nd</sup> International Conference on Whole-Body Vibration Injuries**, 7-9.

SAE SP-963, 1993. "Seat system comfort and safety". Society of automotive engineers, Inc.

Saliba, Anis Filho, 1996. "Vibração: risco ambiental: metodologia de avaliação e casos práticos da exposição de corpo inteiro". **Proteção**, pp. 44-49.

Shelmerdine, L., 1999. "Hand-arm vibration syndrome: a guide for nurses". **Nursing Standard**, pp. 45-47.

Stayner, R., 2000. "Whole-body health effects-vibration or shock. **2<sup>nd</sup> International Conference on Whole-Body Vibration Injuries**.

Smith, S. D., 2000. "Modeling differences in the vibration response characteristics of the human body". **Journal of Biomechanics**, pp. 1513-1516.

Sorainen, E., Rytönen, E., 1999. "Whole-body vibration of locomotive engineers". **American Industrial Hygiene Association Journal**, pp. 409-411.

Tewari, V. K., Prasad, N., 1999. "Three-DOF model of tractor seat-operator system". **Journal of Terramechanics**, pp. 207-219.

Tripepi, M.G., Cantio, M., Saffioti, G. "Risk and effects of WBV in locomotive engineers". **2<sup>nd</sup> International Conference on Whole-Body Vibration Injuries**.

Troup, J. D. G., 1978. "Driver's back pain and its prevention: a review of the postural, vibratory and muscular factors, together with the problem of transmitted road-shock". **Applied Ergonomics**, pp. 207-214.

Wasserman, D. E., 1987. "**Human aspects of occupational vibration**". Elsevier Science Publishers B. V., U.S.A.

White, A. A., Panjabi, M. M., 1990. "**Biomechanics of the spine**". Second Edition Lippincott Williams & Wilkins.

Wilder, D. G., Woodworth, B. B., Frymoyer, J. W., Pope, M. H., 1982. "Vibration and the human spine". **Spine**, pp. 243-254.

Winkleby M. A., Ragland, D. R., Fisher, J. M., Syme, L., 1988. "Excess risk of sickness and disease in bus drivers: a review and synthesis of epidemiological studies". **International Journal of Epidemiology**, pp. 255-262.

World Health Organization Sustainable Development and Health Environments, 1999. "International statistical classification of diseases and related health problems (ICD-10) in occupational health". **WHO**.

Wood, P., 1976. "**Epidemiology of back pain, the lumbar spine and back pain**". London, Pitman, pp. 13-27.

Zimmermann, C. L., Cook, T. M., 1997. "Effects of vibration frequency and postural changes on human responses to seated whole-body vibration exposure". **International Arch. Occupational Environ. Health**, pp. 165-179.

# **APÊNDICE\_1**

**A) Definição dos parâmetros para implementação dos filtros e do fator de compensação para vibração no corpo humano**

A Tabela API fornece os parâmetros definidos por norma (ISO 2631-1, 1997) para as funções de transferência que possibilitam a implementação do fator de compensação e do filtro limitador da banda de frequência através de um filtro passa baixa de 2 pólos com características de *Butterworth*.

TABELA API – Parâmetros das funções de transferência dos fatores de compensação principais.

Compensação	Banda Limite		Demais parâmetros do filtro						
	f1[Hz]	f2[Hz]	f3[Hz]	f4[Hz]	Q4	f5[Hz]	Q5	f6[Hz]	Q6
W <sub>k</sub>	0,4	100	2,5	12,5	0,63	2,37	0,91	3,35	0,91
W <sub>d</sub>	0,4	100	2,0	2,0	0,63	∞	-	∞	-

FONTE – ISO 2631-1, 1997.

As frequências f1 a f6 e os fatores de qualidade Q4 a Q6 são os parâmetros das funções de transferência que determinam o filtro com características de *Butterworth*:

- (a) Passa alta (dois pólos com características de *Butterworth*,  $Q1 = Q2 = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ):

$$|H_h(j2\pi f)| = \sqrt{\frac{f^4}{f^4 + f1^4}}$$

(AP 1)

- (b) Passa baixa:

$$|H_l(j2\pi f)| = \sqrt{\frac{f2^4}{f^4 + f2^4}}$$

(AP 2)

(c) Funções pesos para a compensação:

$$|H_i(j2\pi f)| = \sqrt{\frac{f^2 + f^3^2}{f^3^2}} \cdot \sqrt{\frac{f^4 \cdot Q^4}{f^4 \cdot Q^4 + f^2 \cdot f^4 \cdot (1 - 2Q^4) + f^4 \cdot Q^4}}$$

(AP 3)

$$|H_s(j2\pi f)| = \frac{Q6}{Q5} \cdot \sqrt{\frac{f^4 \cdot Q5^2 + f^2 \cdot f^5 \cdot (1 - 2Q5^2) + f^5 \cdot Q5^2}{f^4 \cdot Q6^2 + f^2 \cdot f^6 \cdot (1 - 2Q6^2) + f^6 \cdot Q6^2}}$$

(AP 4)

De acordo com a norma ISO 2631-1 (1997), o produto  $H_h(j2\pi f) \cdot H_l(j2\pi f)$  representa a função de transferência do filtro banda limitada e o produto  $H_t(j2\pi f) \cdot H_s(j2\pi f)$  representa a função de transferência dos pesos para um certa aplicação. A função compensação final é representada pelo produto das quatro funções de transferência:  $H(a2\pi f) = H_h(j2\pi f) \cdot H_l(j2\pi f) \cdot H_t(j2\pi f) \cdot H_s(j2\pi f)$ . As Figuras AP1 a AP3 apresentam as curvas do filtro e da curva de ponderação (estas curvas foram validadas no Programa MatLab).

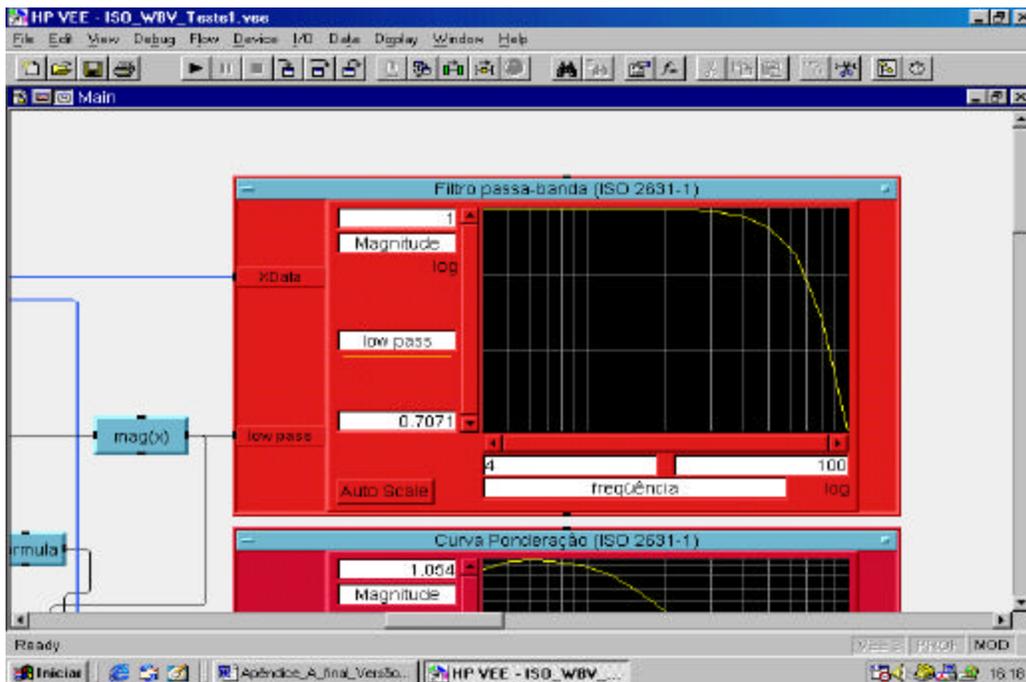


FIGURA AP1 – Curva de resposta do filtro passa-banda.

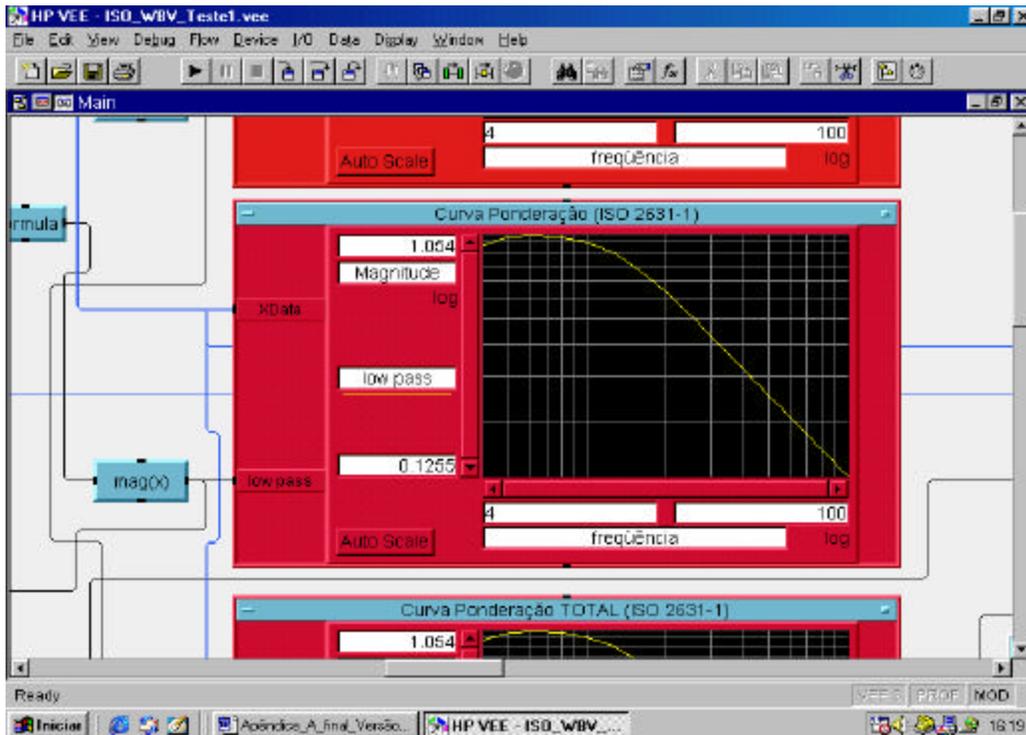


FIGURA AP2 – Curva de resposta da curva de ponderação.

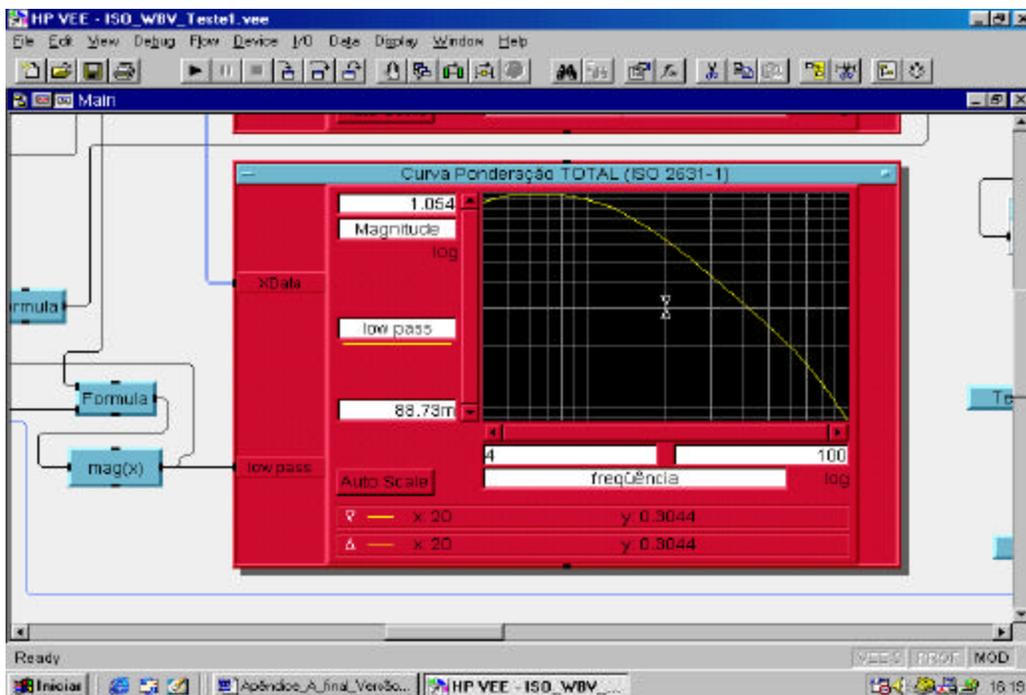


FIGURA AP3 – Curva de resposta da curva de ponderação final (pesos versus filtragem).

**B) Definição dos parâmetros para implementação dos filtros e do fator de compensação para vibração no segmento mão-braço**

A função peso, segundo a ISSO 5349 (1986) é dada pela equação AP 5:

$$|H_{HAV}| \cong \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{16}\right)^2}}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{f}{16}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{f}{10,2}\right)^2}}$$

(AP 5)

e o filtro passa-banda (passa alta e passa baixa combinados) é definido por (AP 6):

$$|H_{bl}| = \left[1 + \left(\frac{f_l x 10^{-0,1}}{f}\right)^4\right]^{-0,5} \cdot \left[1 + \left(\frac{f x 10^{-0,1}}{f_u}\right)^4\right]^{-0,5}$$

(AP 6)

onde  $f_l = 10^{0,1,9}$  (frequência limite inferior) e  $f_u = 10^{0,1,30}$  (frequência limite superior).

**C) Questionário aplicado na Carris e em pessoas que não dirigem profissionalmente**

Reprodução do questionário.

---

**SEÇÃO 1 – Identificação pessoal**

1. Por favor, qual é a data de preenchimento deste questionário:    /    /2000
  2. Data de nascimento:    /    /
  3. Sexo: M F      Altura: \_\_\_\_\_Peso?  
\_\_\_\_\_
  4. Que mão utiliza para escrever?      Esquerda Direita Ambas
  5. Você fuma regularmente (nas últimas semanas)? Sim Não  
*Se SIM*, com qual idade começou a fumar regularmente?    anos  
*Se NÃO*, já foi fumante? Sim Não  
 Quantos cigarros fuma por dia (ou fumava):      cigarros
- 

**SEÇÃO 2 – Descrição da sua atividade profissional (atual)**

1. Empresa atual: Carris Outra: \_\_\_\_\_
2. Atividade principal: Motorista Cobrador Outra: \_\_\_\_\_
3. Quando iniciou nesta atividade: Mês    /Ano
4. Quantas *horas diárias* exerce esta função:    horas
5. Quantas *horas diárias* exerce sua função *sem período de descanso* (almoço, café, etc):    horas
6. No seu trabalho, movimenta pesos com mais de 10kg com as mãos: Sim Não
7. No seu trabalho, movimenta pesos com mais de 25kg com as mãos: Sim Não
8. Exerce seu trabalho num ambiente com ar-condicionado: Sim Não
9. Trabalha com ambas as mãos por mais de 1 hora: Sim Não
10. Usa computador ou máquina de escrever por mais de 1 hora: Sim Não
11. Exerce sua atividade em algum período noturno: Sim Não
12. Você trabalhou na últimas semanas: Sim Não

13. Durante as últimas semanas, você utilizou algumas das máquinas ou ferramentas listadas abaixo?

Serra elétrica: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	Furadeira elétrica: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Britadeira: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	Martelo: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Lixadeira: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	Outra: _____
Outra: _____	Outra: _____

14. Se você utilizou alguma ferramenta, qual o tempo de uso para cada uma das ferramentas anteriores:

Serra elétrica: <input type="checkbox"/> horas <input type="checkbox"/> minutos	Furadeira elétrica: <input type="checkbox"/> horas <input type="checkbox"/> minutos
Britadeira: <input type="checkbox"/> horas <input type="checkbox"/> minutos	Martelo: <input type="checkbox"/> horas <input type="checkbox"/> minutos
Lixadeira: <input type="checkbox"/> horas <input type="checkbox"/> minutos	Outra: _____ <input type="checkbox"/> horas <input type="checkbox"/> minutos

15. Durante a última semana, você usou alguma ferramenta que causa vibrações nas suas mãos?

Sim  Não

Se **SIM** responda:

<i>Que ferramenta usou?</i>	<i>Qual o tempo de uso</i>	<i>Descreva a atividade</i>
1.	<input type="checkbox"/> horas <input type="checkbox"/> minutos	
2.	<input type="checkbox"/> horas <input type="checkbox"/> minutos	
3.	<input type="checkbox"/> horas <input type="checkbox"/> minutos	
4.	<input type="checkbox"/> horas <input type="checkbox"/> minutos	
5.	<input type="checkbox"/> horas <input type="checkbox"/> minutos	
6.	<input type="checkbox"/> horas <input type="checkbox"/> minutos	

16. No seu trabalho, você usa alguma ferramenta que causa vibrações nas suas mãos?

Sim  Não

Se **SIM**, quais?

<i>Que ferramenta usou?</i>	<i>Qual o tempo de uso</i>	<i>Descreva a atividade</i>
1.	õõhorasõõminutos	
2.	õõhorasõõminutos	
3.	õõhorasõõminutos	
4.	õõhorasõõminutos	
5.	õõhorasõõminutos	
6.	õõhorasõõminutos	

17. Em um dia de trabalho percorre quantos quilômetros:

õõõõquilômetros

18. Marque os modelos de ônibus, da lista abaixo, *que já utilizou?*

<i>Fabricante</i>	<i>Ano</i>	<i>Quanto tempo?</i>
Volkswagen	1996	õõanosõõmeses
Volkswagen	1997	õõanosõõmeses
Volvo	1995	õõanosõõmeses
Volvo	1998	õõanosõõmeses
Volvo	1999	õõanosõõmeses
Mercedes	1991	õõanosõõmeses
Mercedes	1992	õõanosõõmeses
Mercedes	1998	õõanosõõmeses

19. Da lista abaixo, marque o modelo de ônibus que *você prefere dirigir* e o(s) motivo(s):

<i>Fabricante</i>	<i>Preferência:</i>
Volkswagen	õ
Volvo	õ
Mercedes	õ

20. Marque e acrescente o(s) motivo(s) que levaram você a escolher o modelo que prefere dirigir:

<input type="checkbox"/> Conforto do banco do motorista	<input type="checkbox"/> Conforto do banco do cobrador
<input type="checkbox"/> ar-condicionado	<input type="checkbox"/> suspensão
<input type="checkbox"/> freios	<input type="checkbox"/> “pouca vibração na direção”
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

21. Da lista abaixo, marque o modelo de ônibus que *você considera o pior de todos* :

Fabricante	Pior modelo:
Volkswagen	<input type="checkbox"/>
Volvo	<input type="checkbox"/>
Mercedes	<input type="checkbox"/>

22. Marque e acrescente o(s) motivo(s) que levaram você a determinar o pior modelo:

<input type="checkbox"/> Falta de conforto do banco do motorista	<input type="checkbox"/> Falta de conforto do banco do cobrador
<input type="checkbox"/> Falta de ar-condicionado	<input type="checkbox"/> Suspensão dura
<input type="checkbox"/> Freios “ruins”	<input type="checkbox"/> “muita vibração na direção”
<input type="checkbox"/> Suspensão macia	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

23. Da lista abaixo, marque os *4 modelos de ônibus cujas carrocerias vibram mais na sua rota* :

Fabricante	Ano	Os que mais vibram:
Volkswagen	1996	<input type="checkbox"/> 1° <input type="checkbox"/> 2° <input type="checkbox"/> 3° <input type="checkbox"/> 4°
Volkswagen	1997	<input type="checkbox"/> 1° <input type="checkbox"/> 2° <input type="checkbox"/> 3° <input type="checkbox"/> 4°

Volvo	1995	○1° ○2° ○3° ○4°
Volvo	1998	○1° ○2° ○3° ○4°
Volvo	1999	○1° ○2° ○3° ○4°
Mercedes	1991	○1° ○2° ○3° ○4°
Mercedes	1992	○1° ○2° ○3° ○4°
Mercedes	1998	○1° ○2° ○3° ○4°

24. Com relação ao seu banco (banco do motorista ou do cobrador), marque:

Confortável: ○Sim ○Não

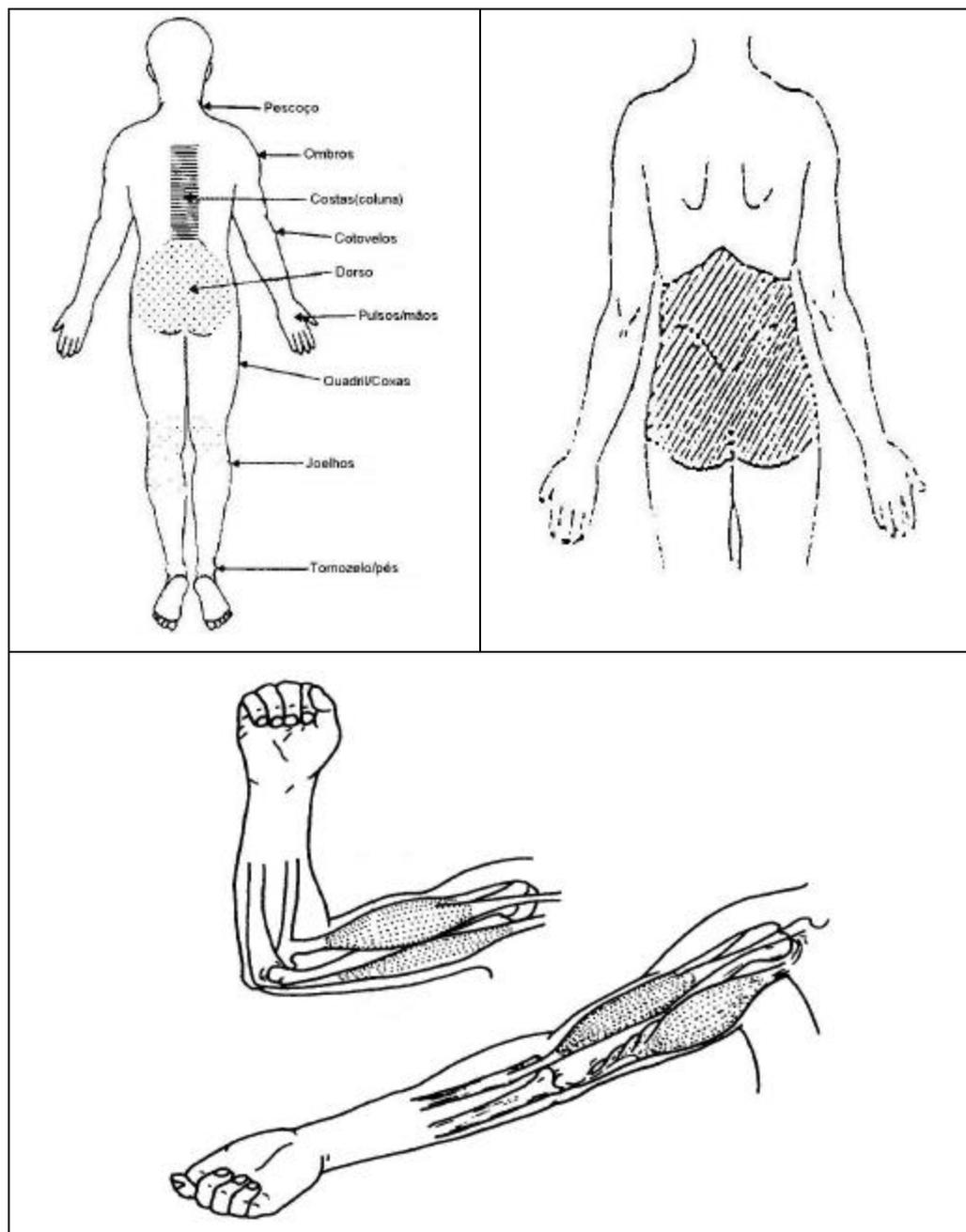
Bem dimensionado para o seu corpo: ○Sim ○Não

25. Durante as últimas duas semanas, você dirigiu ou usou algumas das máquinas ou veículos abaixo:

<i>Marque</i>	<i>Tempo de uso</i>
○ carro (não o do trabalho)	○○horas○○minutos
○ van (não a do trabalho)	○○horas○○minutos
○ ônibus (não o do trabalho)	○○horas○○minutos
○ trem (não o do trabalho)	○○horas○○minutos
○ moto (não o do trabalho)	○○horas○○minutos
○ trator (não o do trabalho)	○○horas○○minutos
○ caminhão (não o do trabalho)	○○horas○○minutos
○ colheitadeira (não o do trabalho)	○○horas○○minutos
○ escavadeira (não o do trabalho)	○○horas○○minutos
○ outro: _____	○○horas○○minutos

### SEÇÃO 3 – Histórico Médico

1. Nos últimos 12 meses, apresentou ou apresenta alguma dor em algumas das áreas mostradas na figura abaixo. Por favor marque com uma seta (←) os locais das dores:
- Sim Não**



2. Apresenta problemas circulatórios? **Sim Não**
3. Apresenta formigamento nos dedos? **Sim Não**

4. Apresenta formigamento nas pernas?  Sim  Não
5. Apresenta formigamento nos pés?  Sim  Não
6. Possui algum problema nas mãos, braços, pernas e/ou pés?  Sim  Não  
Qual?
- 

7. Algum problema de saúde relacionado a musculatura, ossos ou ligamentos?  
 Sim  Não Qual?
- 

8. Por favor, *marque* :

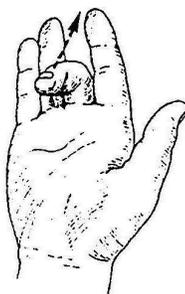
<i>Na semana passada você teve dor nos:</i>	<i>Nos últimos 12 meses você teve dor nos:</i>
Joelho: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	Joelho: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Quadril: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	Quadril: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Ombros: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Se sim: <input type="checkbox"/> Ombro direito <input type="checkbox"/> Ombro esquerdo <input type="checkbox"/> Ambos	Ombros: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Se sim: <input type="checkbox"/> Ombro direito <input type="checkbox"/> Ombro esquerdo <input type="checkbox"/> Ambos
Pescoço: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	Pescoço: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Pulsos/mãos: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Se sim: <input type="checkbox"/> Pulso/mão direito <input type="checkbox"/> Pulso/mão esquerdo <input type="checkbox"/> Ambos	Pulsos/mãos: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Se sim: <input type="checkbox"/> Pulso/mão dir. <input type="checkbox"/> Pulso/mão esquerdo <input type="checkbox"/> Ambos
Costas: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Cotovelo: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Se sim: <input type="checkbox"/> Cotovelo direito <input type="checkbox"/> Cotovelo esquerdo <input type="checkbox"/> Ambos	Costas: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Cotovelo: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Se sim: <input type="checkbox"/> Cotovelo direito <input type="checkbox"/> Cotovelo esquerdo <input type="checkbox"/> Ambos

**Após um dia de trabalho você:**

1. Apresenta formigamento nos dedos?  Sim  Não
2. Apresenta formigamento nas pernas?  Sim  Não

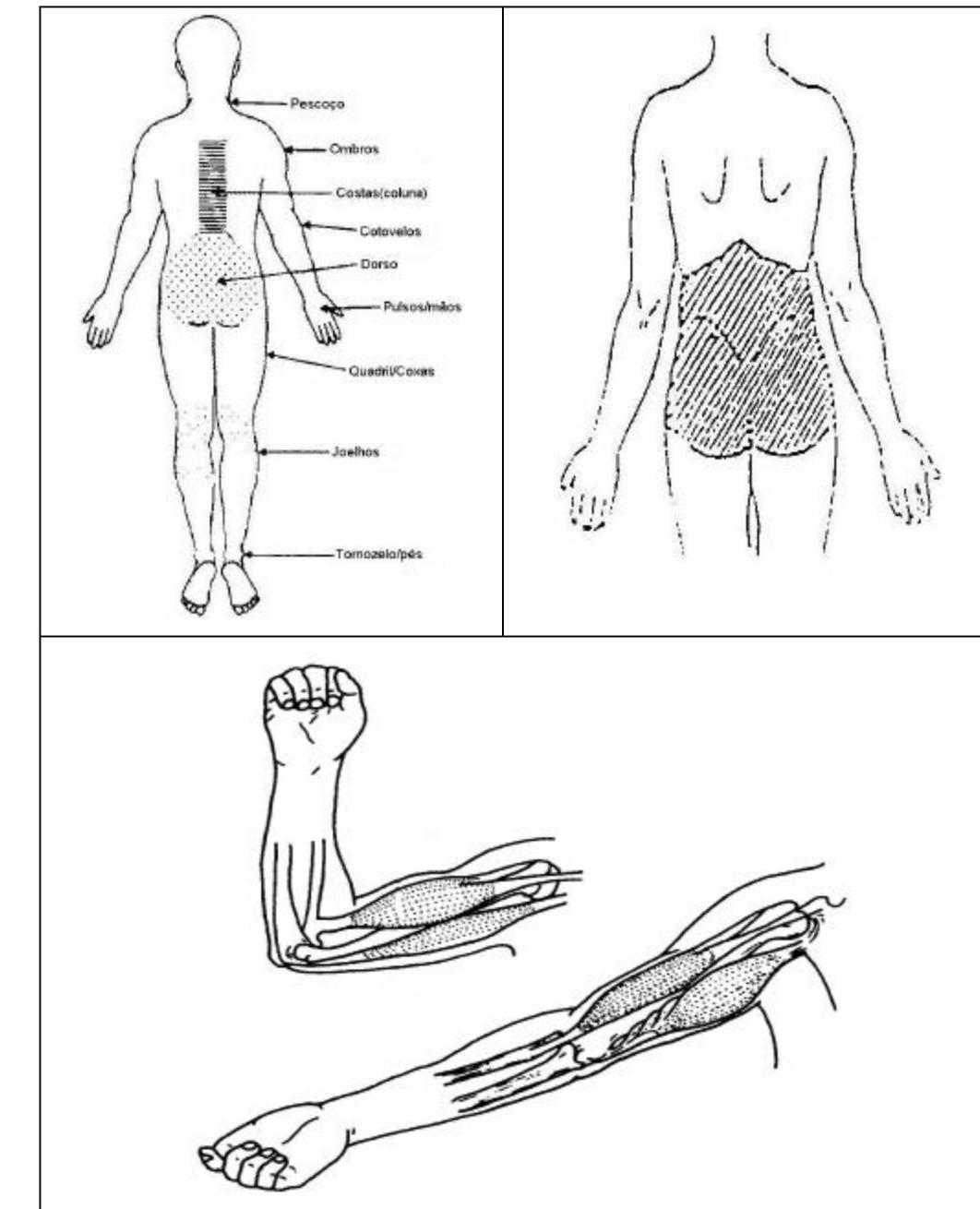
3. Apresenta formigamento nos pés?  Sim  Não
4. Apresenta algum tipo de dor?  Sim  Não
5. Você consome álcool socialmente?  Sim  Não
6. Você pratica alguma atividade esportiva?  Sim  Não Qual?  
\_\_\_\_\_
7. Você fica com dor de cabeça?  Sim  Não
8. Se você tem dor no(s) cotovelo(s) no último ano, você tratou ou está tratando com um médico este problema:  Sim  Não  Nenhuma dor no(s) cotovelo(s)
9. Você consegue fazer os movimentos da figura a seguir:

Sim  Não



10. *Após um dia de trabalho, apresenta alguma dor em algumas das áreas mostradas na figura abaixo. Por favor marque com uma seta (←) os locais das dores:*

Sim Não



SEÇÃO 4 – Trabalhos Anteriores

**EMPRESA ANTERIOR\_1:**

Empresa\_1: \_\_\_\_\_ Quantas *horas diárias* exercia esta função:  
horas

Atividade principal: Sim Motorista Sim Cobrador Sim Outra: \_\_\_\_\_

Quando iniciou nesta atividade: (ano) e quando saiu: (ano)

Movimentava pesos com mais de 10kg com as mãos:  Sim  Não

Trabalhava com ambas as mãos por mais de 1 hora:  Sim  Não

Usava computador ou máquina de escrever por mais de 1 hora:  Sim  Não

Utilizava algumas das máquinas ou ferramentas listadas abaixo?

Serra elétrica:  Sim  Não

Furadeira elétrica:  Sim  Não

Britadeira:  Sim  Não

Martelo:  Sim  Não

Lixadeira:  Sim  Não

Outra:

**Se usava alguma ferramenta**, qual o tempo de uso para cada uma das ferramentas anteriores:

Serra elétrica:  horas  minutos

Furadeira elétrica:  horas  minutos

Britadeira:  horas  minutos

Martelo:  horas  minutos

Lixadeira:  horas  minutos

Outra: \_\_\_\_\_  horas  minutos

No seu trabalho, você usa alguma ferramenta que causa vibrações nas suas mãos?

Sim  Não

**Se SIM**, quais?

Que ferramenta usou?	Qual o tempo de uso	Descreva a atividade
1.	<input type="checkbox"/> horas <input type="checkbox"/> minutos	
2.	<input type="checkbox"/> horas <input type="checkbox"/> minutos	
3.	<input type="checkbox"/> horas <input type="checkbox"/> minutos	

### **EMPRESA ANTERIOR\_2:**

Empresa\_1: \_\_\_\_\_ Quantas **horas diárias** exercia esta função:  
horas

Atividade principal:  Motorista  Cobrador  Outra: \_\_\_\_\_

Quando iniciou nesta atividade: (ano) e quando saiu: (ano)

Movimentava pesos com mais de 10kg com as mãos:  Sim  Não

Trabalhava com ambas as mãos por mais de 1 hora:  Sim  Não

Usava computador ou máquina de escrever por mais de 1 hora:  Sim  Não

Utilizava algumas das máquinas ou ferramentas listadas abaixo?

Serra elétrica:  Sim  Não

Furadeira elétrica:  Sim  Não

Britadeira:  Sim  Não

Martelo:  Sim  Não

Lixadeira:  Sim  Não

Outra: \_\_\_\_\_

**Se usava alguma ferramenta**, qual o tempo de uso para cada uma das ferramentas anteriores:

Serra elétrica:  horas  minutos

Furadeira elétrica:  horas  minutos

Britadeira:  horas  minutos

Martelo:  horas  minutos

Lixadeira:  horas  minutos

Outra: \_\_\_\_\_  horas  minutos

No seu trabalho, você usa alguma ferramenta que causa vibrações nas suas mãos?

Sim  Não

**Se SIM**, quais?

Que ferramenta usou?	Qual o tempo de uso	Descreva a atividade
1.	<input type="checkbox"/> horas <input type="checkbox"/> minutos	
2.	<input type="checkbox"/> horas <input type="checkbox"/> minutos	
3.	<input type="checkbox"/> horas <input type="checkbox"/> minutos	

# **APÊNDICE\_2**

### Acerações ponderadas obtidas nos ensaios com os ônibus.

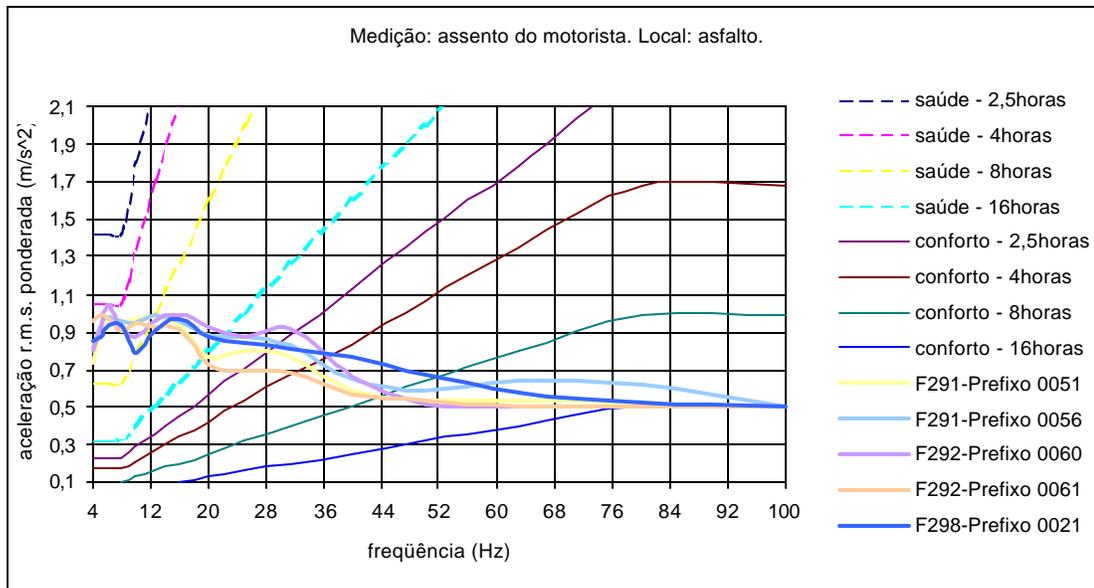


FIGURA AP2.1 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F2. Localização: assento do motorista. Local do ensaio: asfalto.

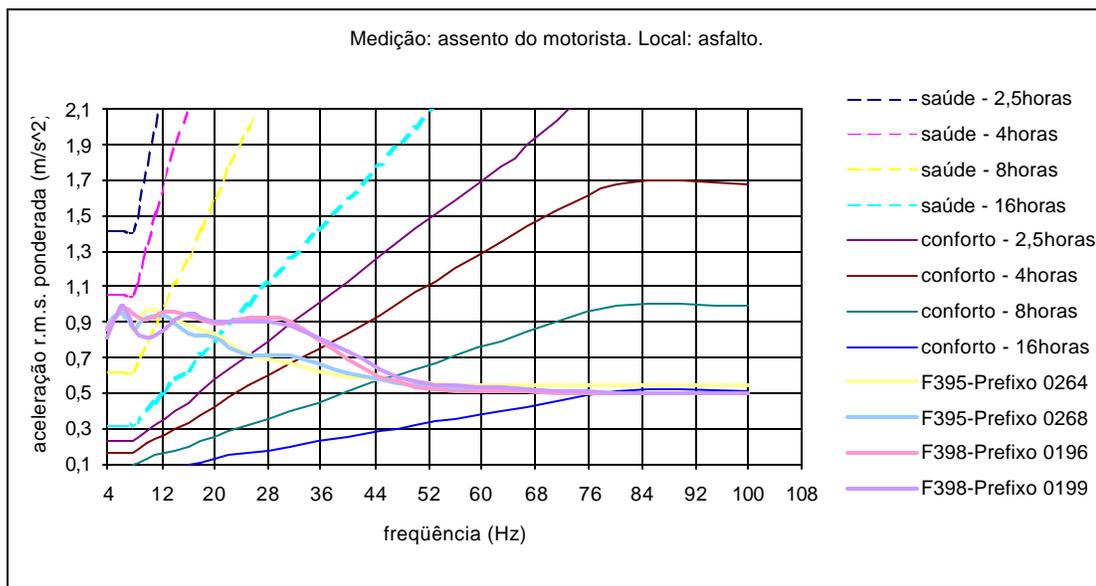


FIGURA AP2.2 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F3. Localização: assento do motorista. Local do ensaio: asfalto.

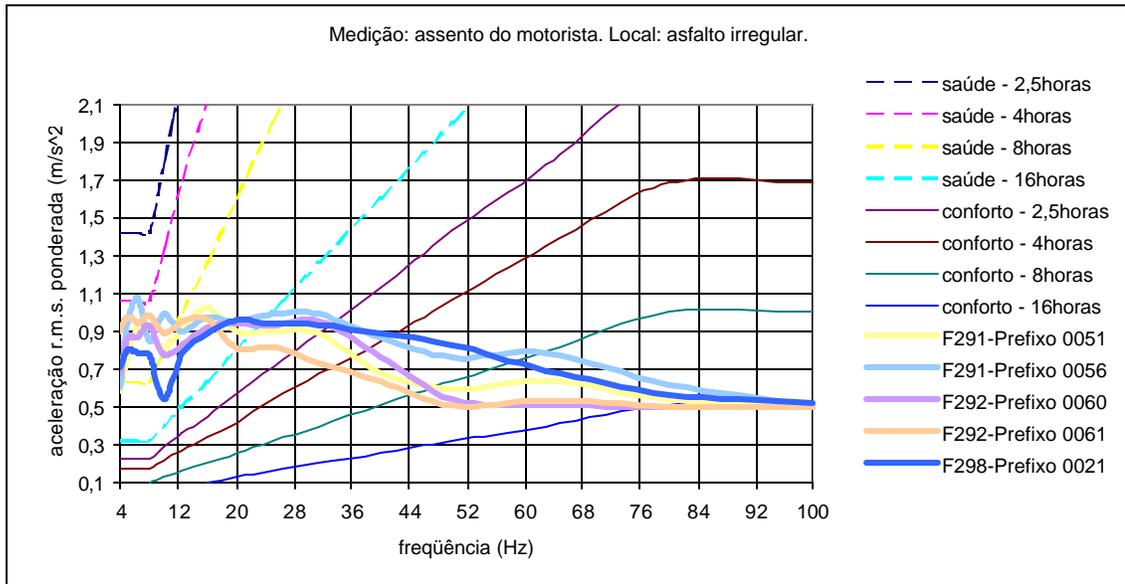


FIGURA AP2.3 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F2. Localização: assento do motorista. Local do ensaio: asfalto irregular.

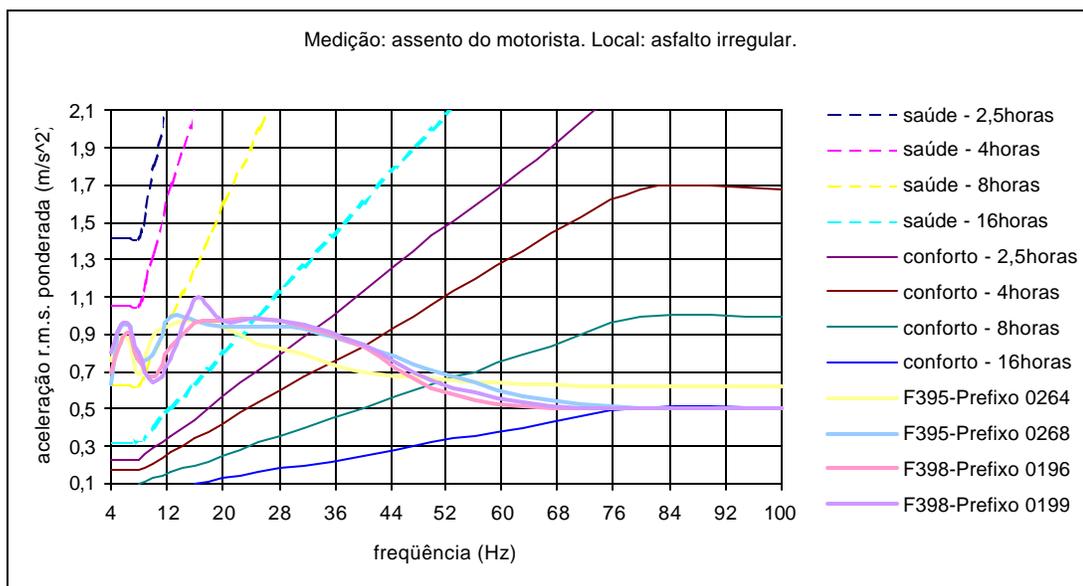


FIGURA AP2.4 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F3. Localização: assento do motorista. Local do ensaio: asfalto irregular.

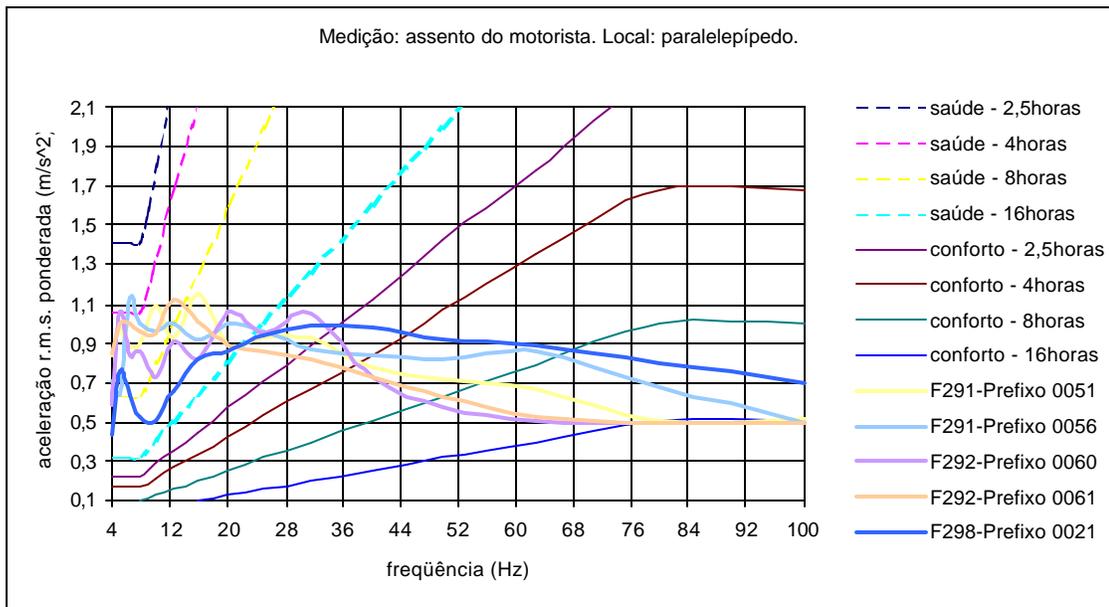


FIGURA AP2.5 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F2. Localização: assento do motorista. Local do ensaio: paralelepípedo.

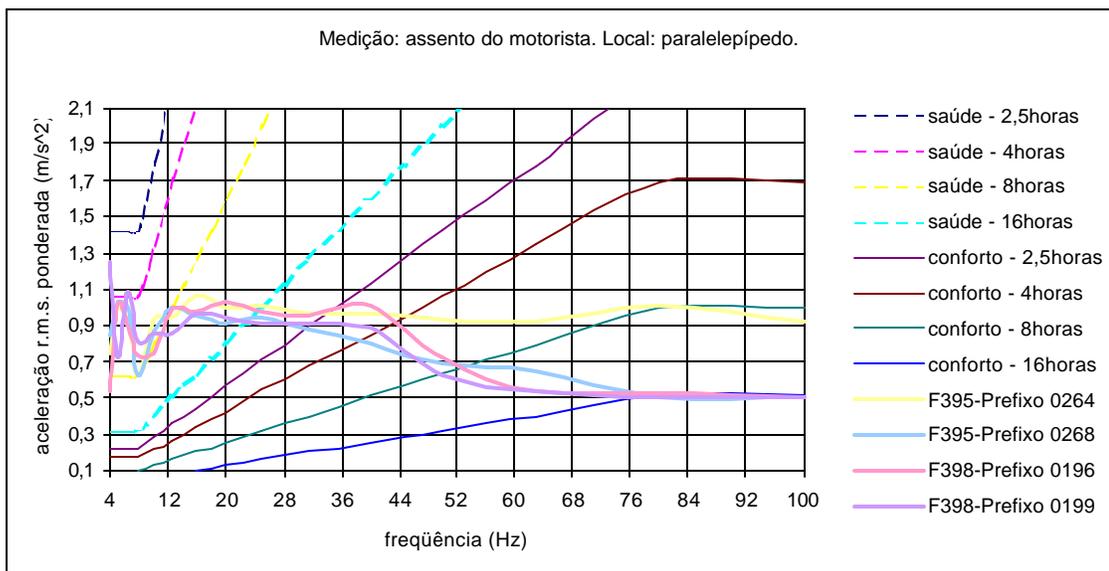


FIGURA AP2.6 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F3. Localização: assento do motorista. Local do ensaio: paralelepípedo.

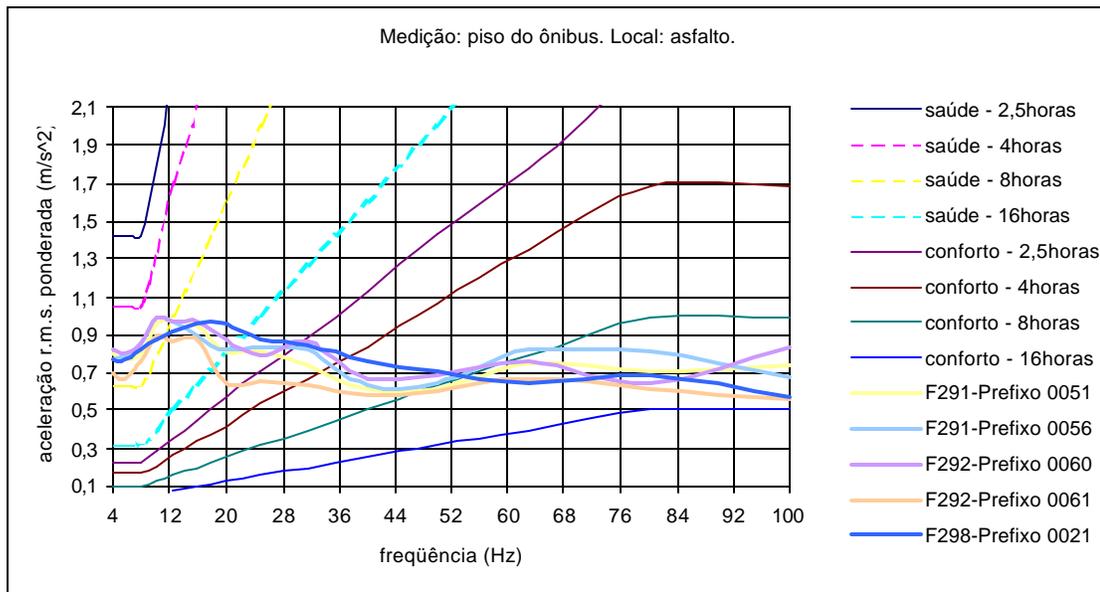


FIGURA AP2.7 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F2. Localização: piso do ônibus. Local do ensaio: asfalto.

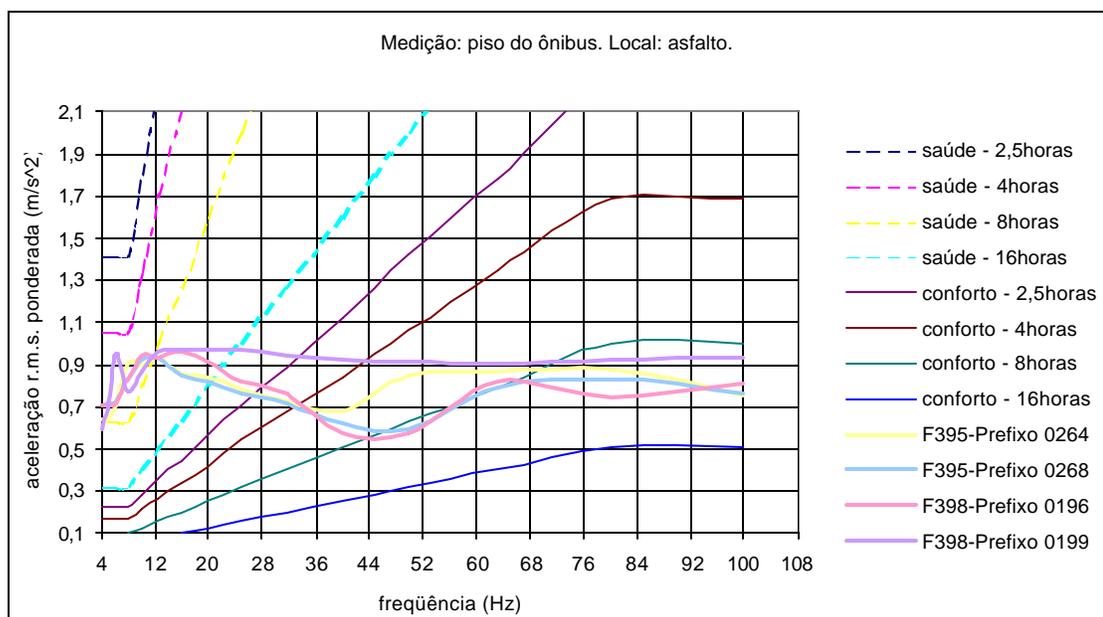


FIGURA AP2.8 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F3. Localização: piso do ônibus. Local do ensaio: asfalto.

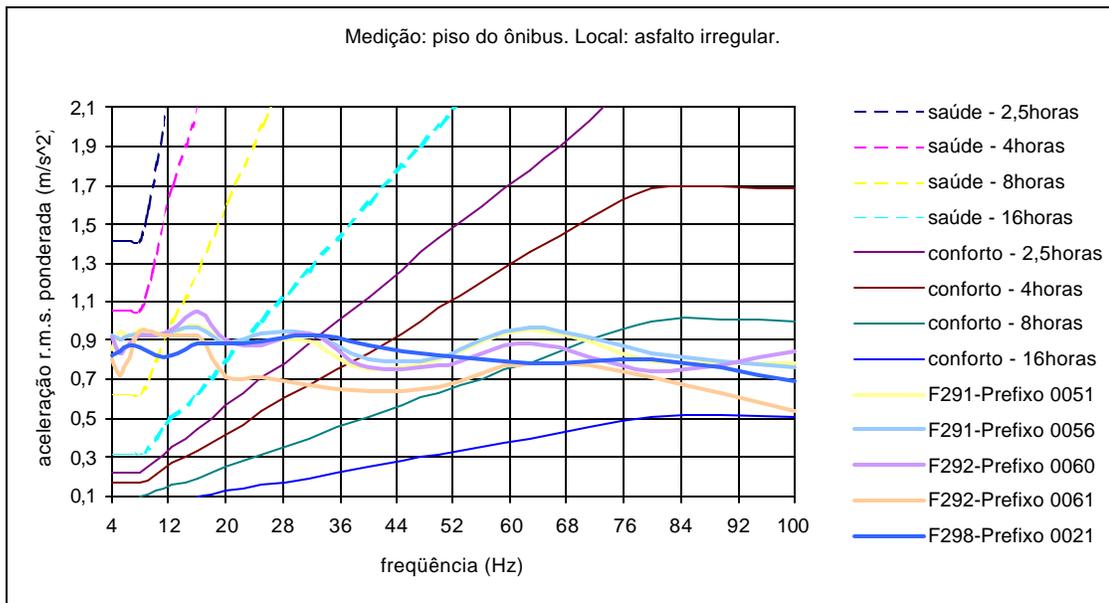


FIGURA AP2.9 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F2. Localização: piso do ônibus. Local do ensaio: asfalto irregular.

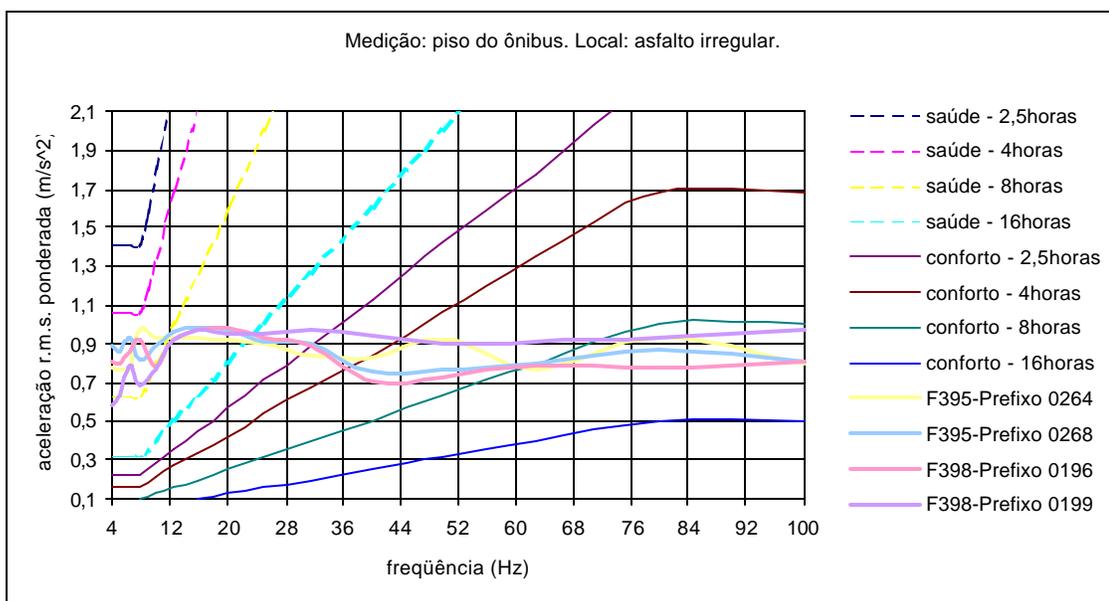


FIGURA AP2.10 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F3. Localização: piso do ônibus. Local do ensaio: asfalto irregular.

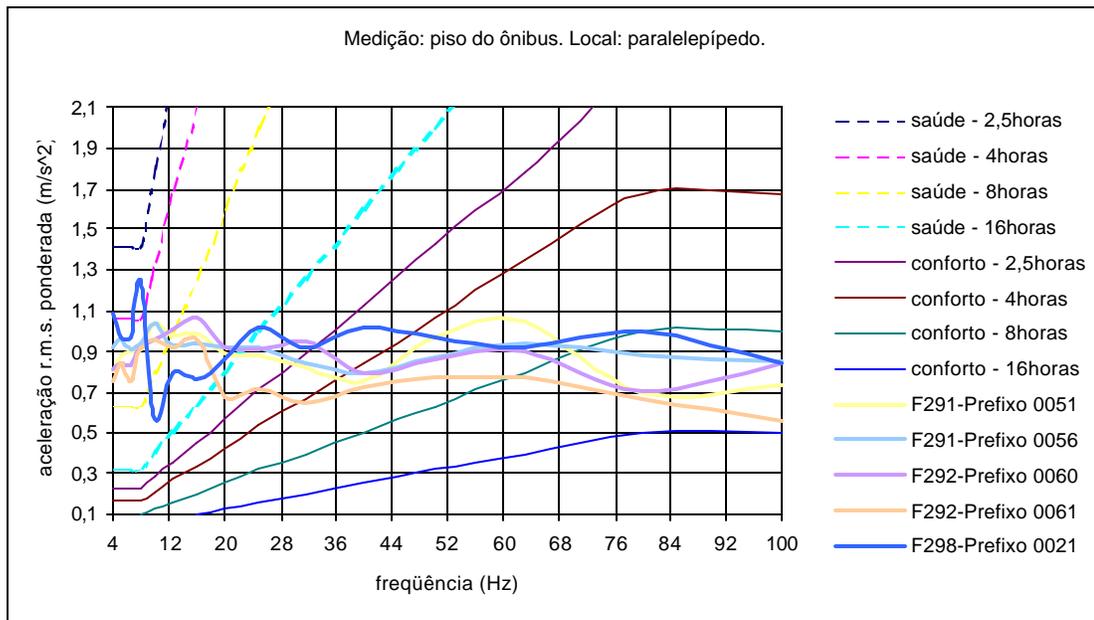


FIGURA AP2.11 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F2. Localização: piso do ônibus. Local do ensaio: paralelepípedo.

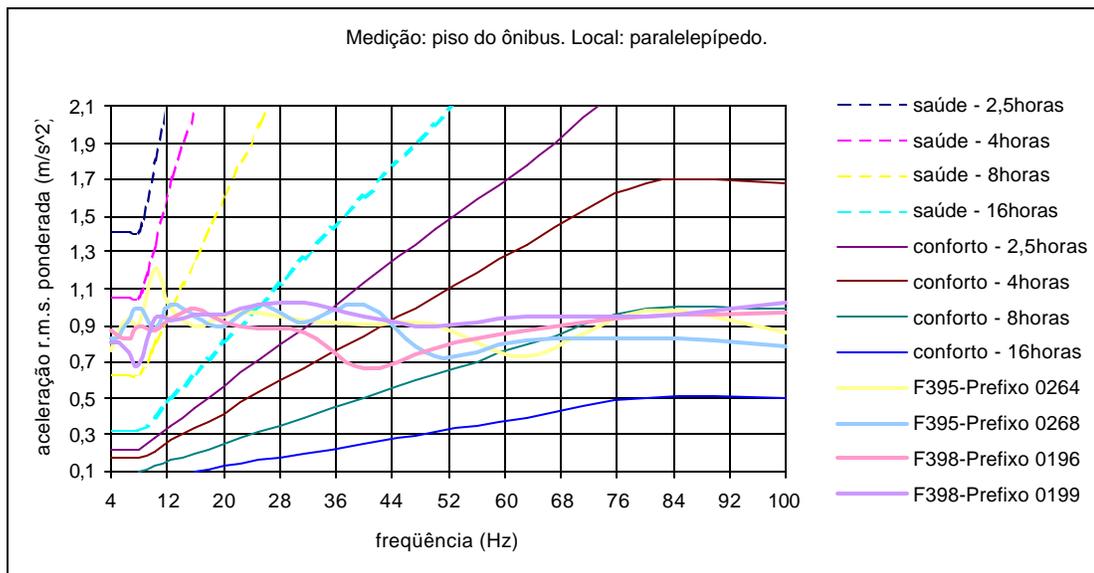


FIGURA AP2.12 – Aceleração ponderada média, com relação aos limites para saúde e conforto definidos pela norma ISO 2631, nos ônibus F3. Localização: piso do ônibus. Local do ensaio: paralelepípedo.

# APÊNDICE\_3

**Acelerações ponderadas obtidas nos ensaios com os ônibus – segmento mão-braço.**

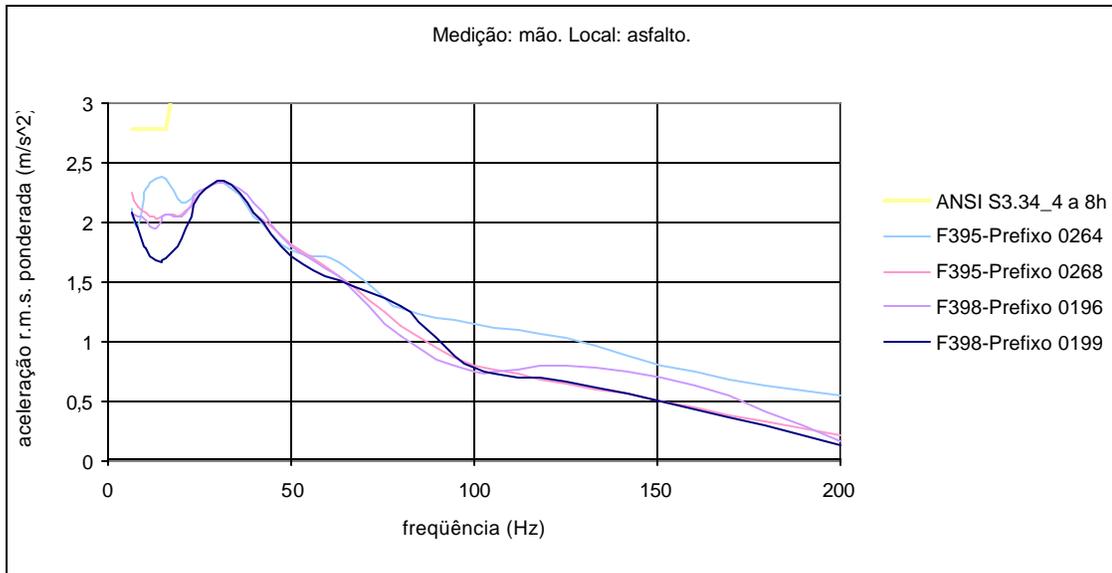


FIGURA AP3.1 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ANSI S3.34, no ônibus F3. Localização: mão do motorista. Local do ensaio: asfalto.

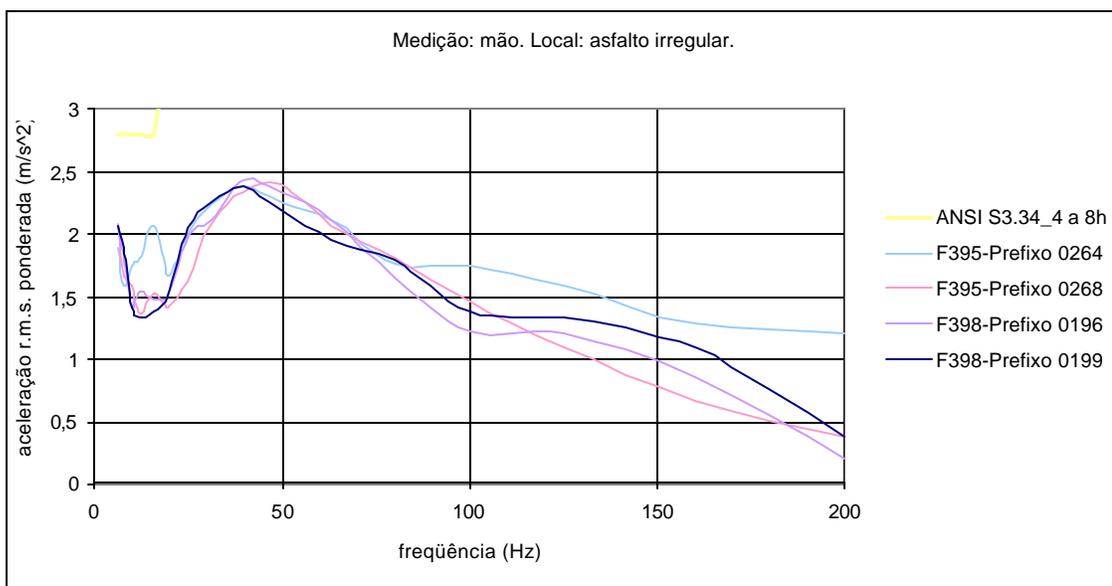


FIGURA AP3.2 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ANSI S3.34, no ônibus F3. Localização: mão do motorista. Local do ensaio: asfalto irregular.

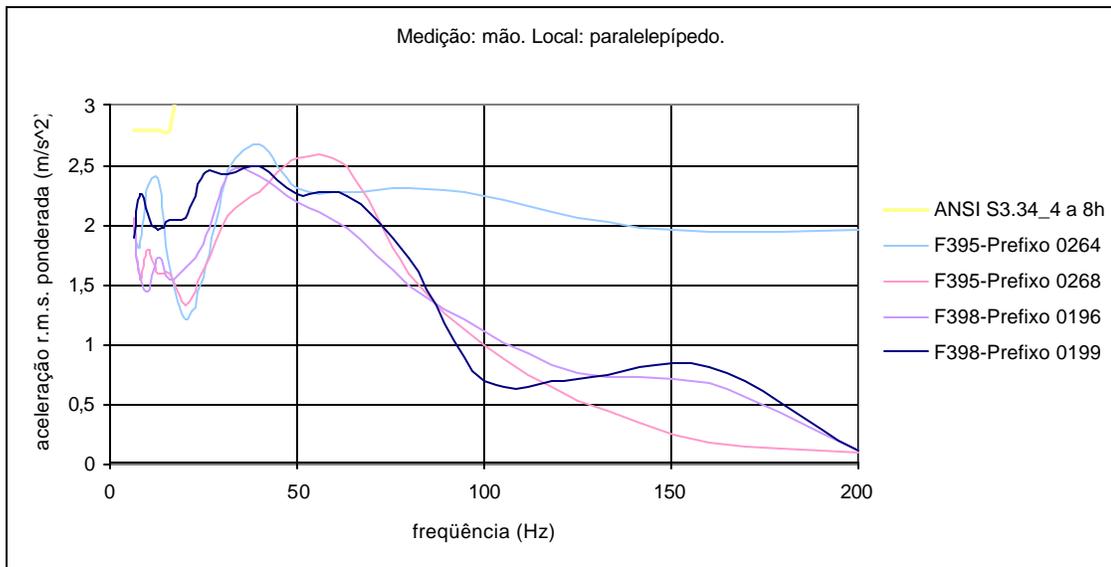


FIGURA AP3.3 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ANSI S3.34, no ônibus F3. Localização: mão do motorista. Local do ensaio: paralelepípedo.

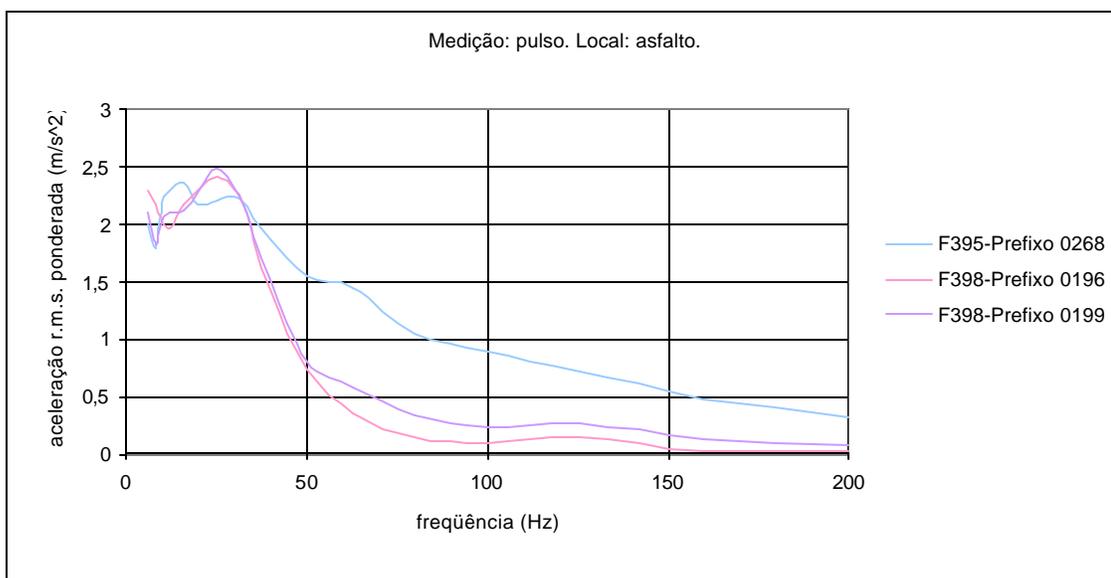


FIGURA AP3.4 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ANSI S3.34, no ônibus F3. Localização: pulso do motorista. Local do ensaio: asfalto.

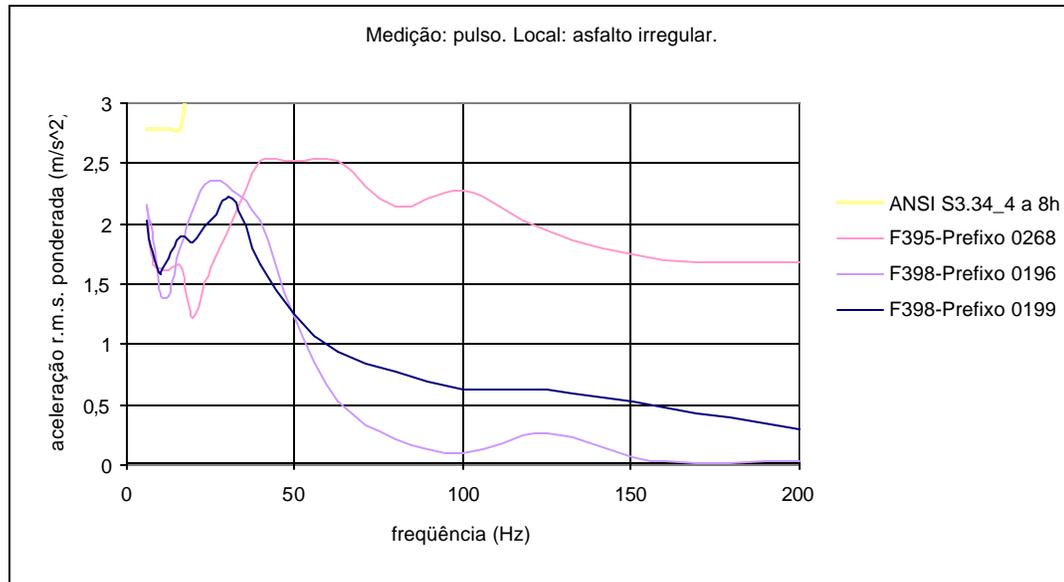


FIGURA AP3.5 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ANSI S3.34, no ônibus F3. Localização: pulso do motorista. Local do ensaio: asfalto irregular.

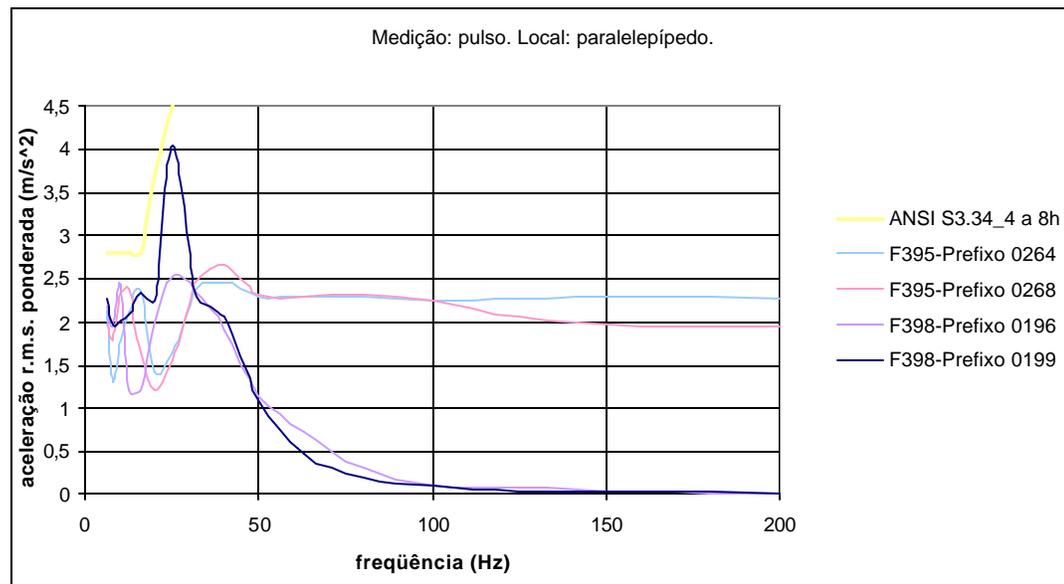


FIGURA AP3.6 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ANSI S3.34, no ônibus F3. Localização: pulso do motorista. Local do ensaio: paralelepípedo.

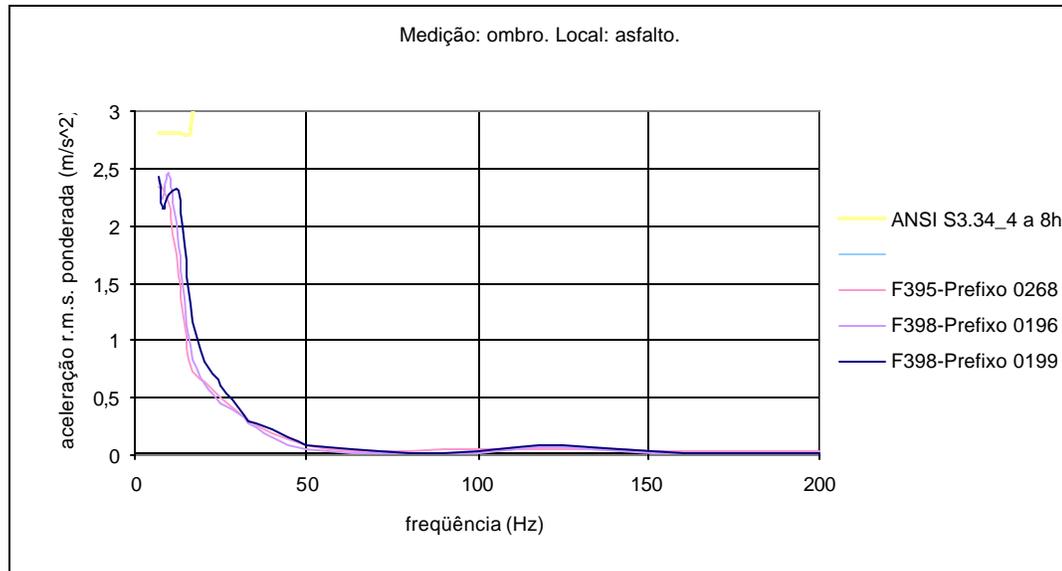


FIGURA AP3.7 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ANSI S3.34, no ônibus F3. Localização: ombro do motorista. Local do ensaio: asfalto.

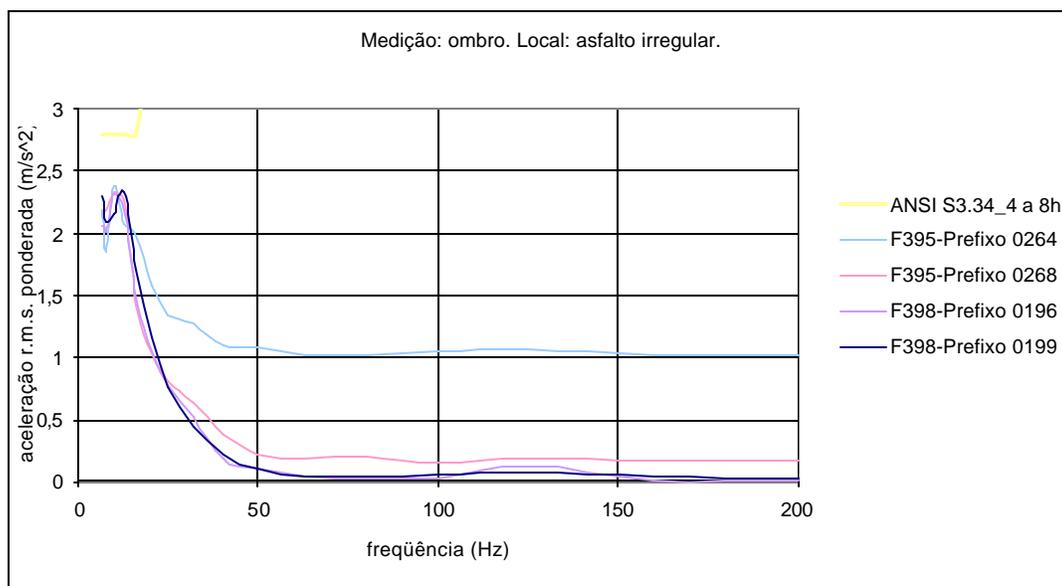


FIGURA AP3.8 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ANSI S3.34, no ônibus F3. Localização: ombro do motorista. Local do ensaio: asfalto irregular.

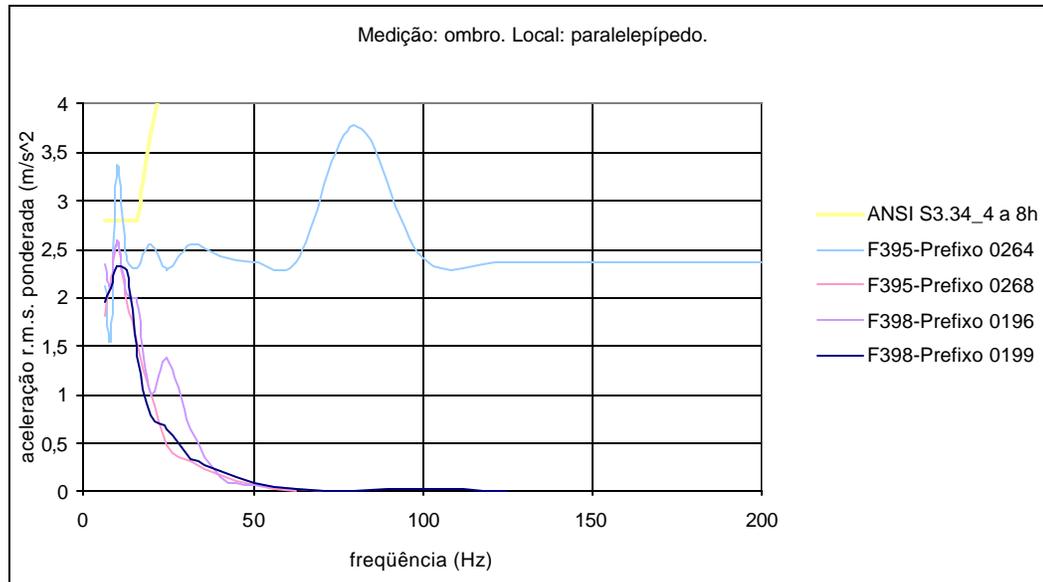


FIGURA AP3.9 – Aceleração ponderada média, com relação ao limite definido pela norma ANSI S3.34, no ônibus F3. Localização: ombro do motorista. Local do ensaio: paralelepípedo.

# APÊNDICE\_4

### Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus.

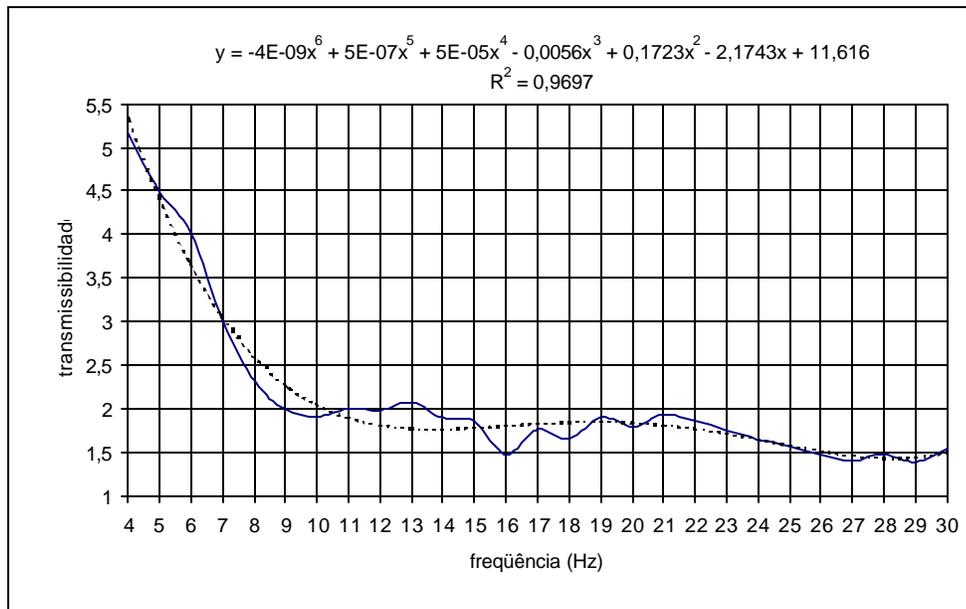


FIGURA AP4.1 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F197 – tipo de piso: asfalto.

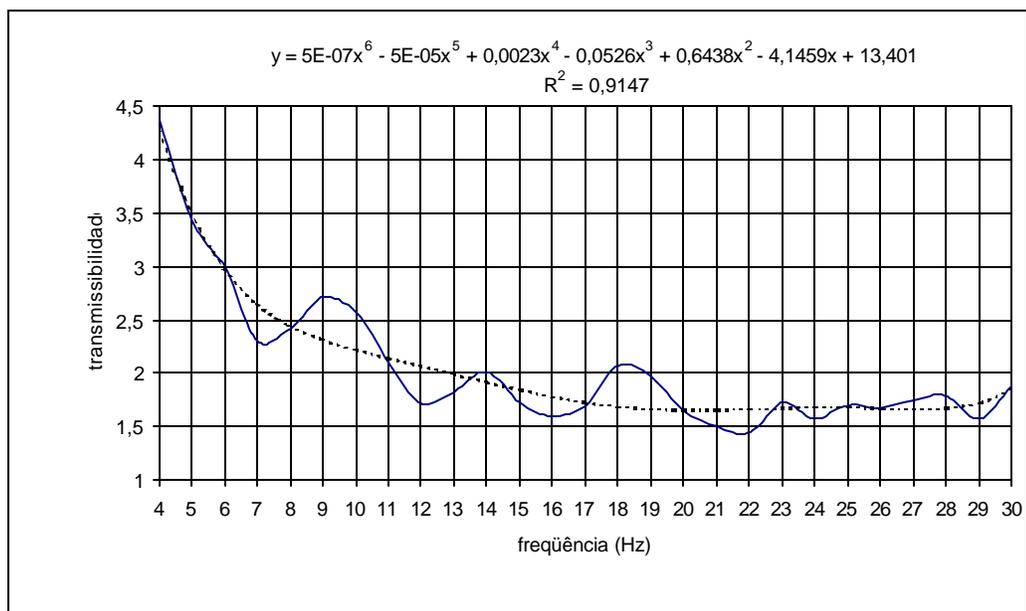


FIGURA AP4.2 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F197 – tipo de piso: asfalto irregular.

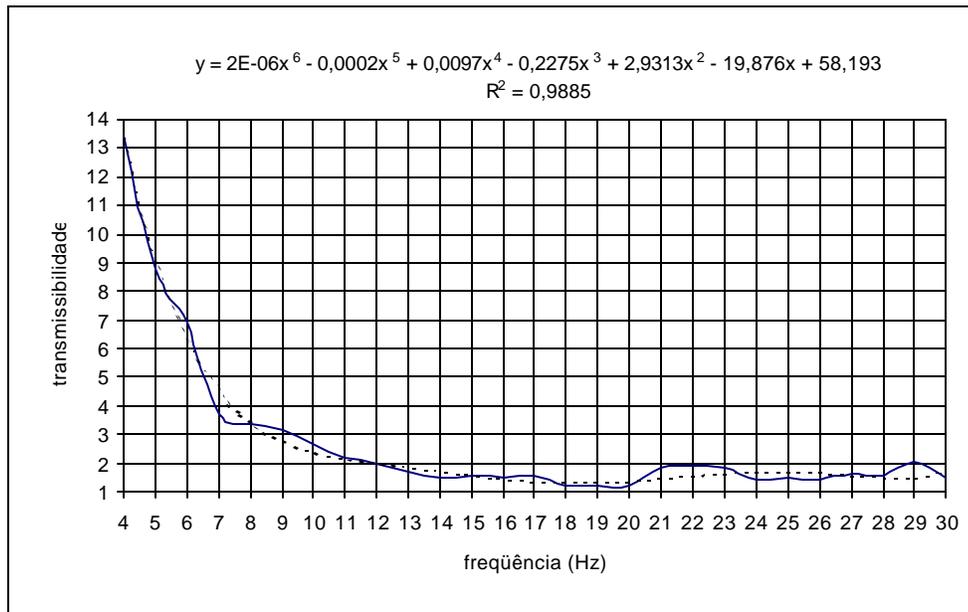


FIGURA AP4.3 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F197 – tipo de piso: paralelepípedo.

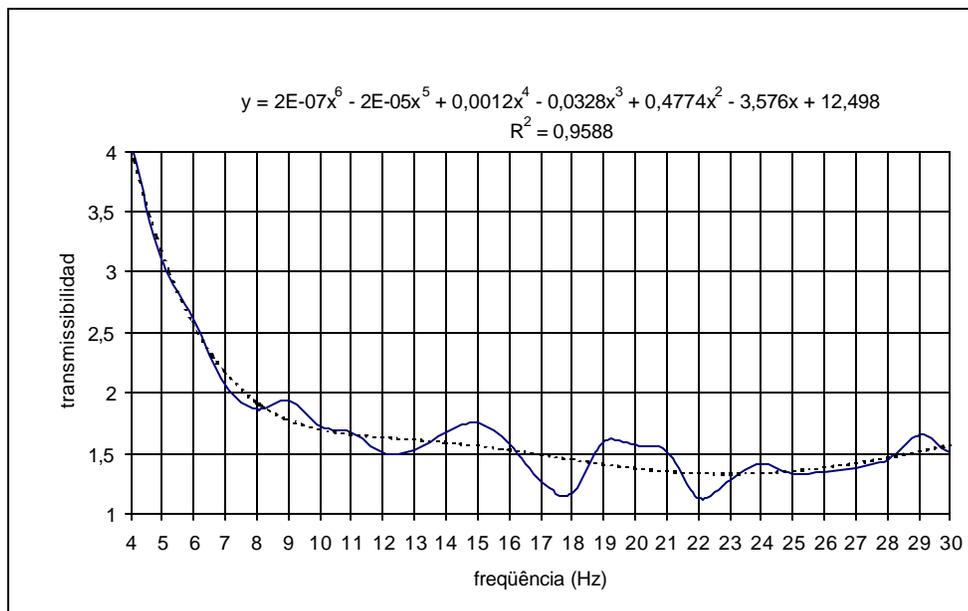


FIGURA AP4.4 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F291\_0051 – tipo de piso: asfalto.

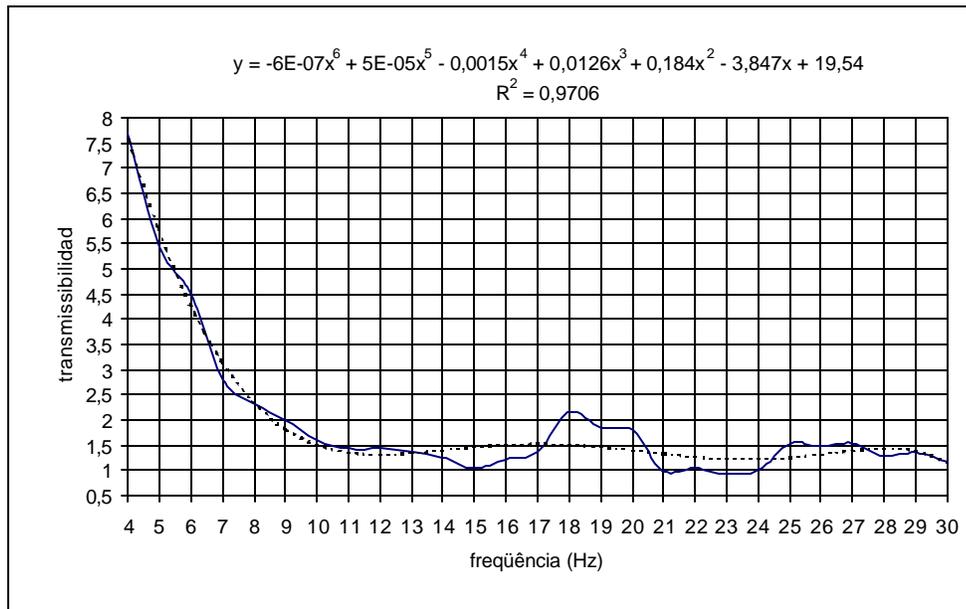


FIGURA AP4.5 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F291\_0051 – tipo de piso: asfalto irregular.

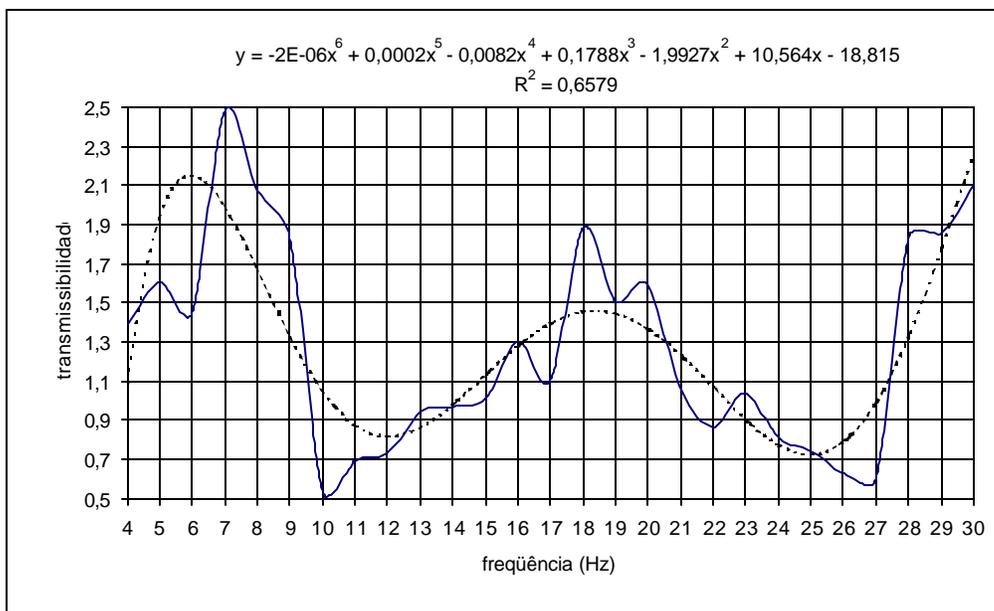


FIGURA AP4.6 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F291\_0051 – tipo de piso: paralelepípedo.

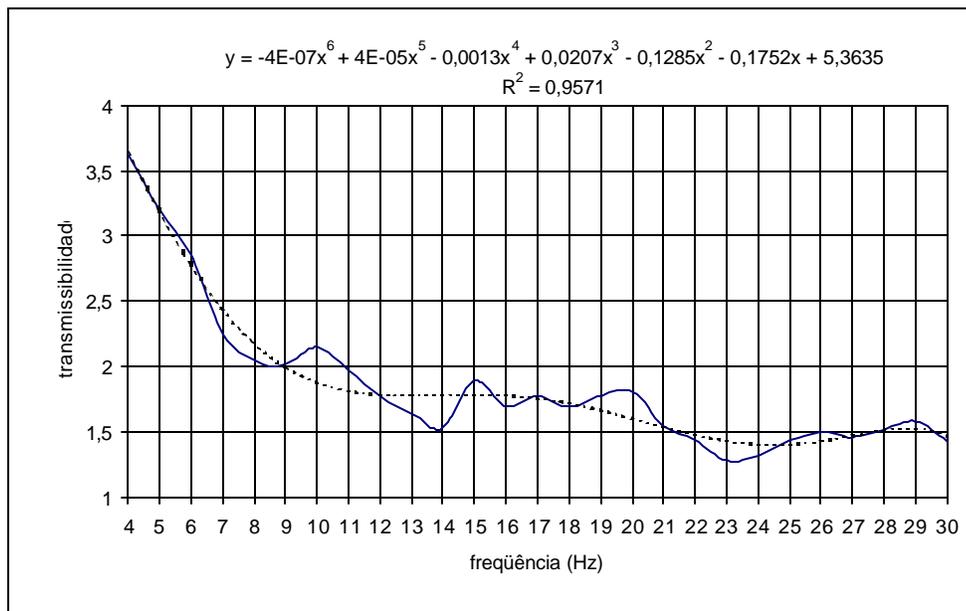


FIGURA AP4.7 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F291\_0056 – tipo de piso: asfalto.

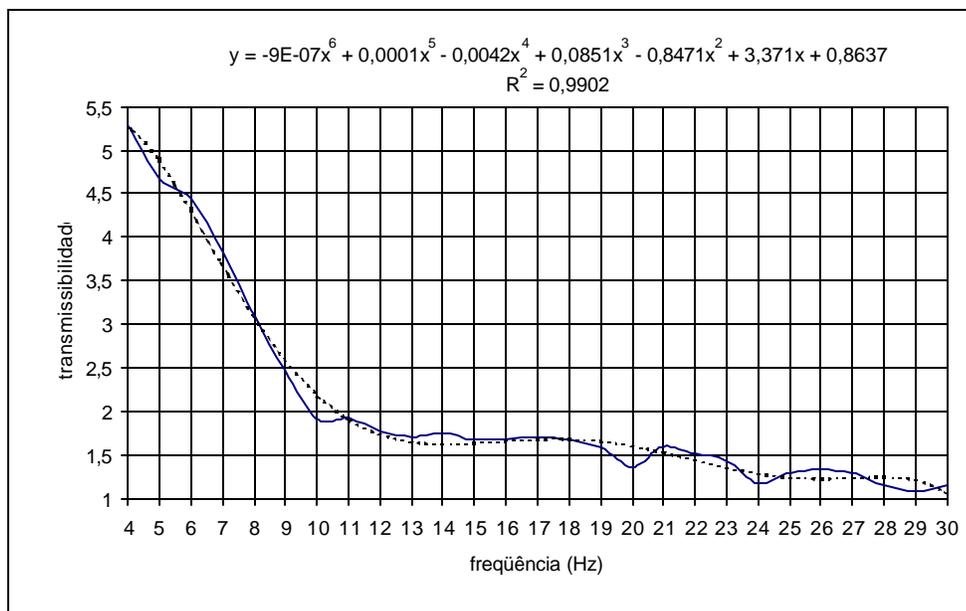


FIGURA AP4.8 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F291\_0056 – tipo de piso: asfalto irregular.

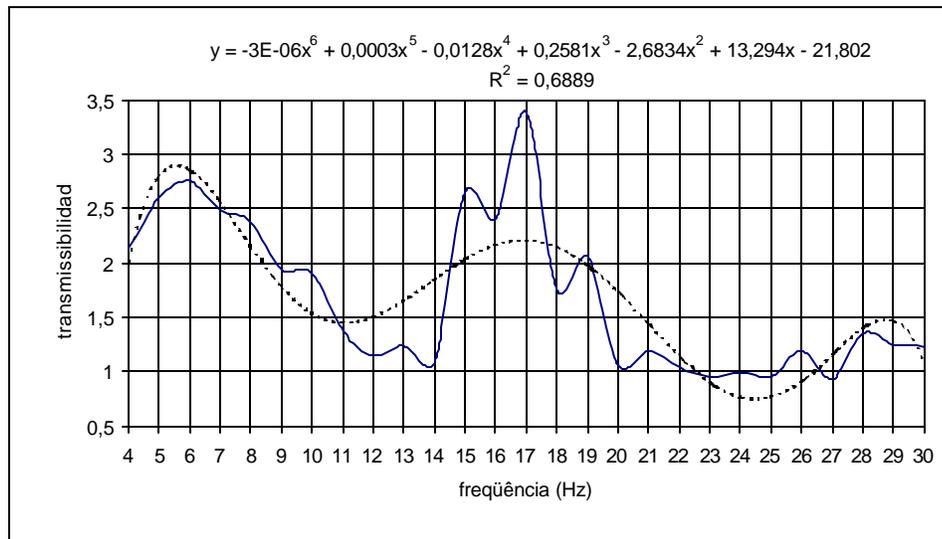


FIGURA AP4.9 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F291\_0056 – tipo de piso paralelepípedo.

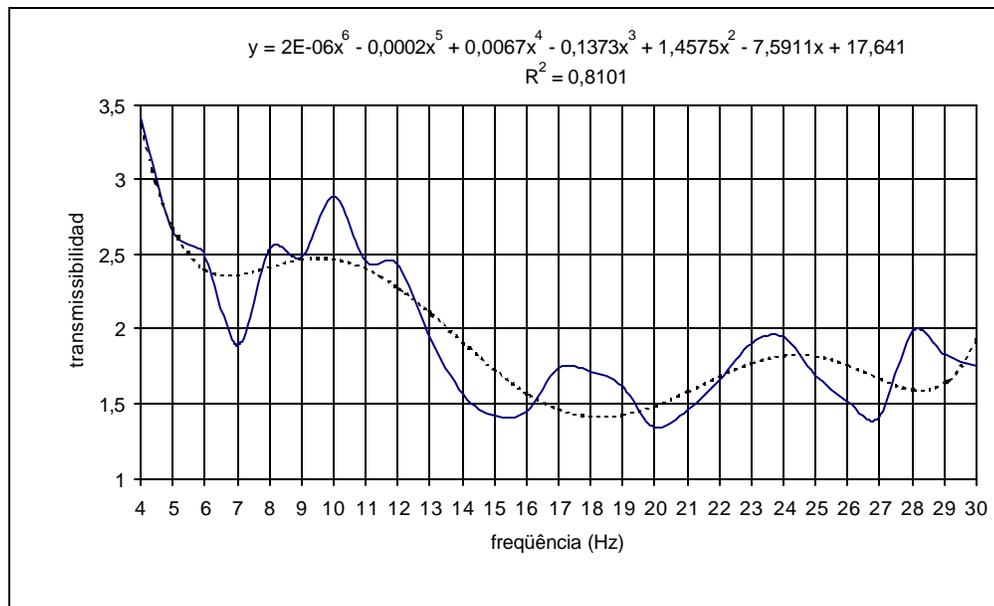


FIGURA AP4.10 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F292\_0060 – tipo de piso: asfalto.

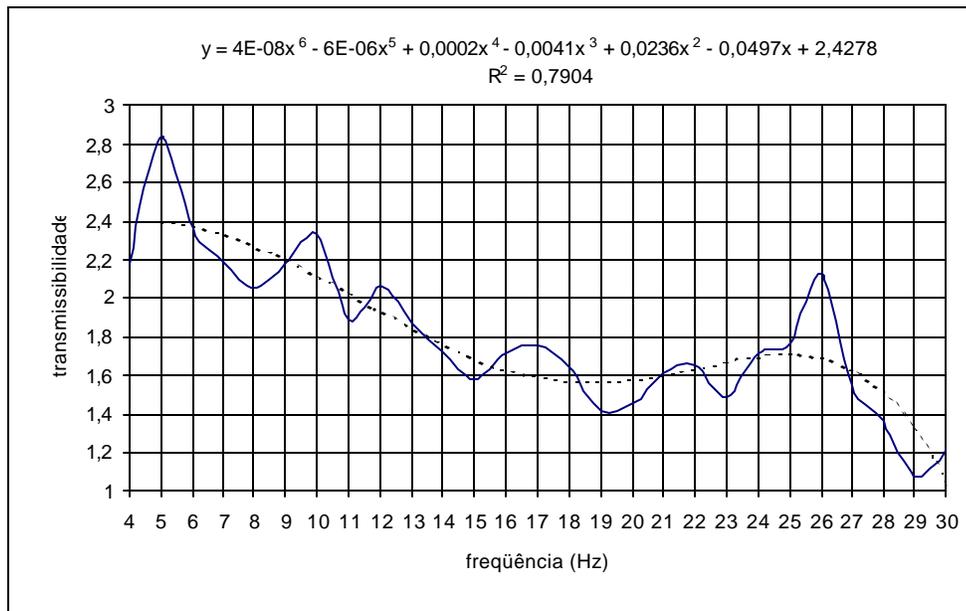


FIGURA AP4.11 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F292\_0060 – tipo de piso: asfalto irregular.

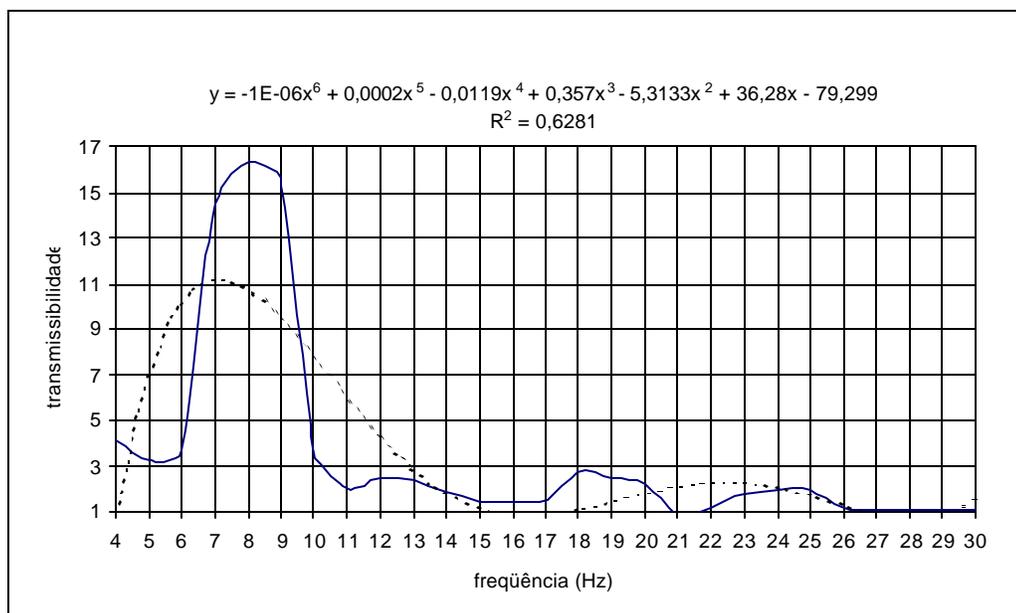


FIGURA AP4.12 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F292\_0060 – tipo de piso: paralelepípedo.

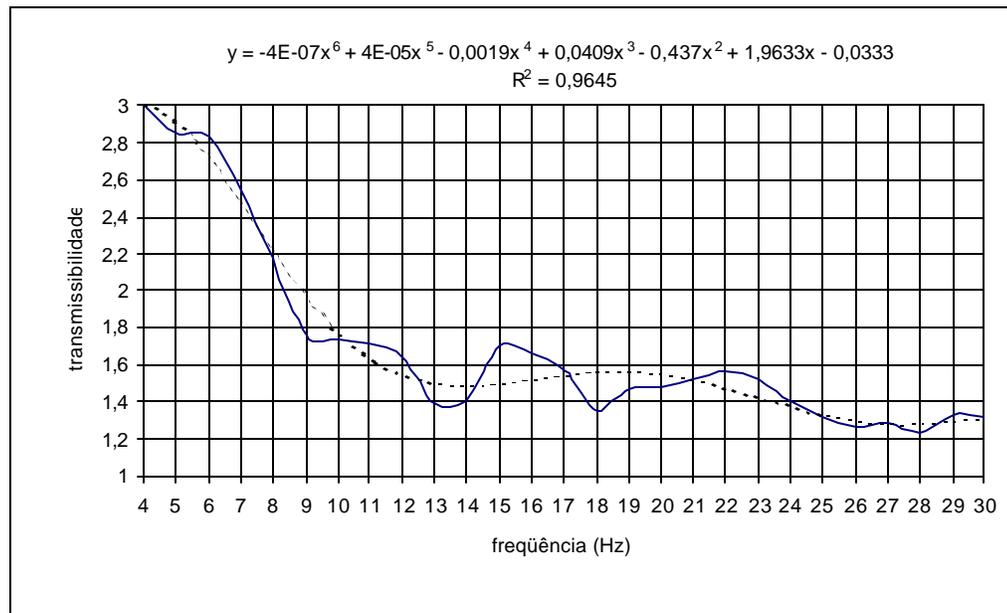


FIGURA AP4.13 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F292\_0061 – tipo de piso: asfalto.

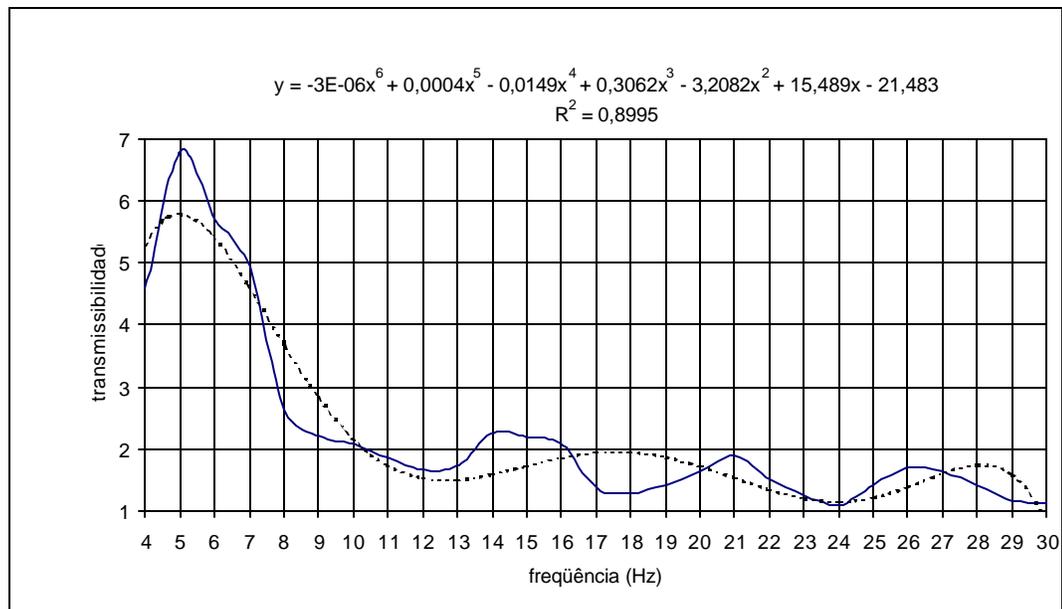


FIGURA AP4.14 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F292\_0061 – tipo de piso: asfalto irregular.

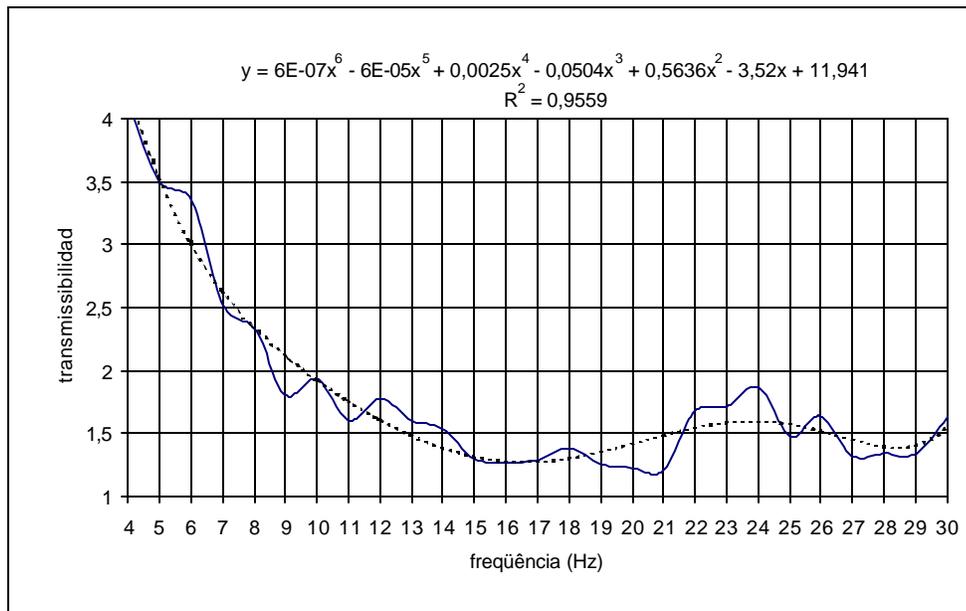


FIGURA AP4.15 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F292\_0061 – tipo de piso: paralelepípedo.

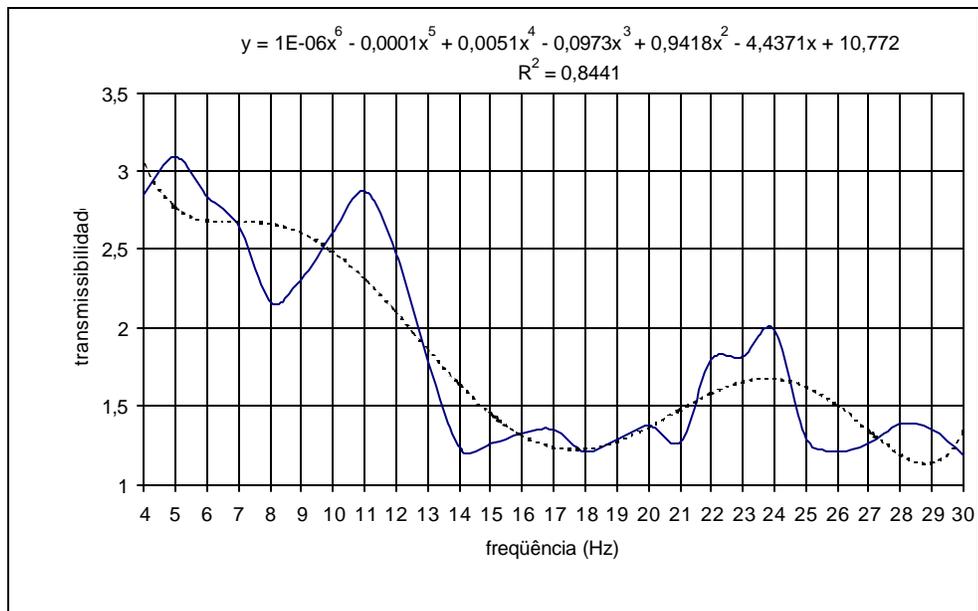


FIGURA AP4.16 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F298\_0021 – tipo de piso: asfalto.

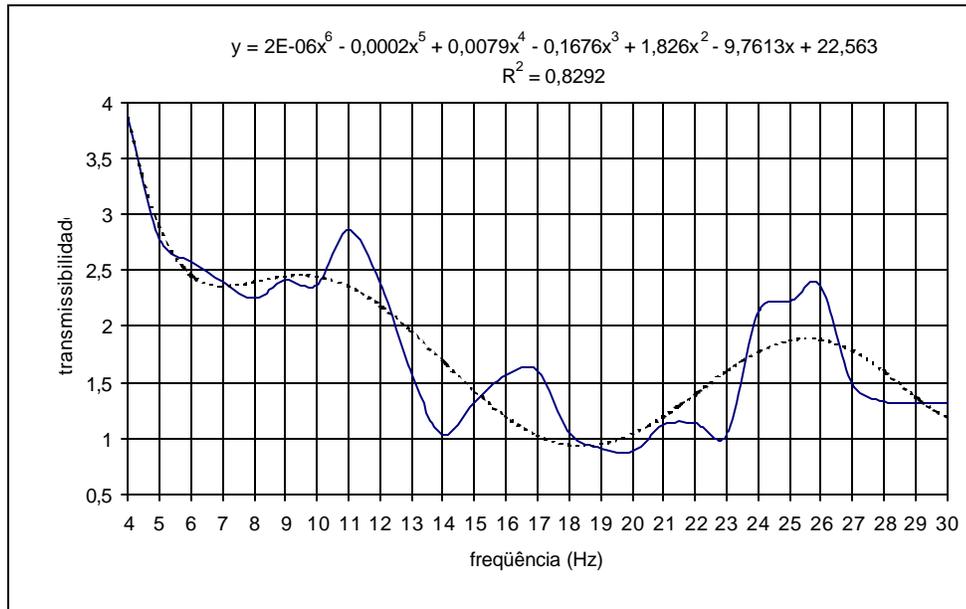


FIGURA AP4.17 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F298\_0021 – tipo de piso: asfalto irregular.

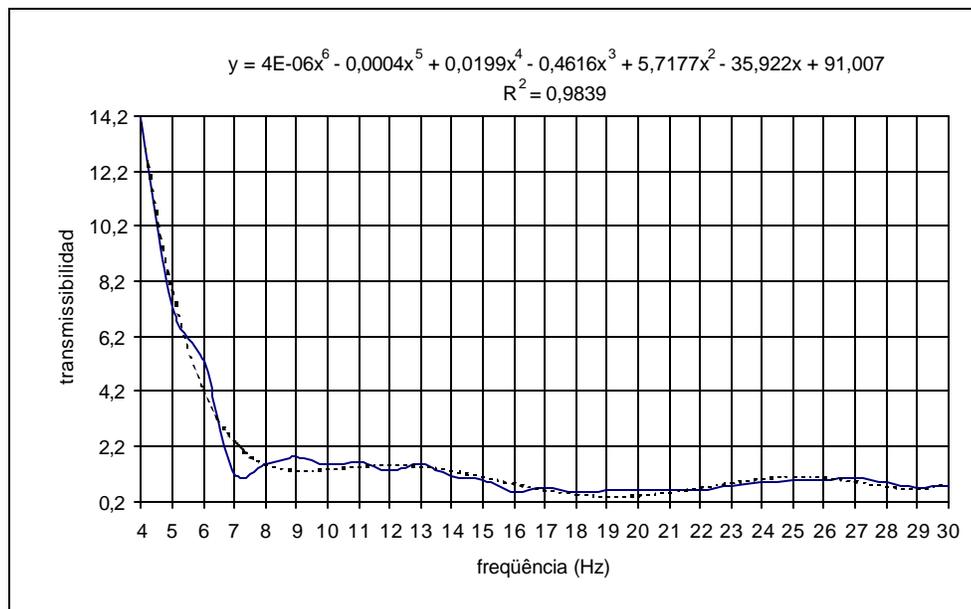


FIGURA AP4.18 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F298\_0021 – tipo de piso: paralelepípedo.

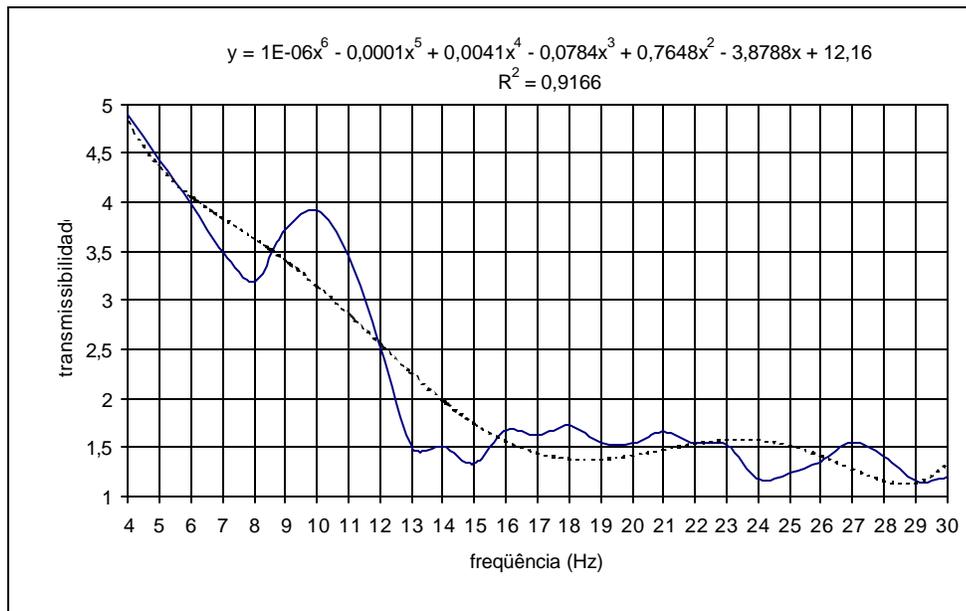


FIGURA AP4.19 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus.  
Veículo: F395\_0264 – tipo de piso: asfalto.

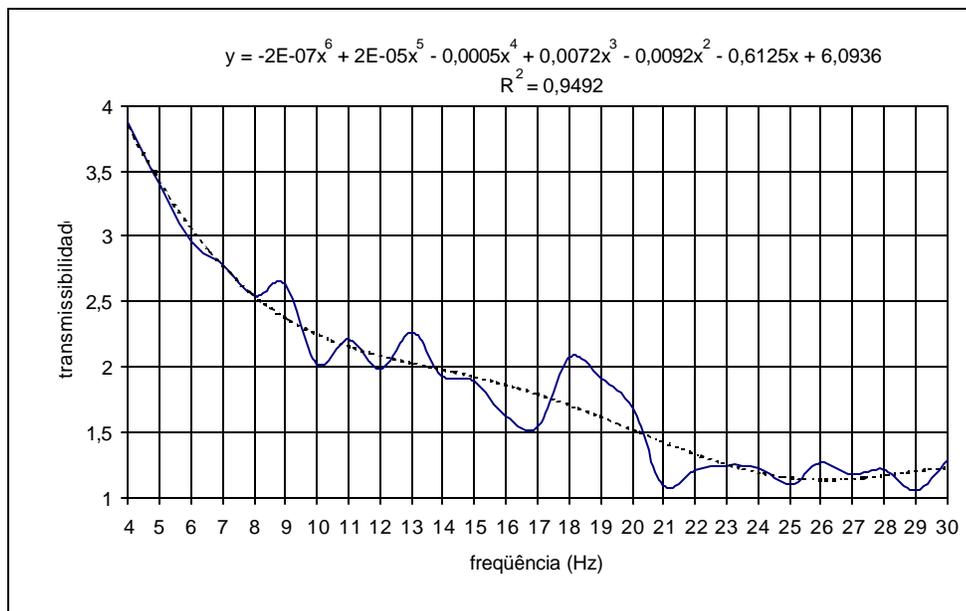


FIGURA AP4.20 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus.  
Veículo: F395\_0264 – tipo de piso: asfalto irregular.

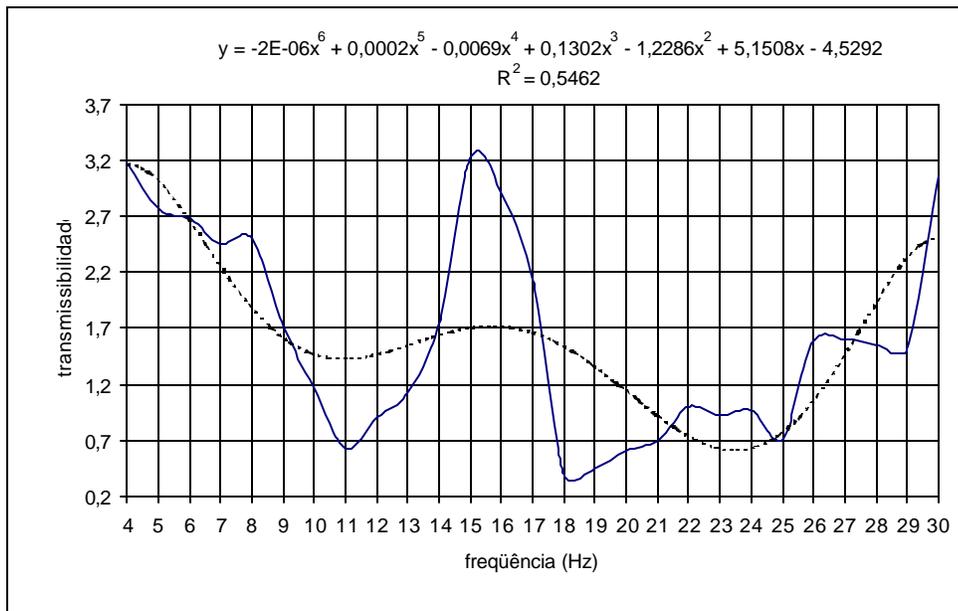


FIGURA AP4.21 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F395\_0264 – tipo de piso: paralelepípedo.

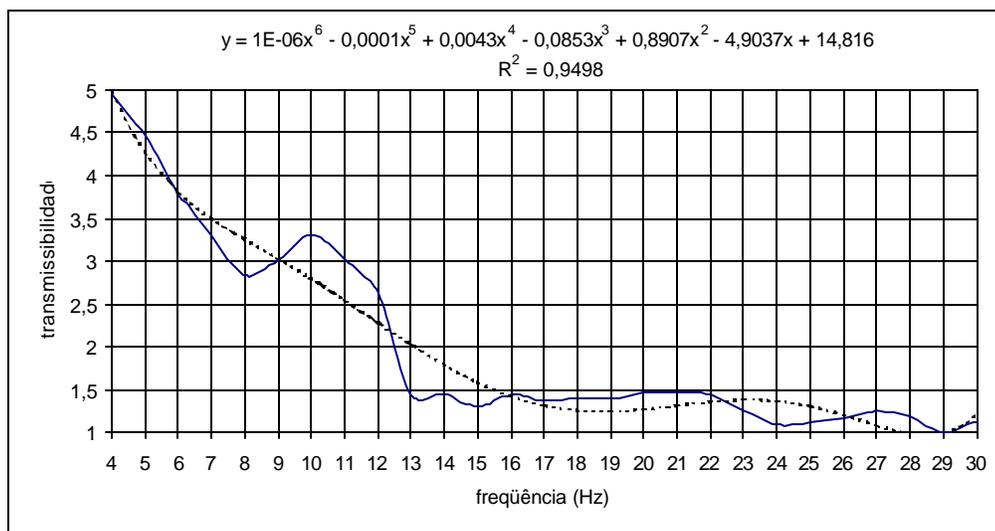


FIGURA AP4.22 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F395\_0268 – tipo de piso: asfalto.

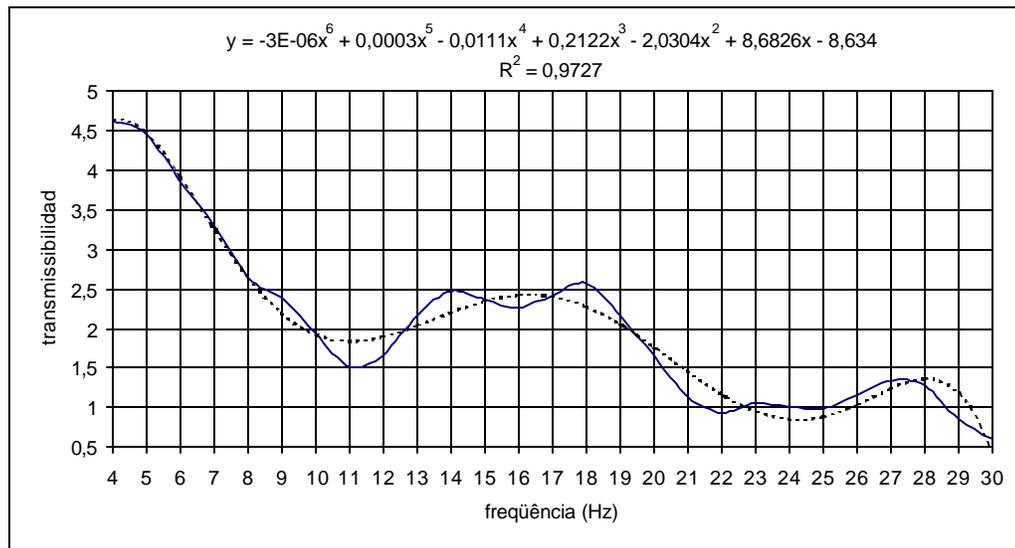


FIGURA AP4.23 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F395\_0268 – tipo de piso: asfalto irregular.

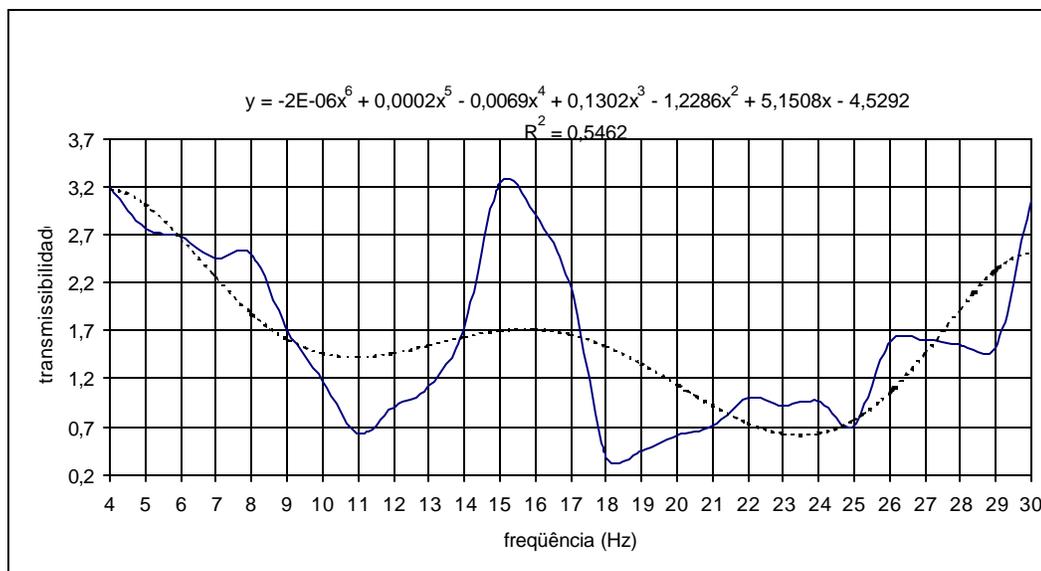


FIGURA AP4.24 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus. Veículo: F395\_0268 – tipo de piso: paralelepípedo.

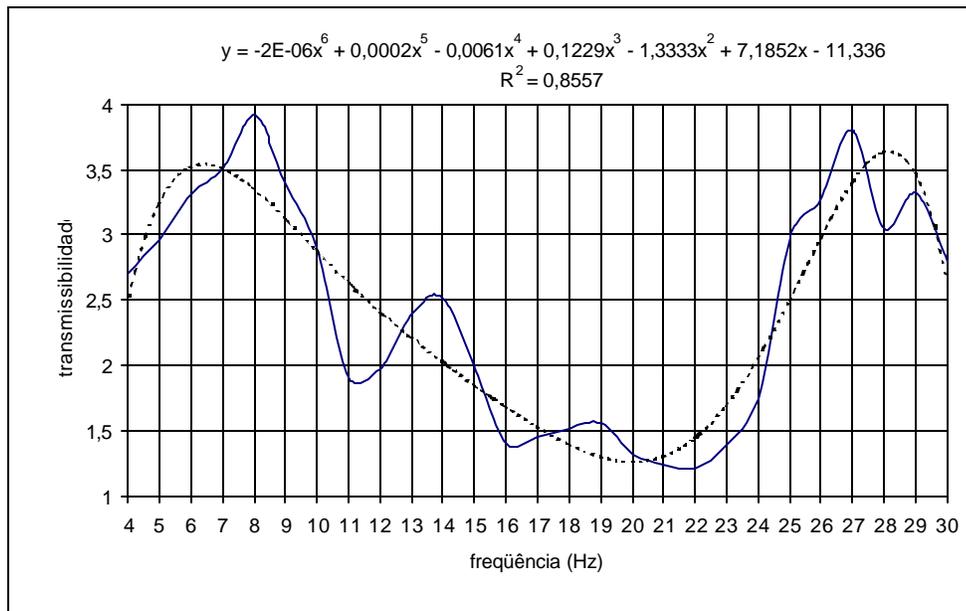


FIGURA AP4.25 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus.  
Veículo: F398\_0196 – tipo de piso: asfalto.

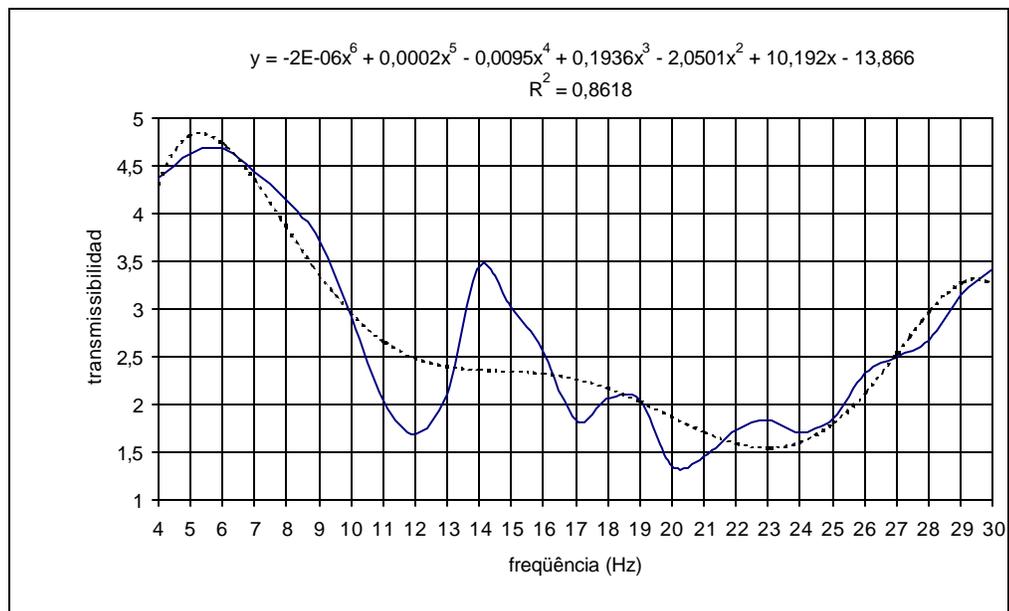


FIGURA AP4.26 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus.  
Veículo: F398\_0196 – tipo de piso: asfalto irregular.

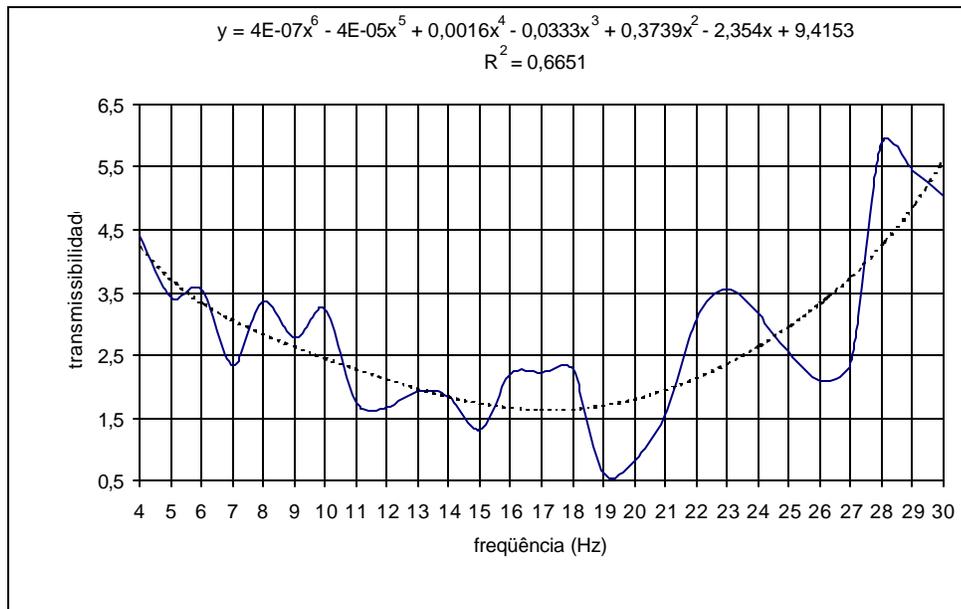


FIGURA AP4.27 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus.  
Veículo: F398\_0196 – tipo de piso: paralelepípedo.

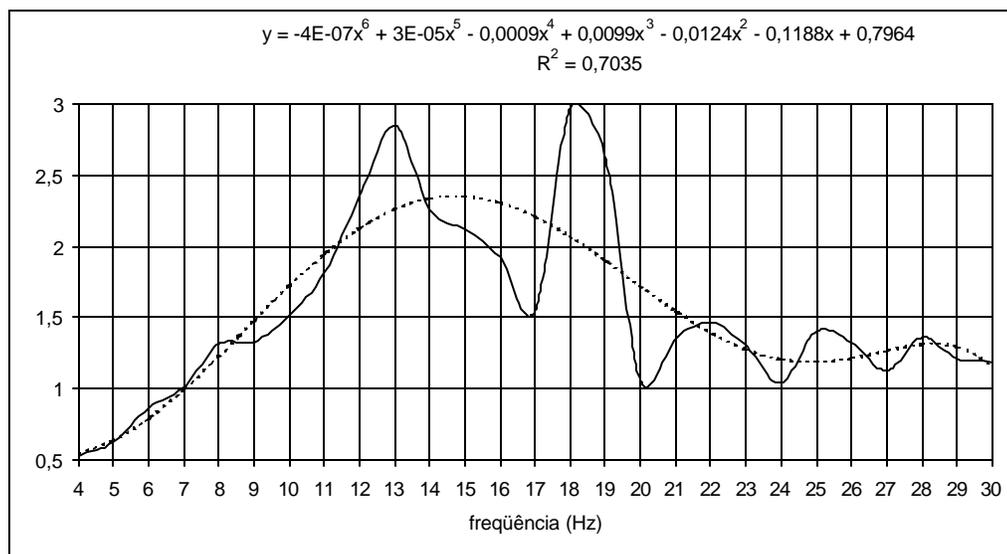


FIGURA AP4.28 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus.  
Veículo: F398\_0199 – tipo de piso: asfalto.

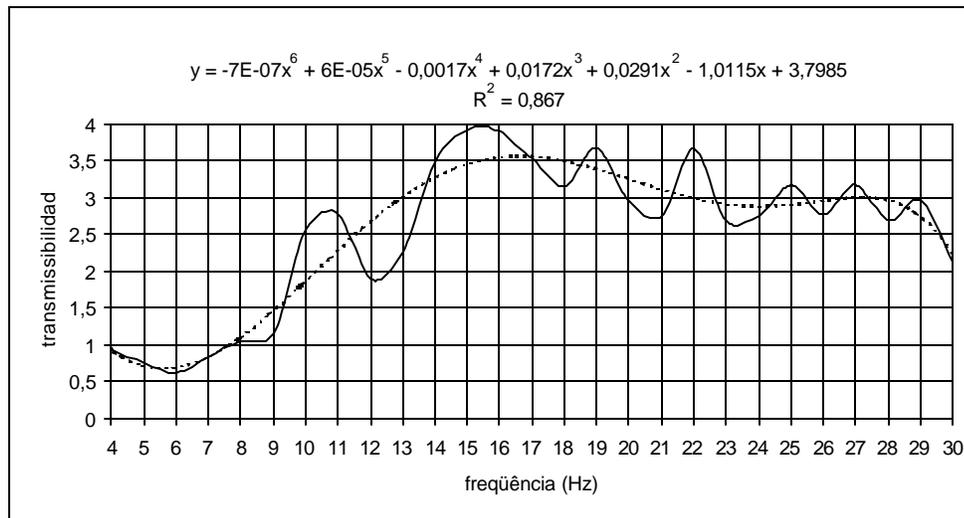


FIGURA AP4.29 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus.  
Veículo: F398\_0199 – tipo de piso: asfalto irregular.

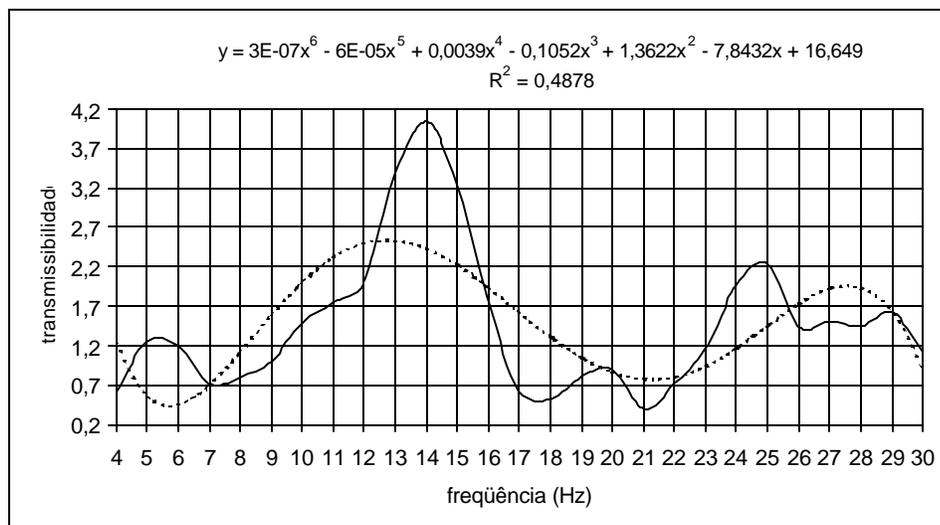


FIGURA AP4.30 – Transmissibilidade entre o assento do motorista e piso do ônibus.  
Veículo: F398\_0199 – tipo de piso: paralelepípedo.

### Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus.

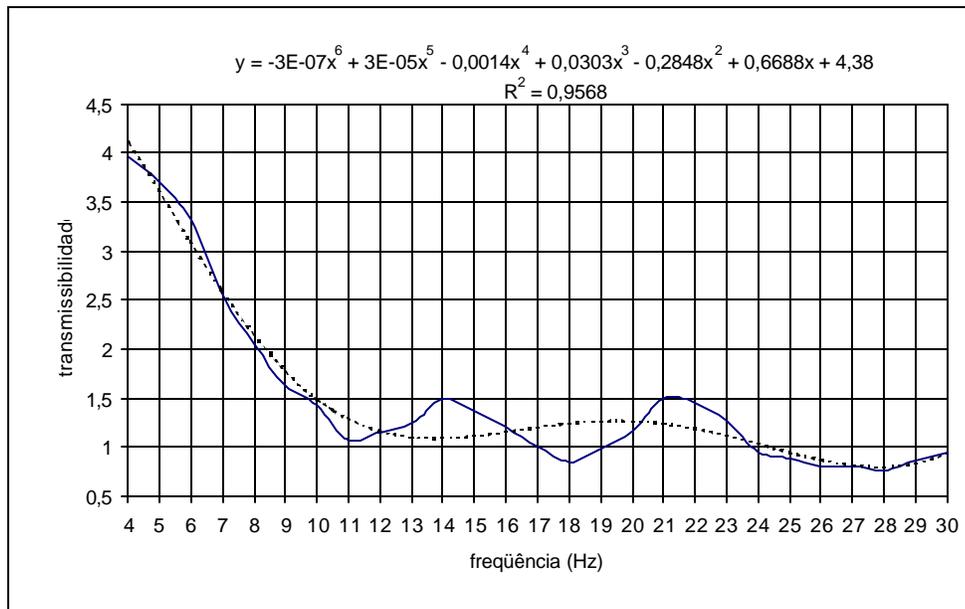


FIGURA AP4.31 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F197 – tipo de piso: asfalto.

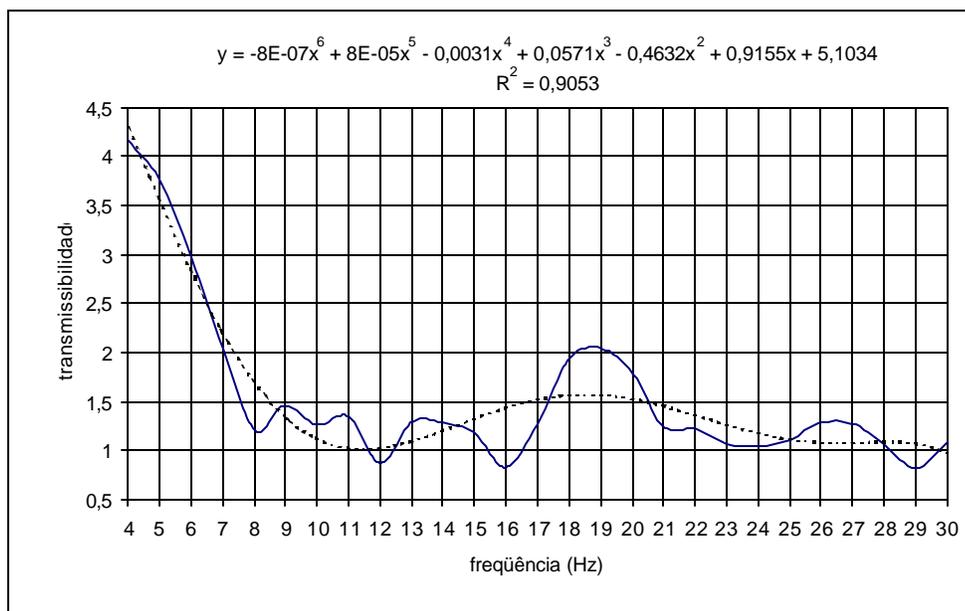


FIGURA AP4.32 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F197 – tipo de piso: asfalto irregular.

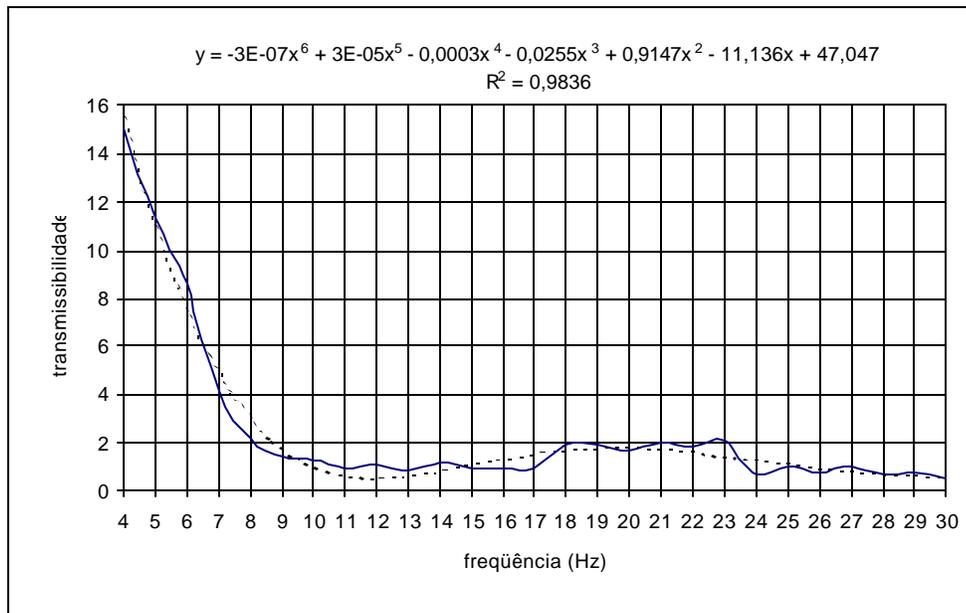


FIGURA AP4.33 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F197 – tipo de piso: paralelepípedo.

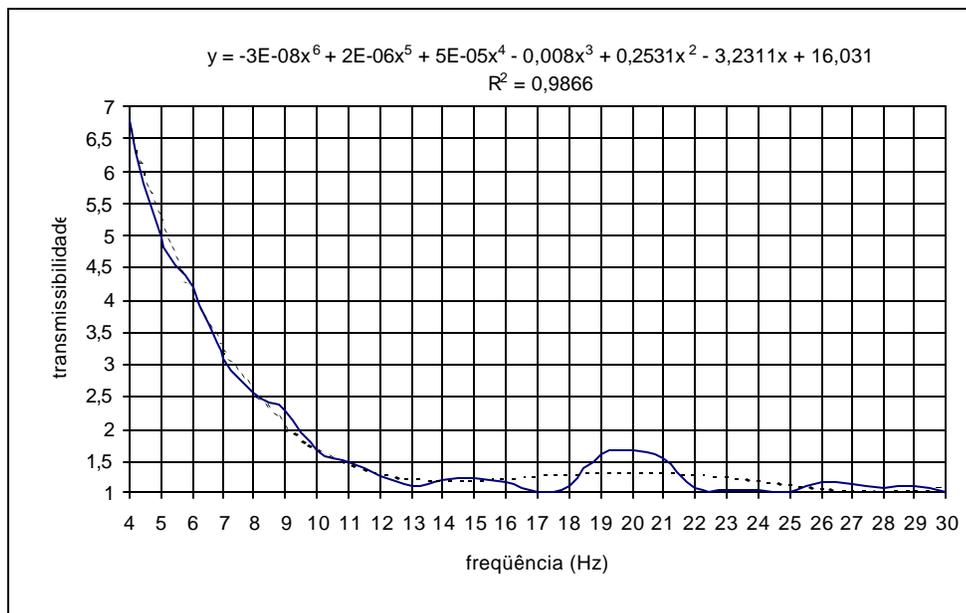


FIGURA AP4.34 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F291\_0051 – tipo de piso: asfalto.

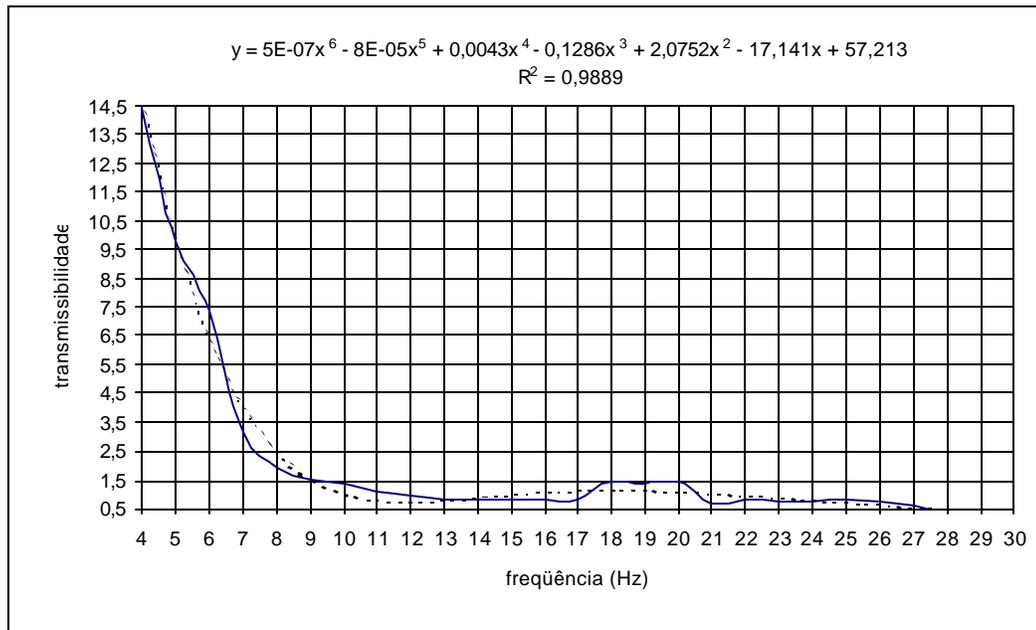


FIGURA AP4.35 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F291\_0051 – tipo de piso: asfalto irregular.

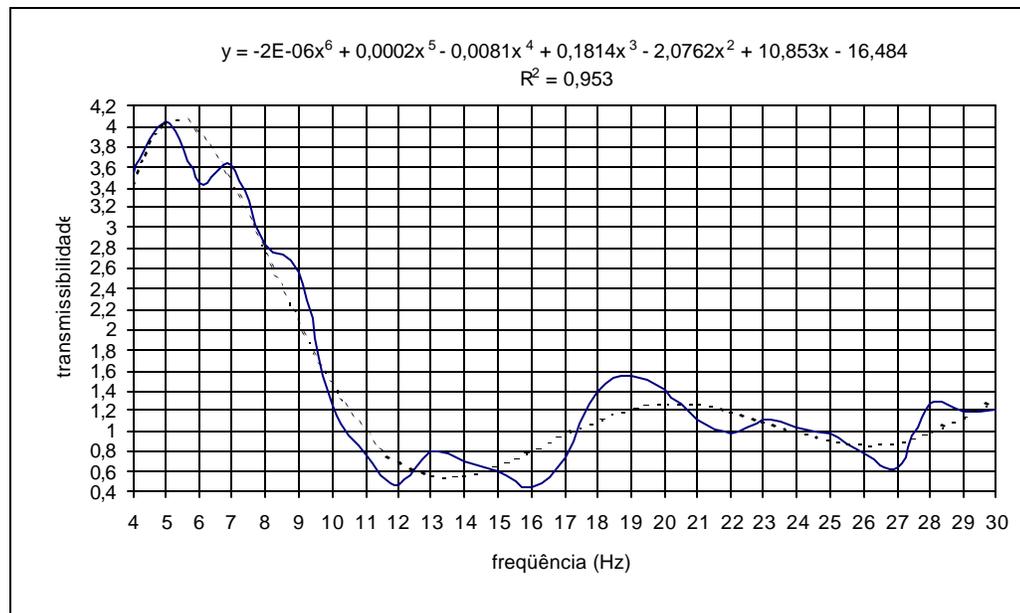


FIGURA AP4.36 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F291\_0051 – tipo de piso: paralelepípedo.

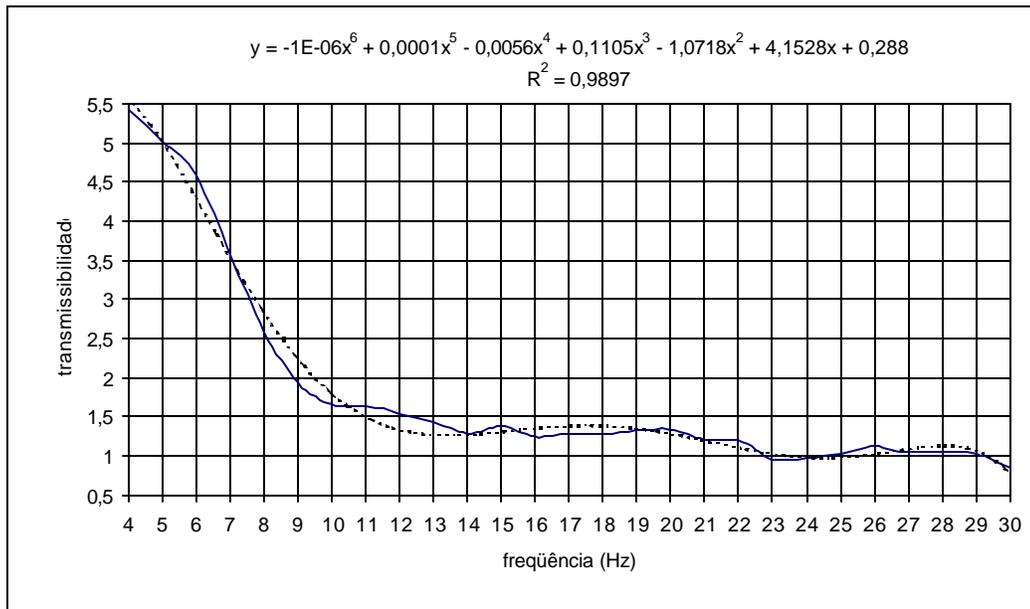


FIGURA AP4.37 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F291\_0056 – tipo de piso: asfalto.

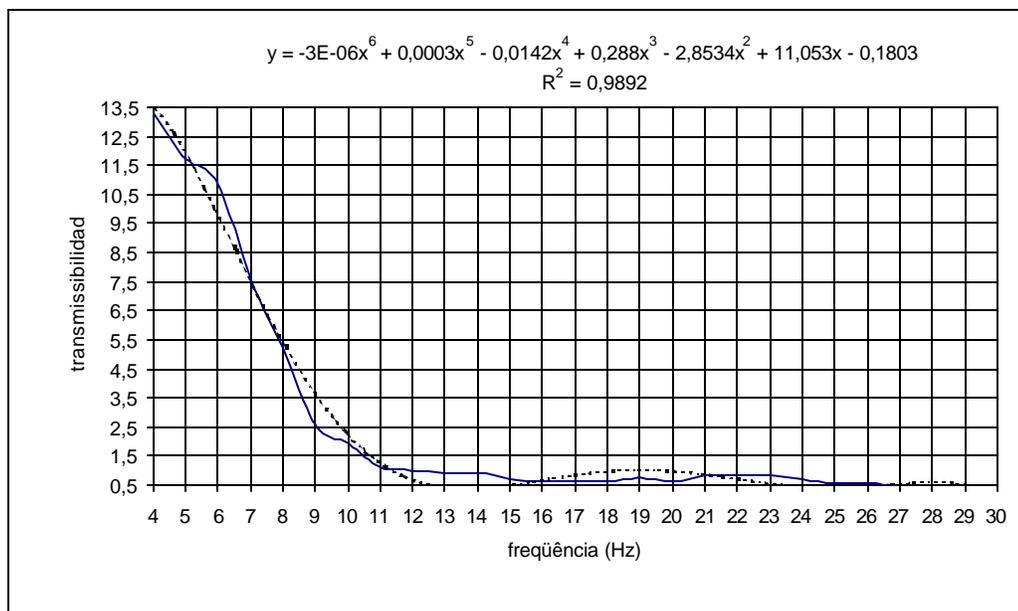


FIGURA AP4.38 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F291\_0056 – tipo de piso: asfalto irregular.

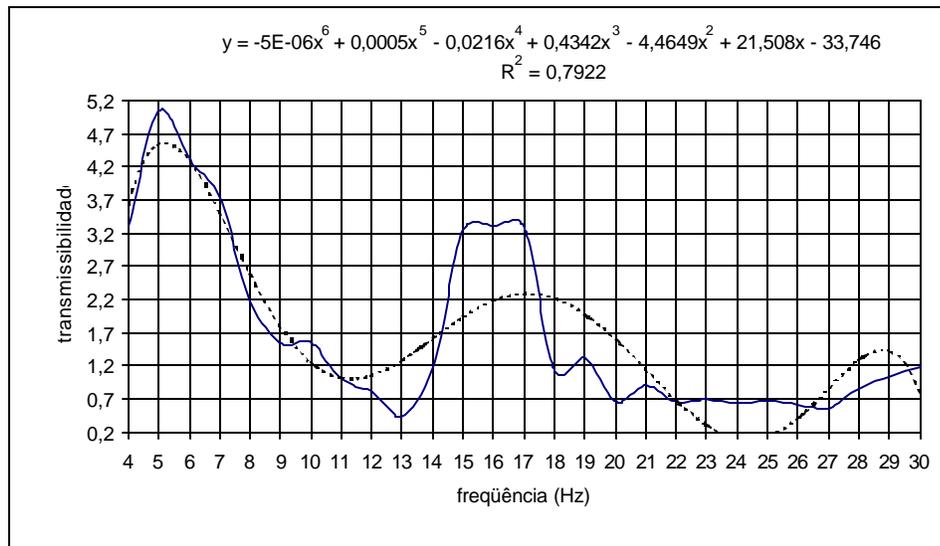


FIGURA AP4.39 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F291\_0056 – tipo de piso: paralelepípedo.

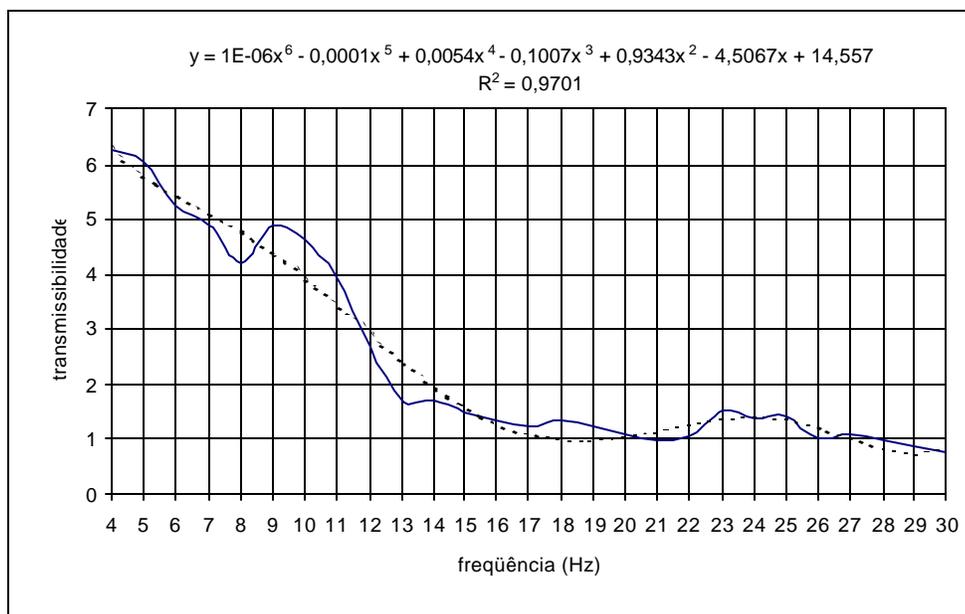


FIGURA AP4.40 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F395\_0264 – tipo de piso: asfalto.

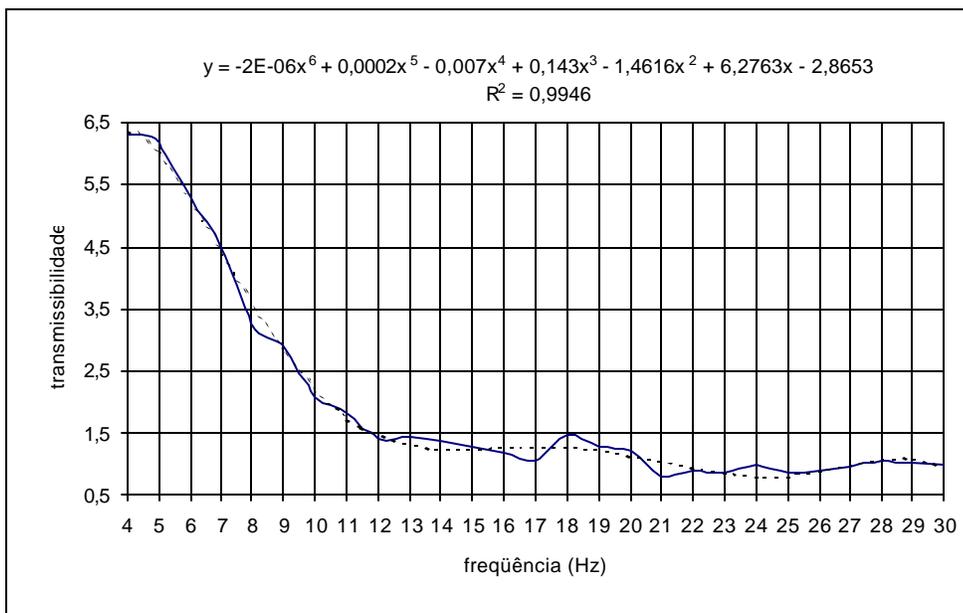


FIGURA AP4.41 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F395\_0264 – tipo de piso: asfalto irregular.

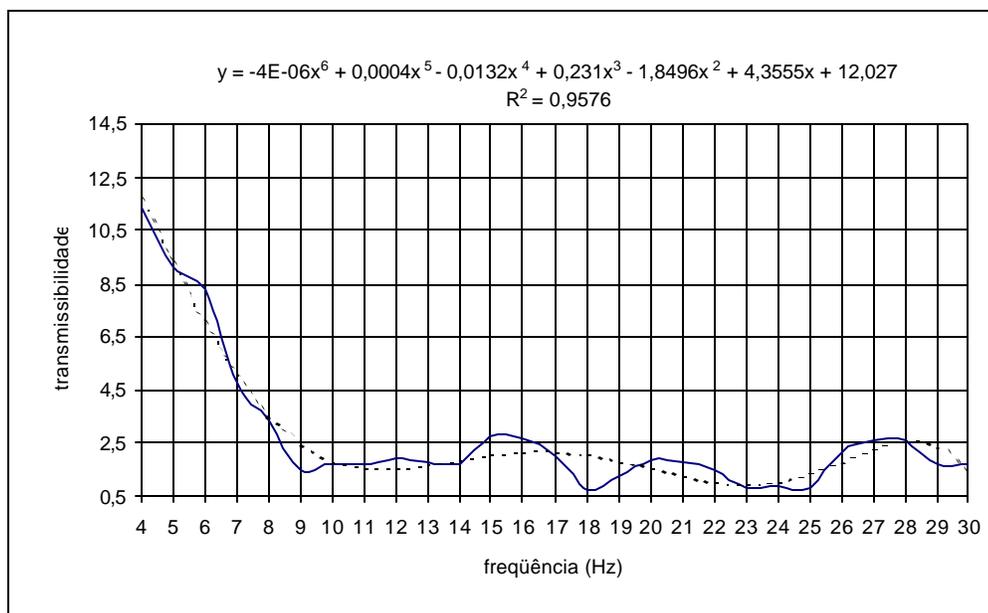


FIGURA AP4.42 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F395\_0264 – tipo de piso: paralelepípedo.

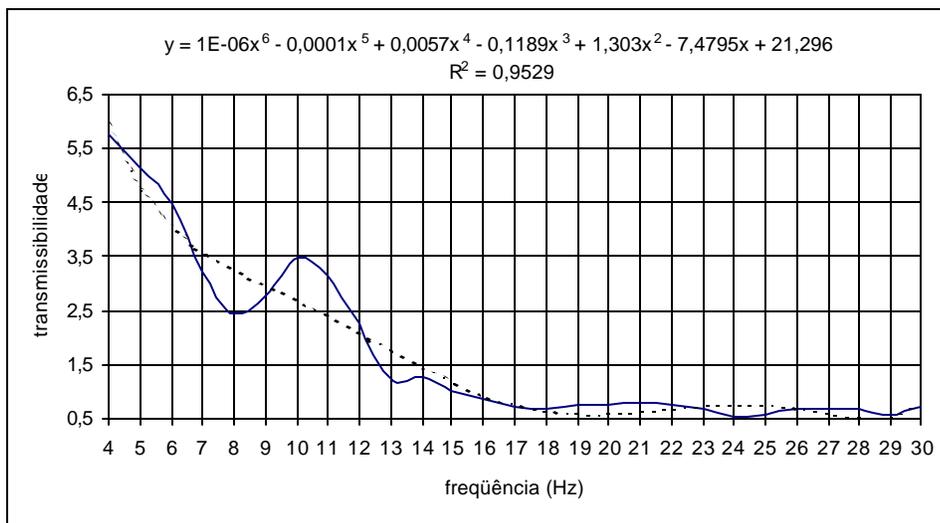


FIGURA AP4.43 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F395\_0268 – tipo de piso: asfalto.

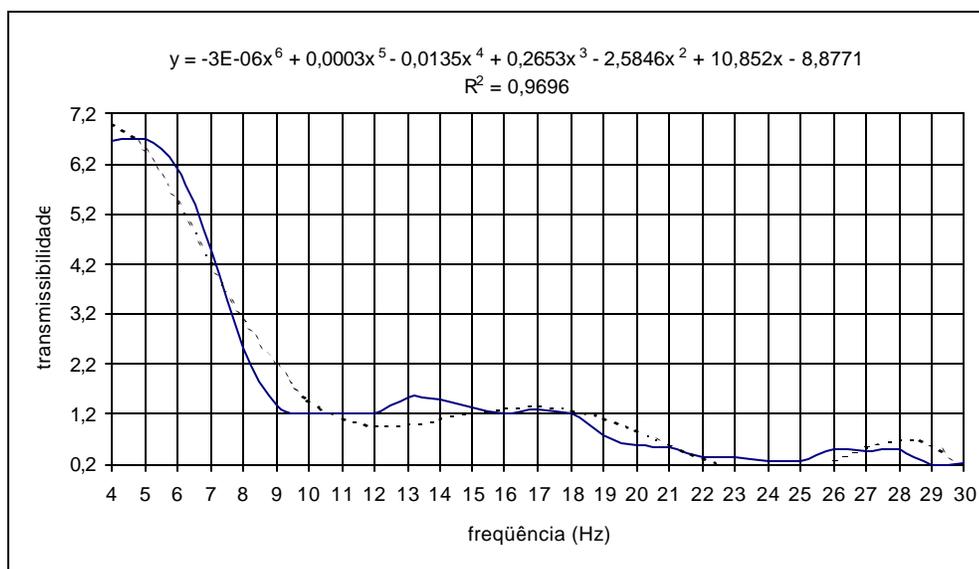


FIGURA AP4.44 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F395\_0268 – tipo de piso: asfalto irregular.

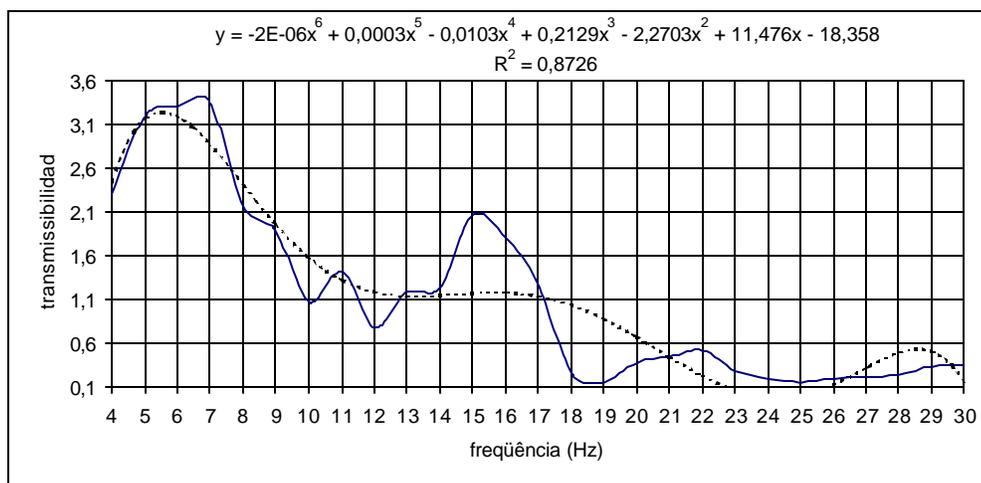


FIGURA AP4.45 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F395\_0268 – tipo de piso: paralelepípedo.

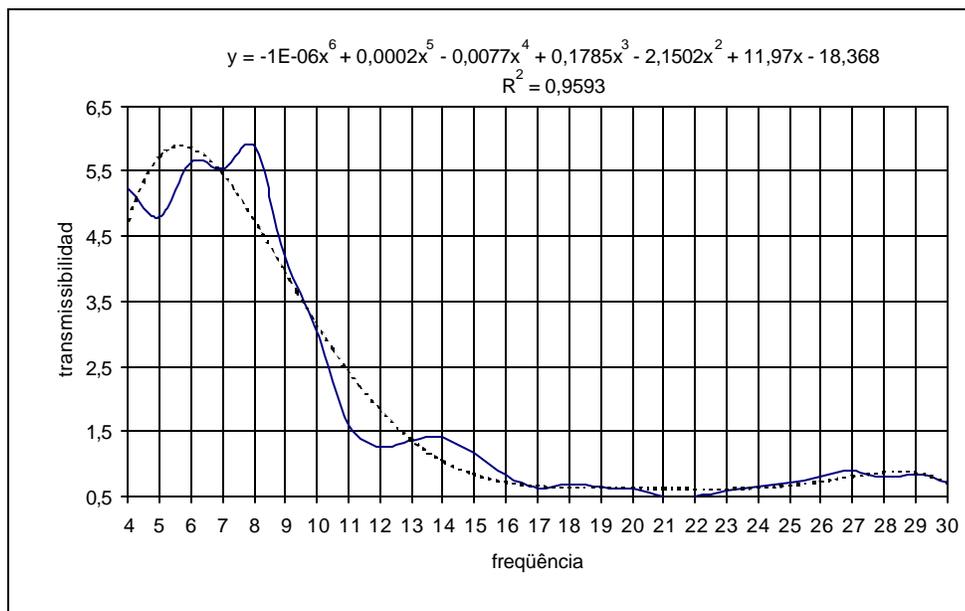


FIGURA AP4.46 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F398\_0196 – tipo de piso: asfalto.

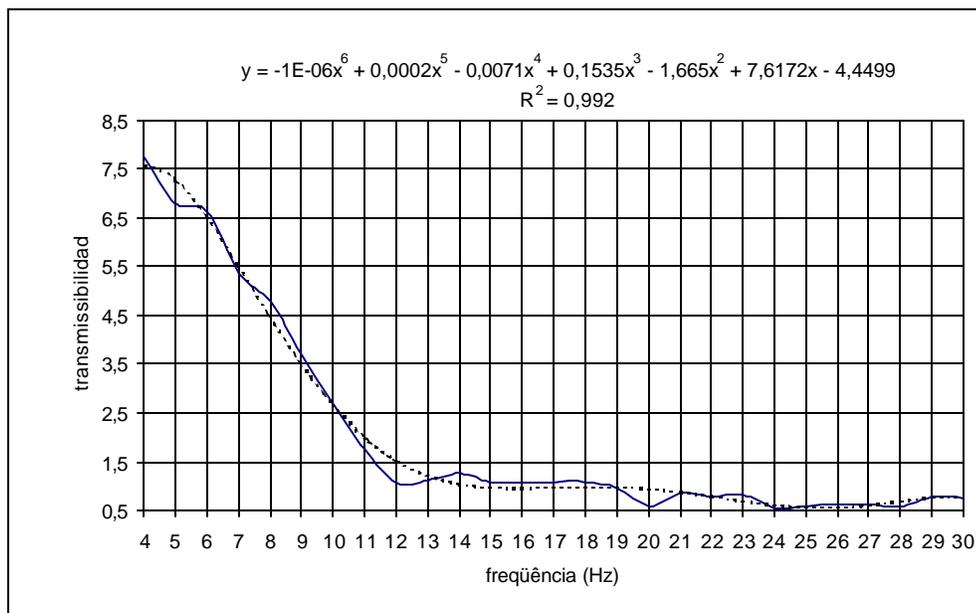


FIGURA AP4.47 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F398\_0196 – tipo de piso: asfalto irregular.

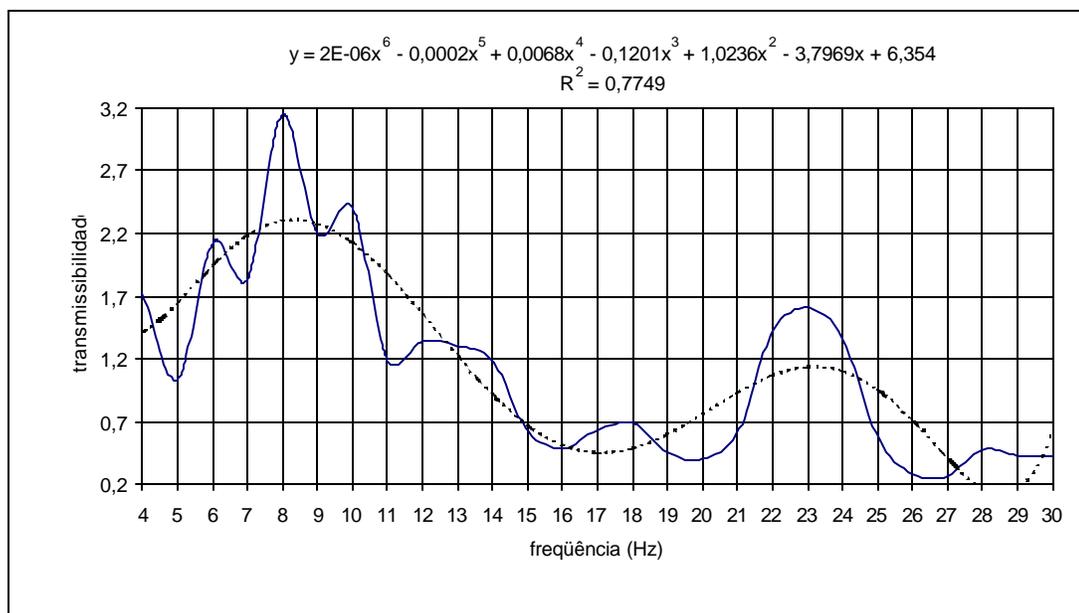


FIGURA AP4.48 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F398\_0196 – tipo de piso: paralelepípedo.

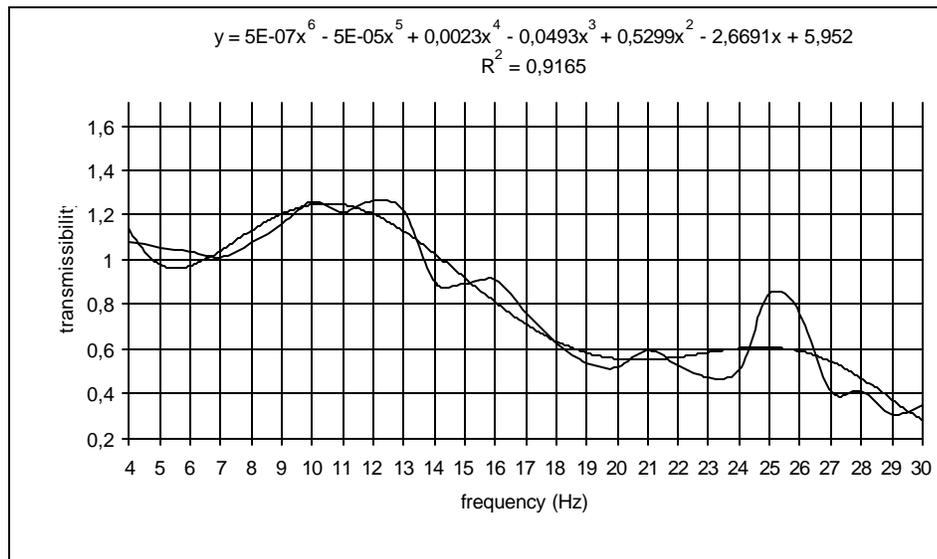


FIGURA AP4.49 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F398\_0199 – tipo de piso: asfalto.

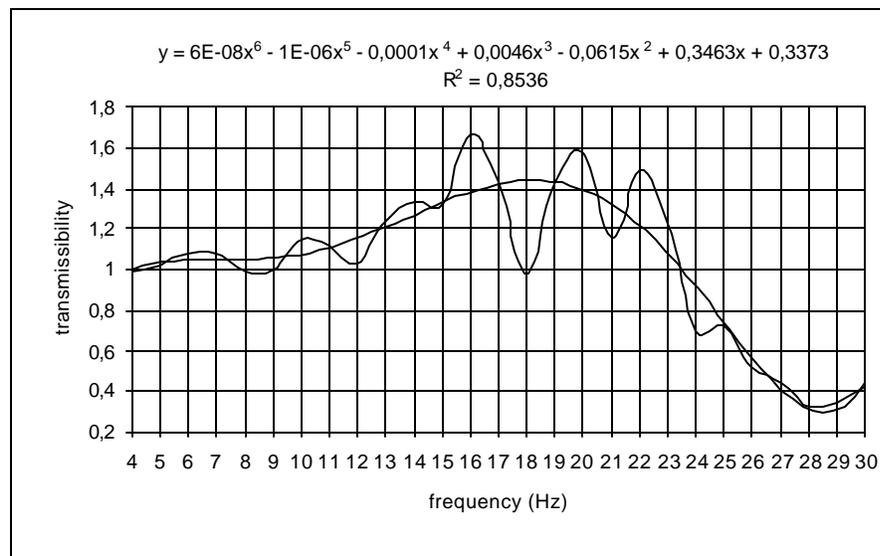


FIGURA AP4.50 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F398\_0199 – tipo de piso: asfalto irregular.

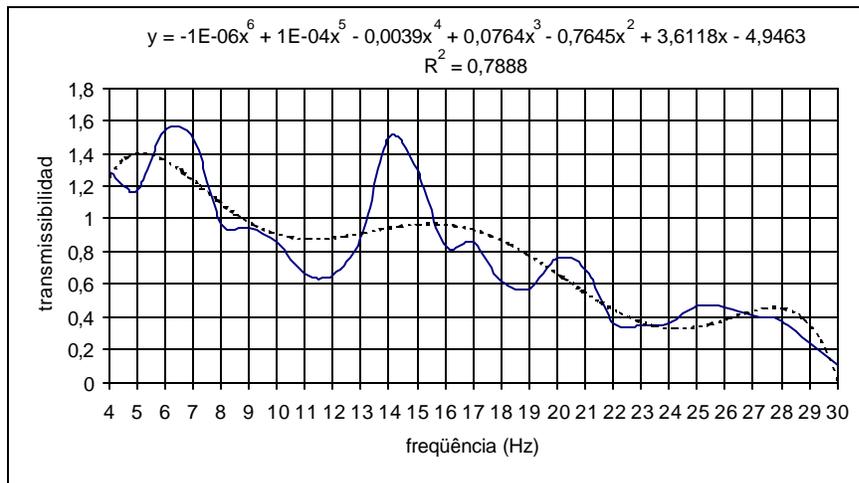


FIGURA AP4.51 – Transmissibilidade entre o ombro do motorista e piso do ônibus. Veículo: F398\_0199 – tipo de piso: paralelepípedo.

**Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista.**

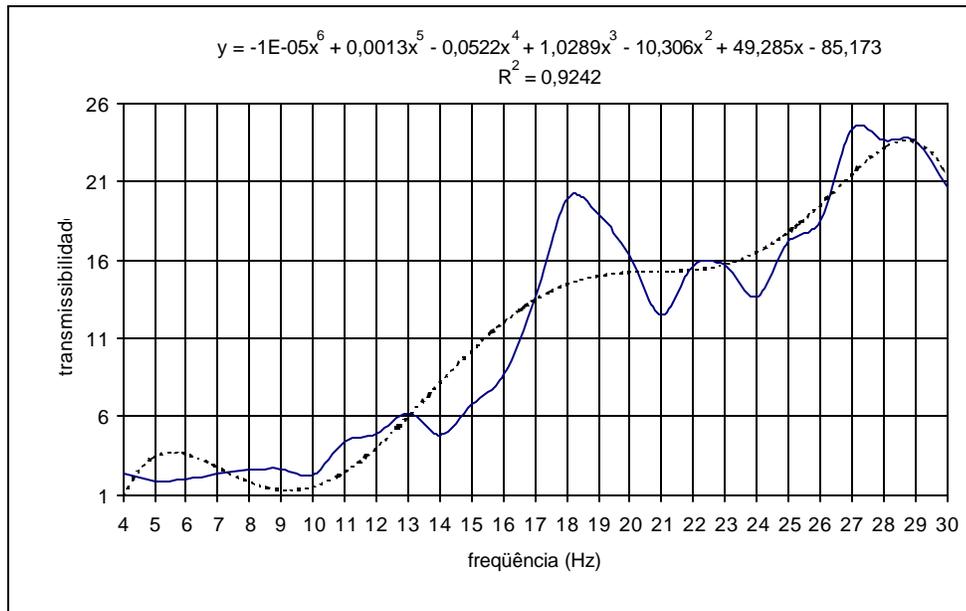


FIGURA AP4.52 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F197 – tipo de piso: asfalto.

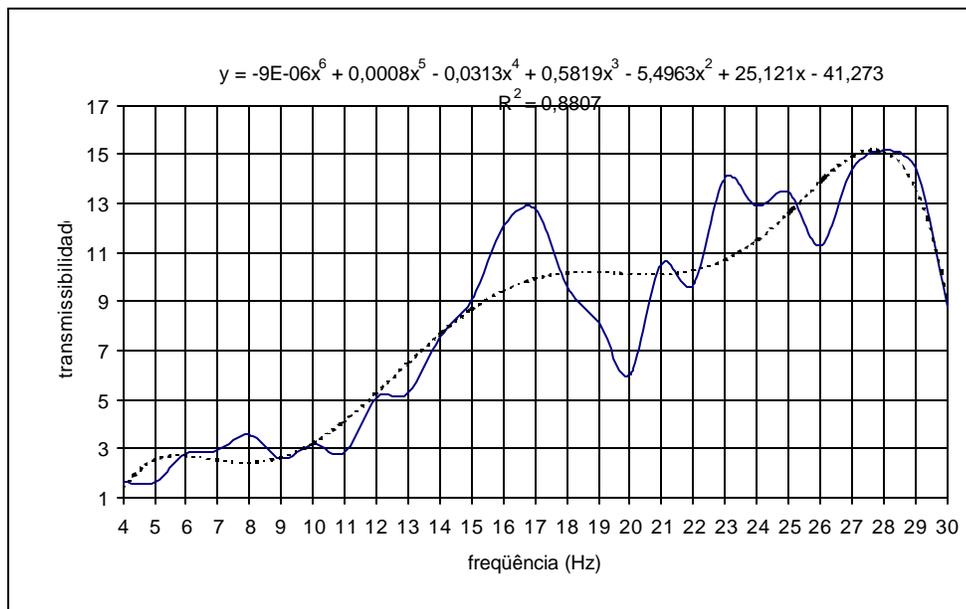


FIGURA AP4.53 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F197 – tipo de piso: asfalto irregular.

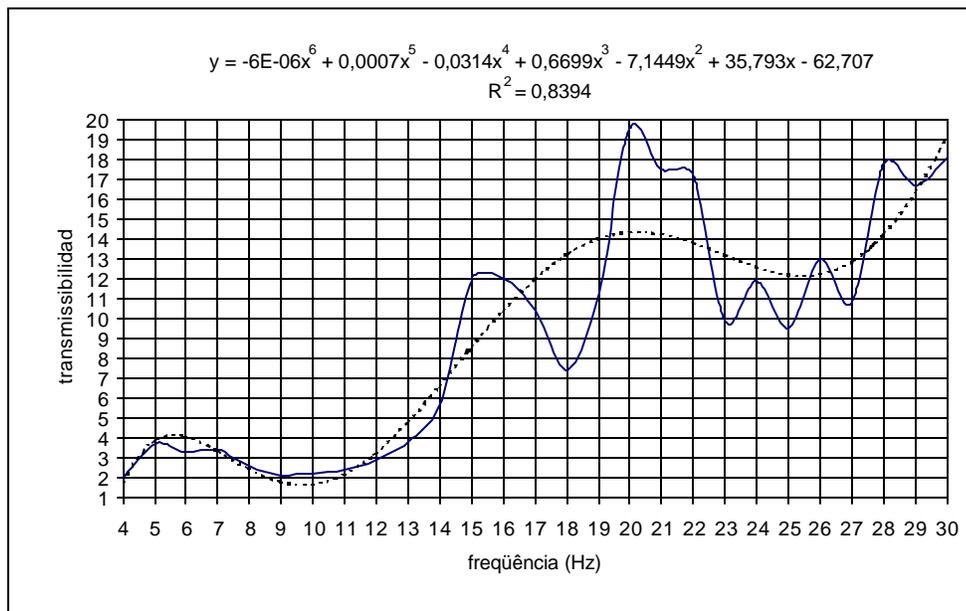


FIGURA AP4.54 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F197 – tipo de piso: paralelepípedo.

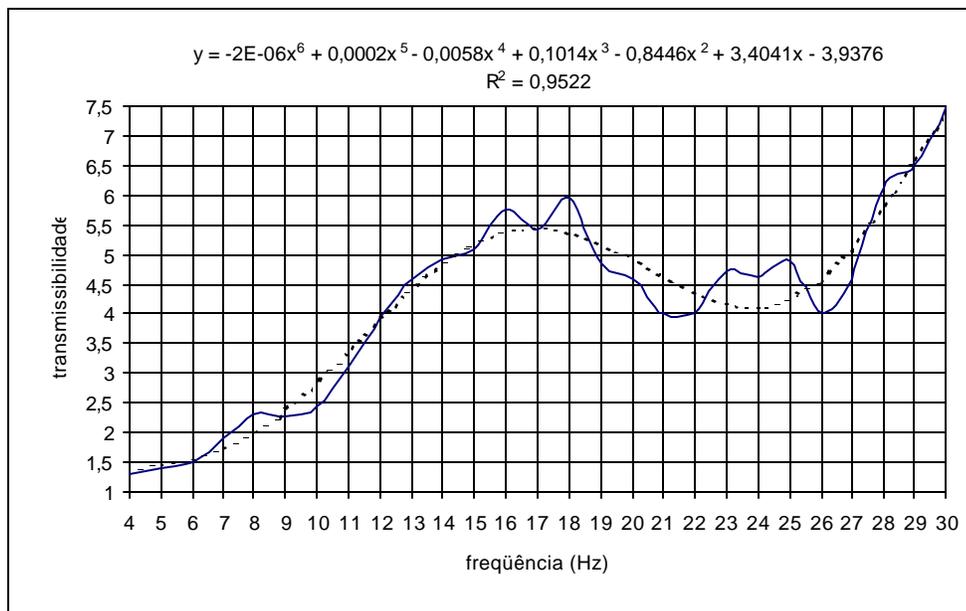


FIGURA AP4.55 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F291\_0051 – tipo de piso: asfalto.

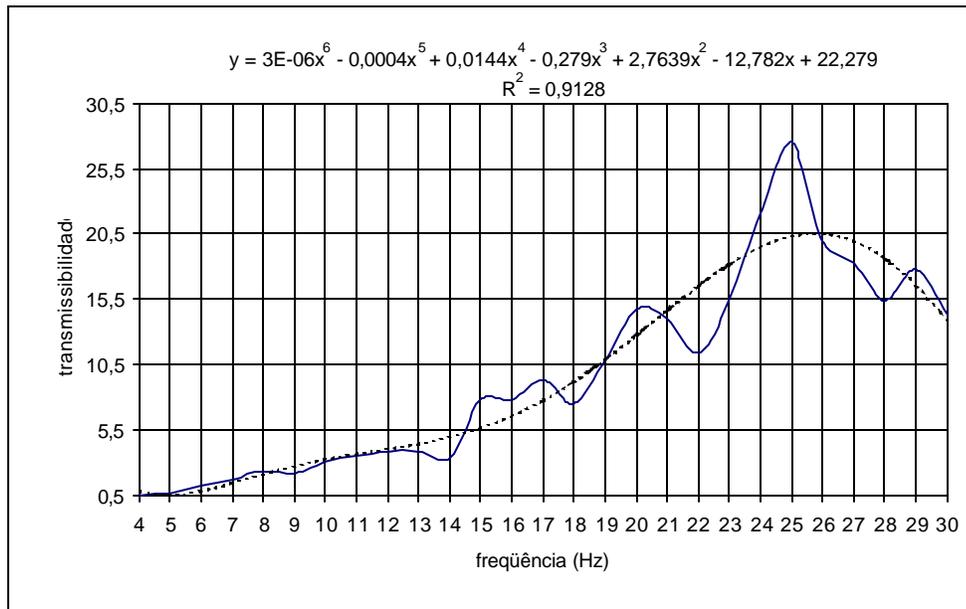


FIGURA AP4.56 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F291\_0051 – tipo de piso: asfalto irregular.

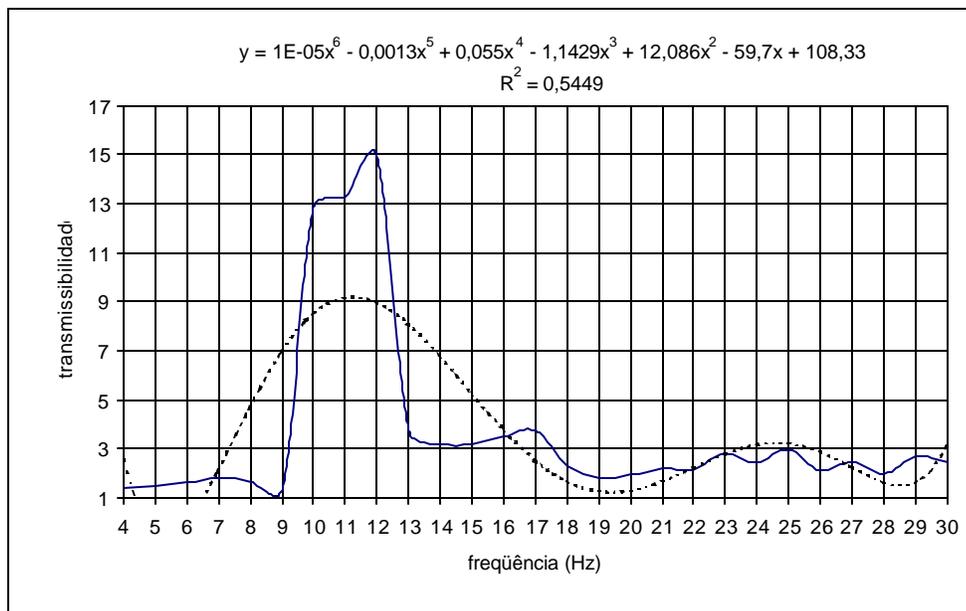


FIGURA AP4.57 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F291\_0051 – tipo de piso: paralelepípedo.

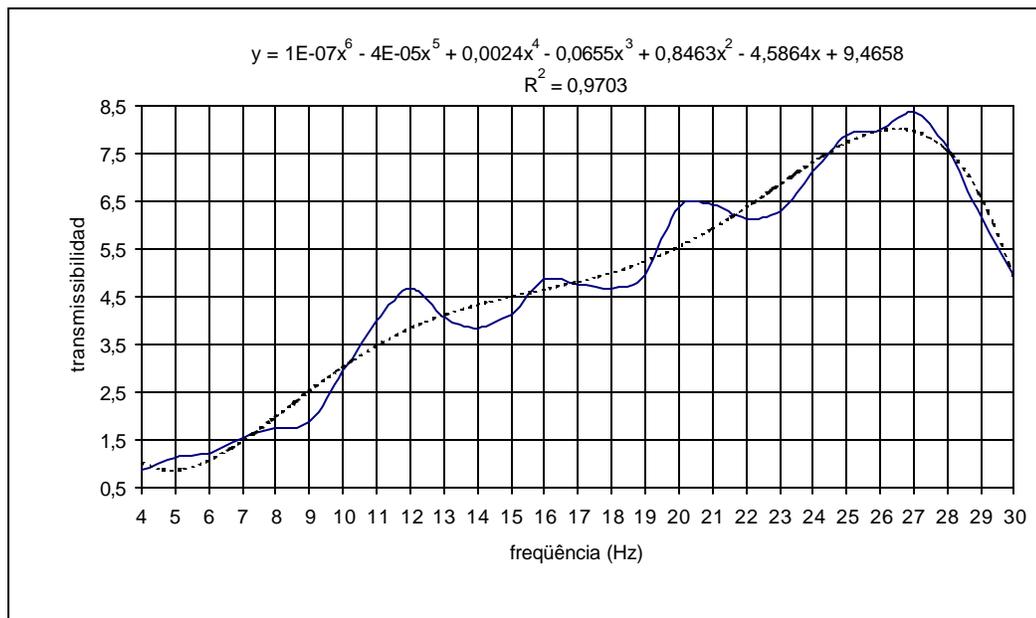


FIGURA AP4.58 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F291\_0056 – tipo de piso: asfalto.

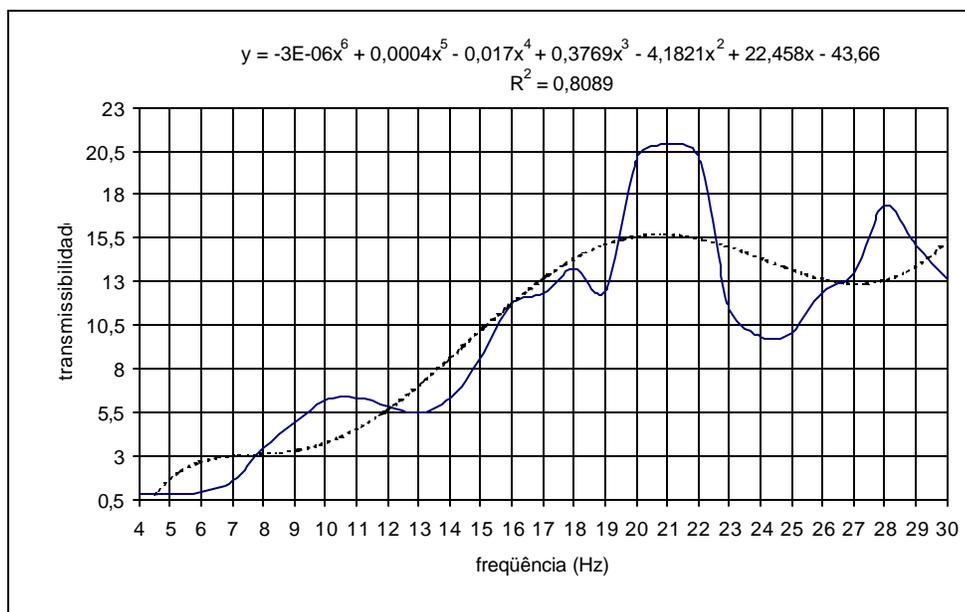


FIGURA AP4.59 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F291\_0056 – tipo de piso: asfalto irregular.

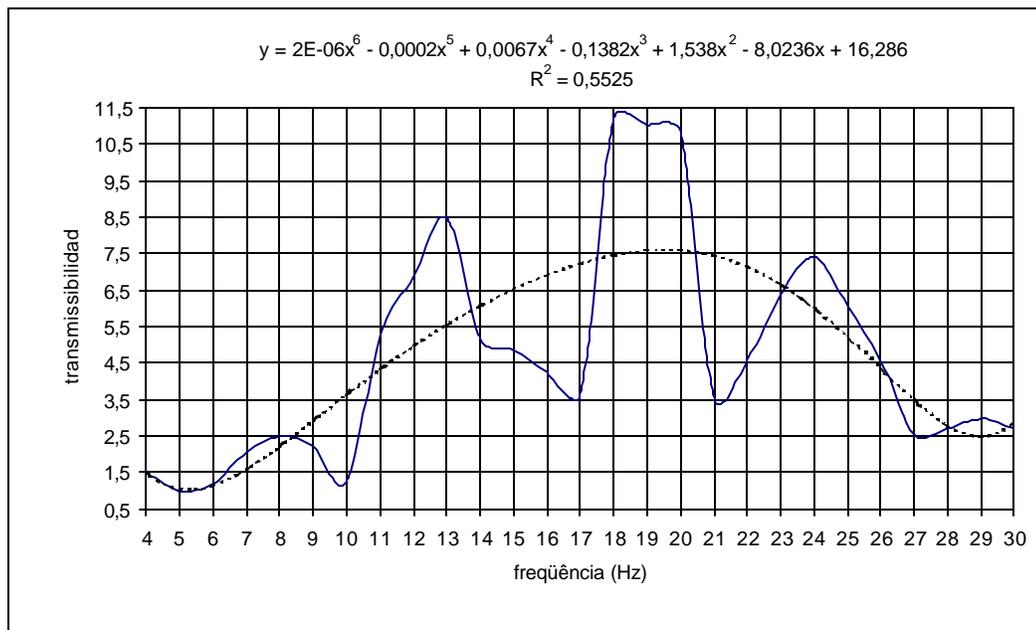


FIGURA AP4.60 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F291\_0056 – tipo de piso: paralelepípedo.

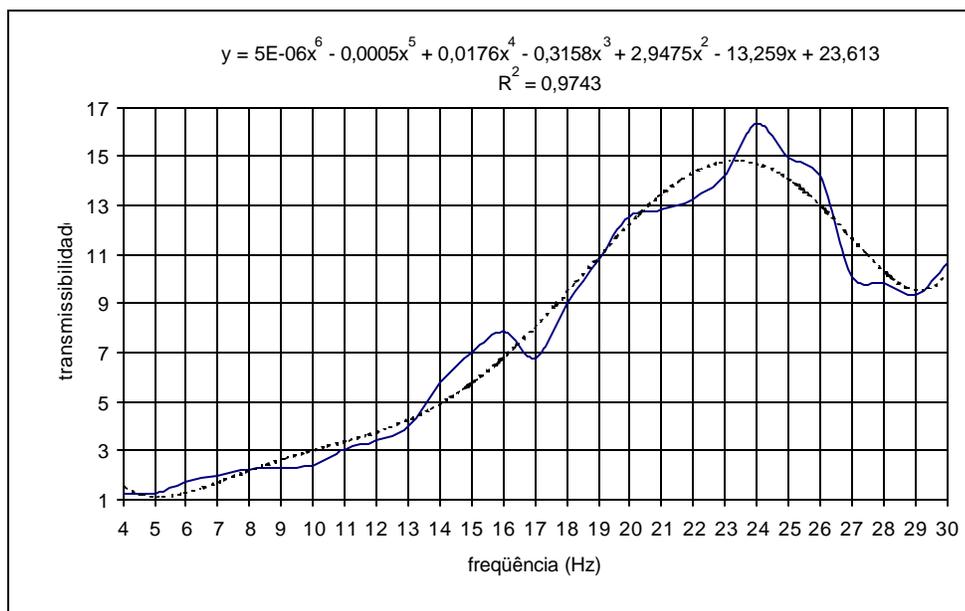


FIGURA AP4.61 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F395\_0264 – tipo de piso: asfalto.

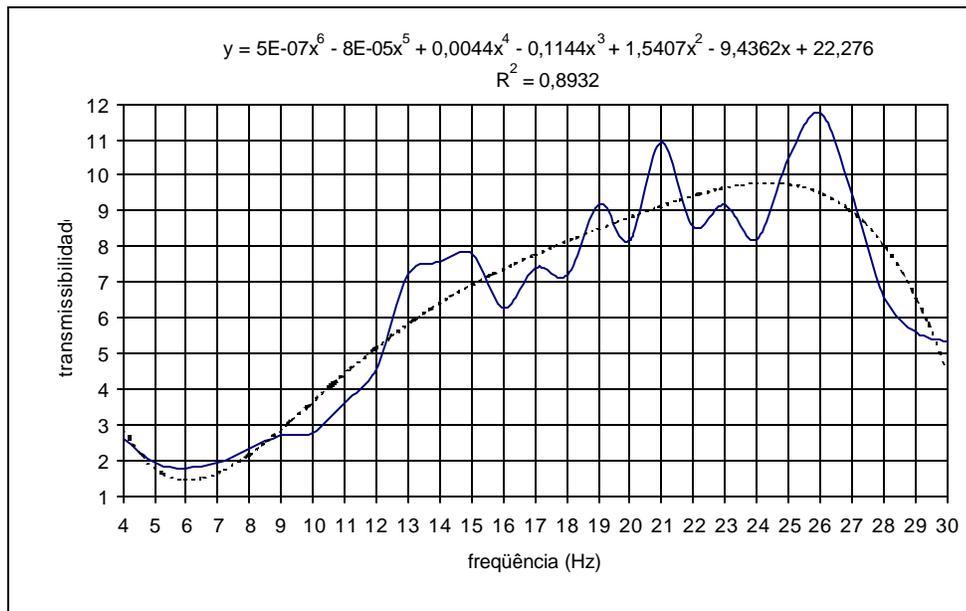


FIGURA AP4.62 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F395\_0264 – tipo de piso: asfalto irregular.

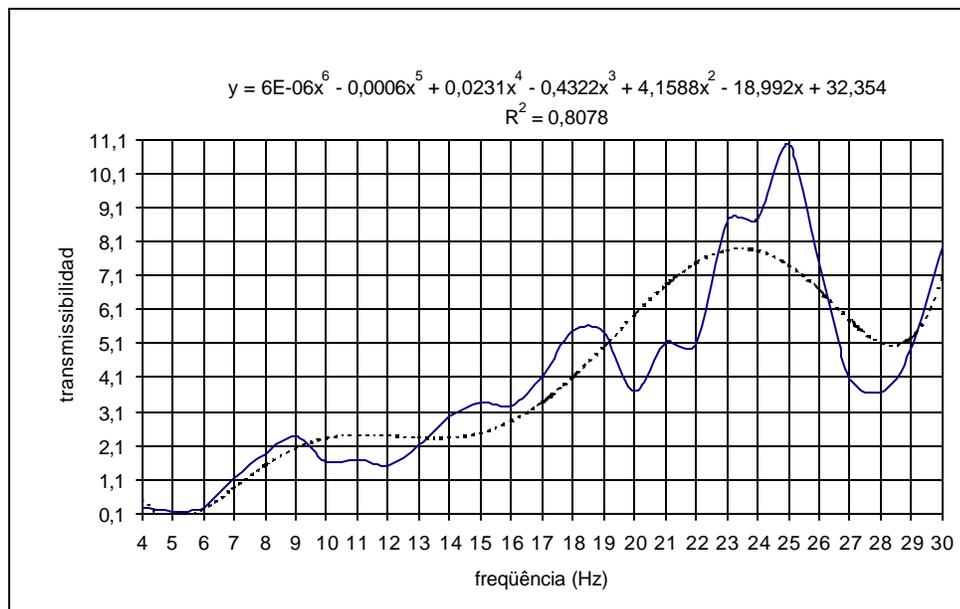


FIGURA AP4.63 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F395\_0264 – tipo de piso: paralelepípedo.

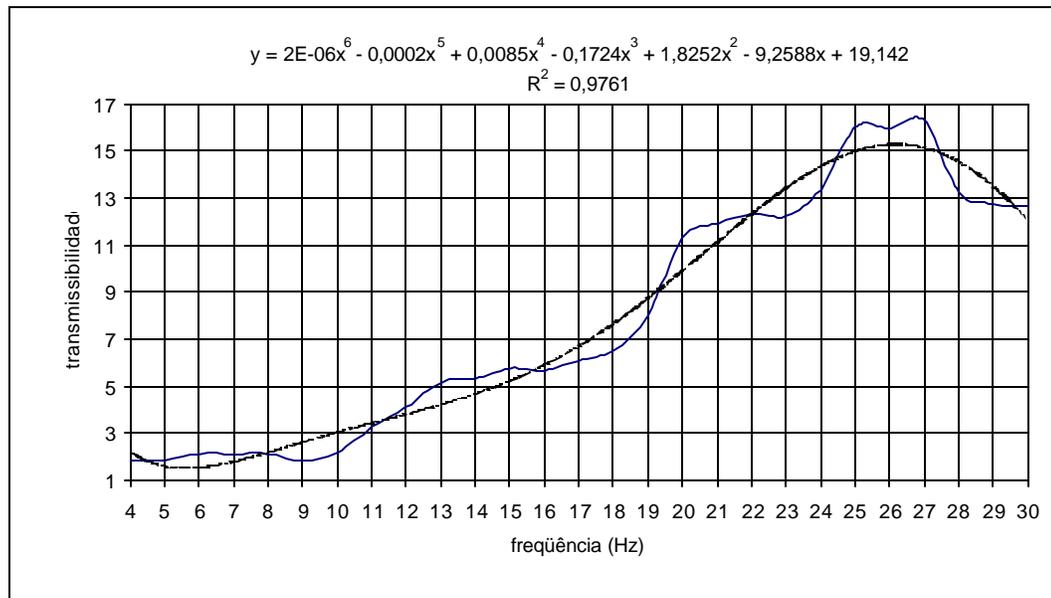


FIGURA AP4.64 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F395\_0268 – tipo de piso: asfalto.

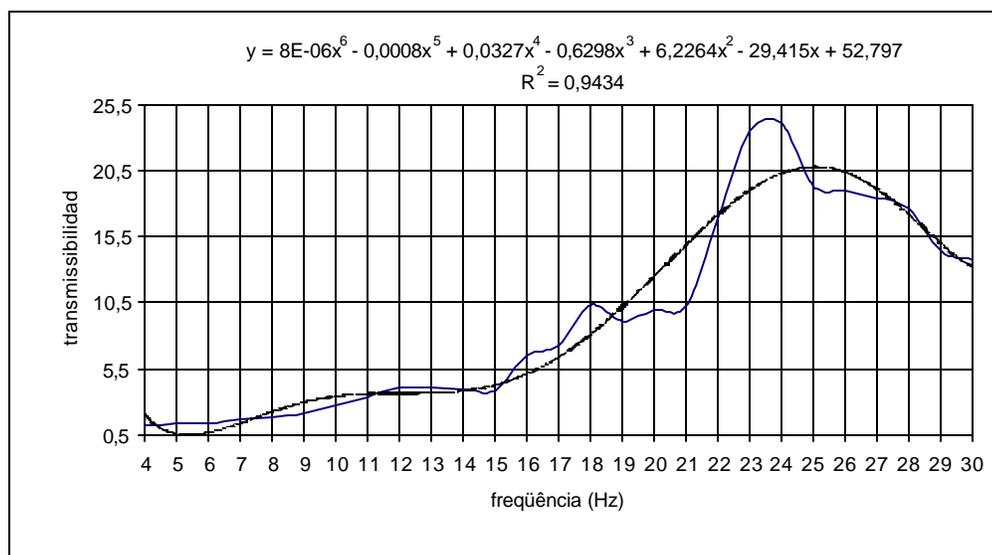


FIGURA AP4.65 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F395\_0268 – tipo de piso: asfalto irregular.

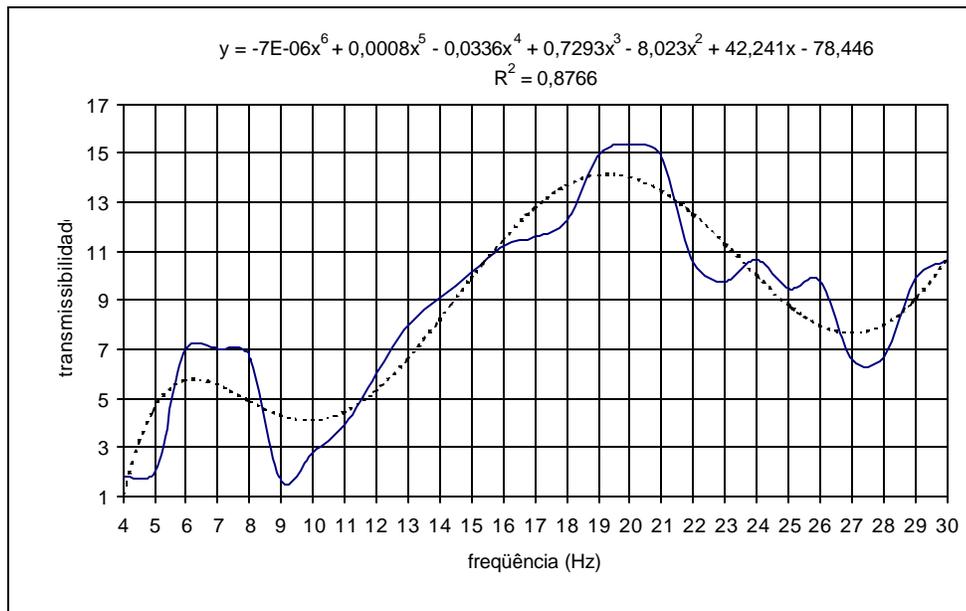


FIGURA AP4.66 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F398\_0196 – tipo de piso: asfalto.

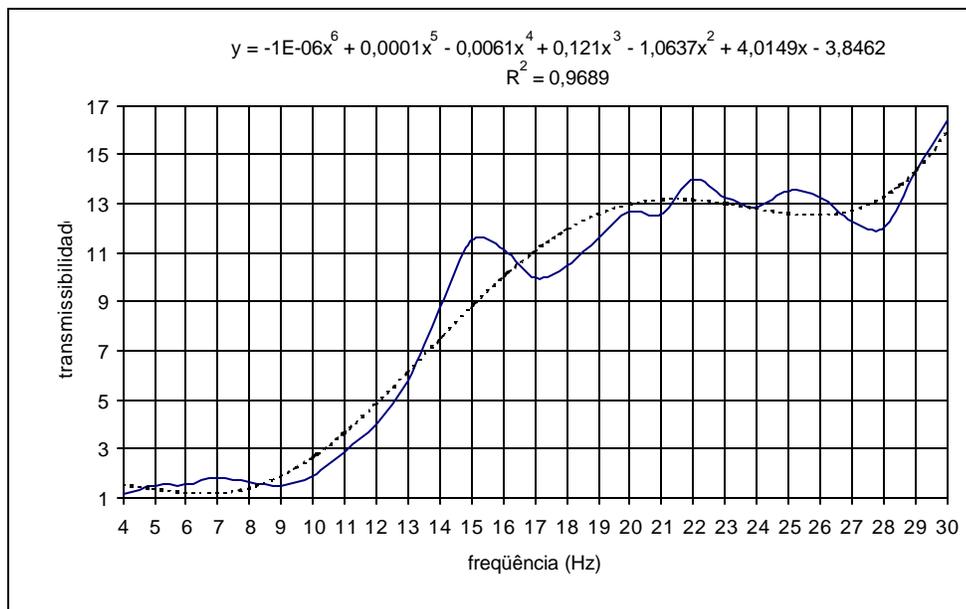


FIGURA AP4.67 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F398\_0196 – tipo de piso: asfalto irregular.

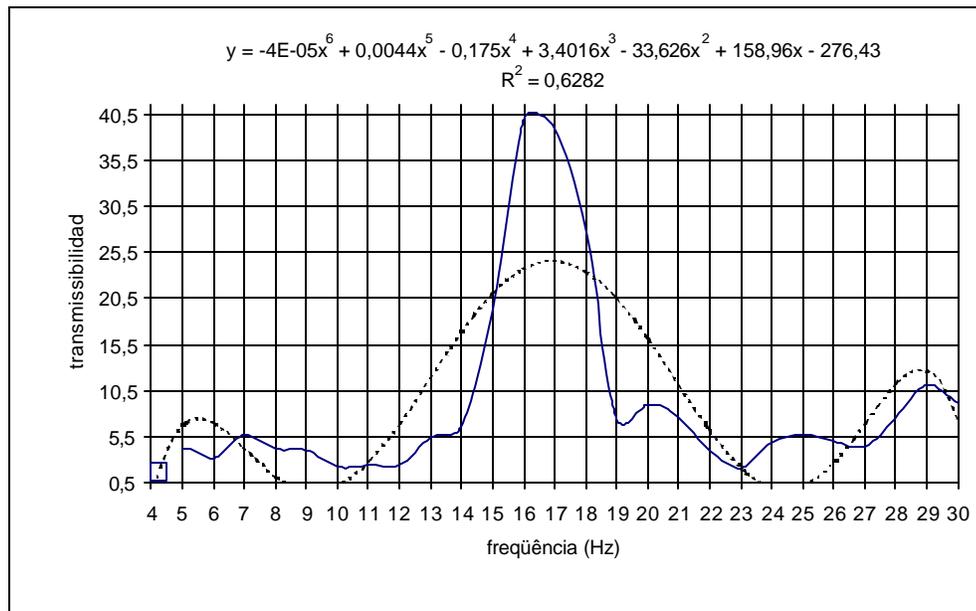


FIGURA AP4.68 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F398\_0196 – tipo de piso: paralelepípedo.

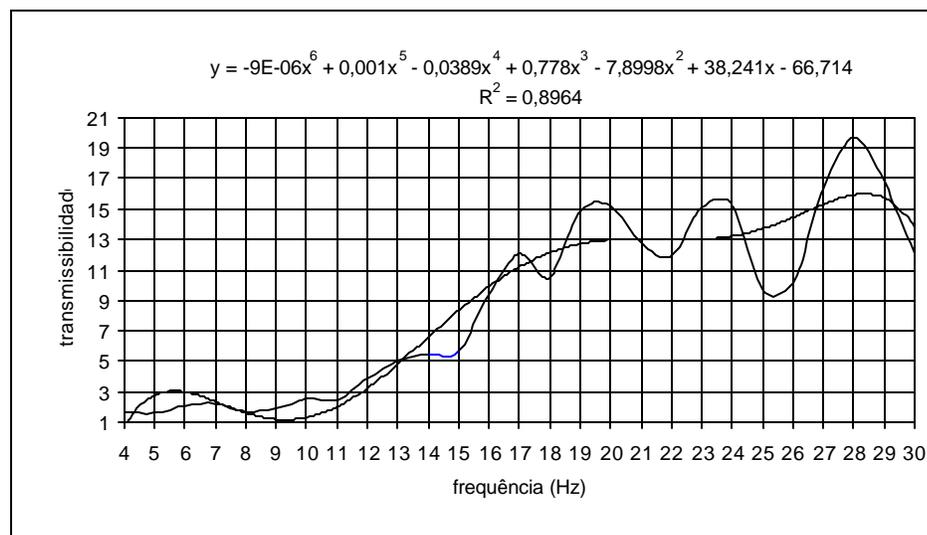


FIGURA AP4.69 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F398\_0199 – tipo de piso: asfalto.

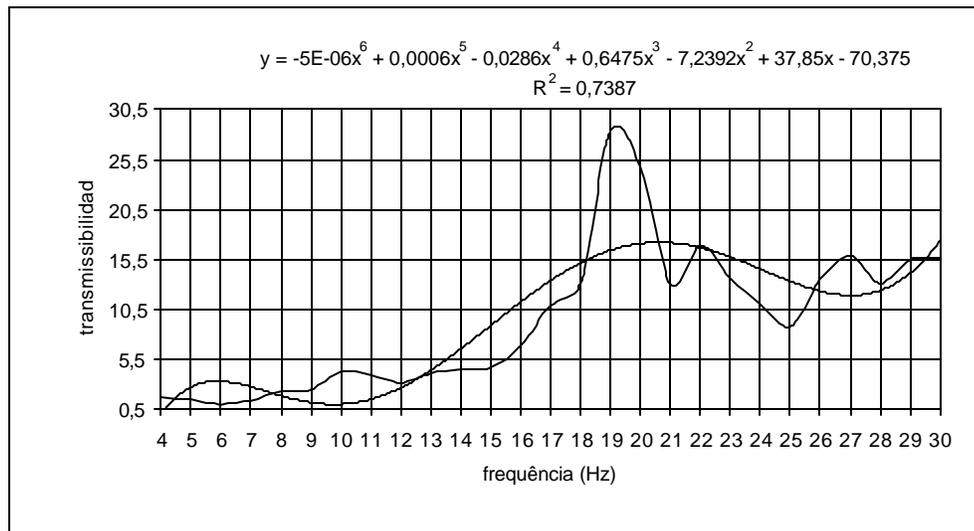


FIGURA AP4.70 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F398\_0199 – tipo de piso: asfalto irregular.

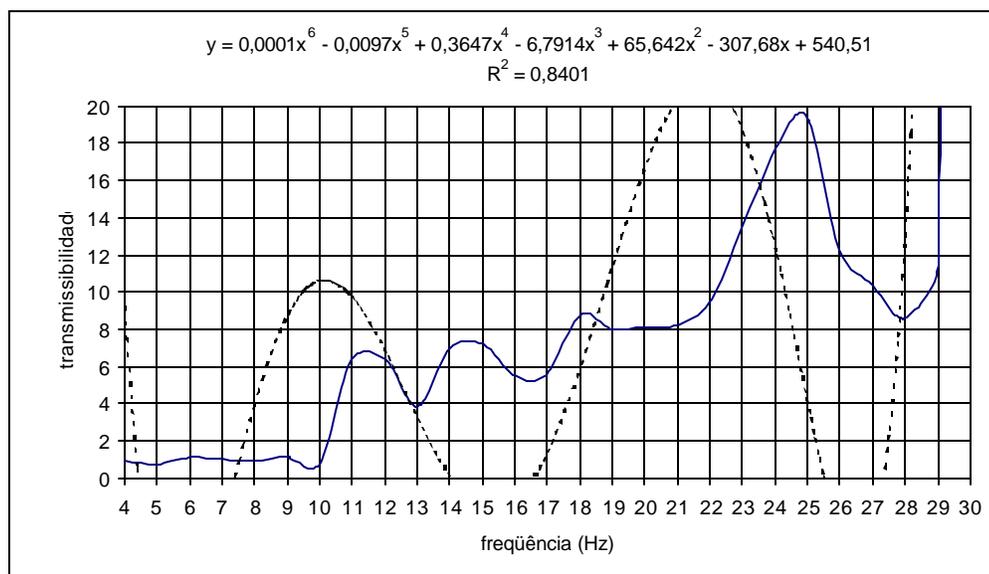


FIGURA AP4.71 – Transmissibilidade entre o pulso do motorista e o ombro do motorista. Veículo: F398\_0199 – tipo de piso: paralelepípedo.

TABELA AP4.1 – Desvio padrões das transmissibilidades médias – veículo F395\_Prefixo: 0264.

Faixa de frequência (Hz)	Veículo F395_Prefixo: 0264								
	Desvio Padrão								
	Pulso/ombro			Assento/piso			Ombro/piso		
	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo
4	0,67	5,35	xxxx	6,80	4,06	xxxx	7,79	7,23	xxxx
5	0,98	1,11	xxxx	4,70	1,74	xxxx	5,52	5,87	xxxx
6	3,02	1,00	xxxx	2,63	1,65	xxxx	3,57	3,01	xxxx
7	2,51	5,41	xxxx	4,09	2,07	xxxx	6,33	3,43	xxxx
8	1,44	2,21	xxxx	1,86	0,78	xxxx	2,94	1,33	xxxx
9	1,98	1,99	xxxx	5,43	2,34	xxxx	7,20	2,15	xxxx
10	1,74	2,74	xxxx	8,55	0,50	xxxx	8,17	1,17	xxxx
11	2,51	4,53	xxxx	1,20	3,90	xxxx	1,10	1,41	xxxx
12	3,43	9,53	xxxx	1,38	1,09	xxxx	1,83	0,66	xxxx
13	2,83	21,04	xxxx	1,07	3,28	xxxx	4,10	2,06	xxxx
14	21,46	4,71	xxxx	1,90	1,54	xxxx	1,59	1,26	xxxx
15	11,48	3,94	xxxx	1,34	1,61	xxxx	0,91	0,72	xxxx
16	6,93	10,38	xxxx	3,94	1,87	xxxx	2,41	1,05	xxxx
17	5,28	8,96	xxxx	1,85	1,21	xxxx	1,39	0,79	xxxx
18	18,22	3,24	xxxx	1,72	4,50	xxxx	1,87	3,04	xxxx
19	12,66	12,51	xxxx	1,17	0,66	xxxx	0,85	0,46	xxxx
20	20,12	3,88	xxxx	1,94	0,65	xxxx	0,66	0,69	xxxx
21	22,69	21,26	xxxx	3,22	1,37	xxxx	1,20	0,35	xxxx
22	24,95	4,47	xxxx	1,11	1,20	xxxx	1,49	0,61	xxxx
23	21,13	7,86	xxxx	1,28	0,73	xxxx	5,59	0,57	xxxx
24	50,89	14,77	xxxx	0,61	1,07	xxxx	0,99	1,04	xxxx
25	10,26	16,71	xxxx	0,76	0,41	xxxx	2,33	0,61	xxxx
26	11,94	16,34	xxxx	3,20	0,73	xxxx	1,51	0,57	xxxx
27	7,83	2,82	xxxx	1,87	0,67	xxxx	1,13	1,11	xxxx
28	9,97	4,15	xxxx	0,70	0,88	xxxx	1,45	0,93	xxxx
29	10,14	11,64	xxxx	1,41	0,65	xxxx	0,94	0,56	xxxx
30	14,09	3,98	xxxx	2,31	2,88	xxxx	0,78	0,64	xxxx

TABELA AP4.2 – Desvio padrões das transmissibilidades médias – veículo F291\_Prefixo: 0051.

Faixa de frequência (Hz)	Veículo F291_Prefixo: 0051								
	Desvio Padrão								
	Pulso/ombro			Assento/piso			Ombro/piso		
	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo
4	2,58	0,84	xxxx	4,30	11,67	xxxx	7,25	20,39	xxxx
5	1,15	0,35	xxxx	1,69	1,80	xxxx	2,16	3,24	xxxx
6	2,29	1,32	xxxx	1,57	1,28	xxxx	2,96	1,12	xxxx
7	3,61	1,66	xxxx	5,65	2,11	xxxx	8,97	0,67	xxxx
8	4,52	1,80	xxxx	1,33	1,48	xxxx	1,24	0,74	xxxx
9	1,24	2,20	xxxx	1,89	0,48	xxxx	1,34	0,49	xxxx
10	4,23	7,32	xxxx	1,48	0,56	xxxx	1,15	0,75	xxxx
11	4,70	3,10	xxxx	1,13	0,56	xxxx	0,71	0,42	xxxx
12	5,51	1,52	xxxx	1,02	0,76	xxxx	1,08	0,41	xxxx
13	10,71	2,49	xxxx	1,43	0,73	xxxx	0,89	0,61	xxxx
14	11,87	2,09	xxxx	1,83	0,29	xxxx	1,50	0,30	xxxx
15	7,60	17,19	xxxx	1,67	0,33	xxxx	1,89	0,75	xxxx
16	12,76	2,00	xxxx	0,87	1,05	xxxx	0,78	0,75	xxxx
17	6,85	5,16	xxxx	0,67	0,86	xxxx	0,59	0,42	xxxx
18	17,73	9,01	xxxx	0,99	2,90	xxxx	1,42	2,69	xxxx
19	4,40	11,68	xxxx	7,02	0,65	xxxx	6,43	0,32	xxxx
20	11,17	18,37	xxxx	0,52	0,82	xxxx	1,19	0,74	xxxx
21	9,66	10,39	xxxx	0,85	0,83	xxxx	0,53	0,29	xxxx
22	3,39	4,97	xxxx	1,50	0,75	xxxx	1,28	1,19	xxxx
23	7,68	31,17	xxxx	1,35	0,66	xxxx	0,46	0,59	xxxx
24	5,51	27,68	xxxx	1,57	0,60	xxxx	1,05	0,73	xxxx
25	4,63	41,78	xxxx	0,79	1,36	xxxx	0,81	0,83	xxxx
26	3,43	6,61	xxxx	0,97	0,52	xxxx	0,81	0,22	xxxx
27	10,08	16,64	xxxx	0,98	0,59	xxxx	0,82	0,38	xxxx
28	22,89	7,90	xxxx	1,27	3,35	xxxx	0,52	0,40	xxxx
29	5,39	15,42	xxxx	3,18	0,21	xxxx	1,48	0,24	xxxx
30	17,55	10,84	xxxx	0,87	0,40	xxxx	0,49	0,22	xxxx

TABELA AP4.3 – Desvio padrões das transmissibilidades médias – veículo F395\_Prefixo: 0268.

Faixa de frequência (Hz)	Veículo F395_Prefixo: 0268								
	Desvio Padrão								
	Pulso/ombro			Assento/piso			Ombro/piso		
	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo
4	2,01	0,97	xxxx	7,07	3,95	xxxx	5,38	3,24	xxxx
5	0,32	1,89	xxxx	4,54	2,23	xxxx	3,91	4,30	xxxx
6	0,83	0,92	xxxx	2,29	1,65	xxxx	2,51	3,67	xxxx
7	0,28	1,50	xxxx	4,08	1,80	xxxx	1,39	1,23	xxxx
8	0,20	4,51	xxxx	1,65	0,96	xxxx	2,57	0,57	xxxx
9	0,31	2,18	xxxx	2,18	0,80	xxxx	3,15	0,31	xxxx
10	0,24	3,23	xxxx	8,58	0,38	xxxx	10,55	0,80	xxxx
11	1,99	4,14	xxxx	1,18	0,82	xxxx	1,60	0,39	xxxx
12	1,38	3,41	xxxx	1,30	1,46	xxxx	1,75	1,20	xxxx
13	2,80	2,18	xxxx	0,66	5,01	xxxx	0,92	2,99	xxxx
14	0,51	3,67	xxxx	1,92	2,17	xxxx	1,64	0,48	xxxx
15	5,51	2,64	xxxx	1,30	2,66	xxxx	0,42	0,75	xxxx
16	1,17	19,32	xxxx	0,76	3,08	xxxx	0,39	2,09	xxxx
17	1,12	4,59	xxxx	1,79	1,68	xxxx	0,75	1,30	xxxx
18	3,82	17,14	xxxx	1,35	3,38	xxxx	0,33	0,31	xxxx
19	9,10	7,72	xxxx	0,86	0,90	xxxx	0,88	0,97	xxxx
20	34,07	5,91	xxxx	1,93	0,45	xxxx	0,86	0,19	xxxx
21	1,28	9,84	xxxx	1,63	0,63	xxxx	0,93	0,46	xxxx
22	5,94	53,02	xxxx	0,72	0,70	xxxx	0,43	0,11	xxxx
23	6,38	53,97	xxxx	1,02	1,03	xxxx	0,58	0,06	xxxx
24	2,45	12,71	xxxx	0,82	0,94	xxxx	0,40	0,18	xxxx
25	23,59	10,58	xxxx	0,61	0,49	xxxx	0,67	0,06	xxxx
26	8,07	43,71	xxxx	1,62	1,14	xxxx	1,22	1,35	xxxx
27	7,84	11,35	xxxx	1,79	0,71	xxxx	0,57	0,26	xxxx
28	0,68	11,02	xxxx	0,78	0,24	xxxx	0,66	0,16	xxxx
29	14,36	17,94	xxxx	0,66	0,40	xxxx	0,52	0,07	xxxx
30	6,02	13,12	xxxx	2,29	0,45	xxxx	1,61	0,14	xxxx

TABELA AP4.4 – Desvio padrões das transmissibilidades médias – veículo F398\_Prefixo: 0196.

Faixa de frequência (Hz)	Veículo F398 Prefixo: 0196								
	Desvio Padrão								
	Pulso/ombro			Assento/piso			Ombro/piso		
	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo
4	2,25	1,09	xxxx	2,02	3,36	xxxx	3,43	4,82	xxxx
5	3,91	3,61	xxxx	2,24	4,11	xxxx	3,16	4,30	xxxx
6	116,61	1,84	xxxx	3,48	3,05	xxxx	7,46	4,08	xxxx
7	1,38	1,91	xxxx	4,04	2,92	xxxx	6,74	2,22	xxxx
8	1,35	0,82	xxxx	3,39	2,79	xxxx	3,31	2,52	xxxx
9	2,59	0,72	xxxx	2,22	3,63	xxxx	1,39	2,63	xxxx
10	11,36	1,91	xxxx	1,91	1,00	xxxx	1,59	0,64	xxxx
11	2,93	2,52	xxxx	1,20	0,77	xxxx	0,98	0,51	xxxx
12	5,33	2,48	xxxx	2,74	2,04	xxxx	0,95	0,96	xxxx
13	17,94	5,34	xxxx	2,46	1,63	xxxx	1,82	0,70	xxxx
14	7,40	19,70	xxxx	2,06	11,65	xxxx	0,63	2,09	xxxx
15	9,68	22,59	xxxx	1,59	0,84	xxxx	0,53	0,61	xxxx
16	26,19	6,30	xxxx	0,84	0,50	xxxx	0,75	0,67	xxxx
17	9,25	9,06	xxxx	2,97	4,60	xxxx	0,51	2,11	xxxx
18	16,98	30,42	xxxx	0,76	2,37	xxxx	0,60	0,42	xxxx
19	38,43	7,70	xxxx	1,40	0,33	xxxx	0,69	0,56	xxxx
20	6,67	15,22	xxxx	0,98	1,10	xxxx	0,42	0,73	xxxx
21	11,83	11,86	xxxx	0,74	3,58	xxxx	0,26	3,53	xxxx
22	10,30	13,50	xxxx	0,82	1,63	xxxx	0,39	0,41	xxxx
23	8,65	10,84	xxxx	2,20	1,64	xxxx	0,66	0,43	xxxx
24	16,40	13,95	xxxx	1,99	1,17	xxxx	0,60	0,33	xxxx
25	5,02	19,26	xxxx	13,66	4,69	xxxx	0,96	1,48	xxxx
26	6,16	8,66	xxxx	4,64	4,73	xxxx	1,36	1,37	xxxx
27	6,37	9,27	xxxx	4,46	1,72	xxxx	0,84	0,37	xxxx
28	4,43	21,75	xxxx	2,26	2,60	xxxx	0,76	0,46	xxxx
29	58,42	32,64	xxxx	3,57	6,09	xxxx	1,48	2,26	xxxx
30	3,87	13,64	xxxx	1,89	2,46	xxxx	0,72	0,29	xxxx

TABELA AP4.5 – Desvio padrões das transmissibilidades médias – veículo F291\_Prefixo: 0056.

Faixa de frequência (Hz)	Veículo F291_Prefixo: 0056								
	Desvio Padrão								
	Pulso/ombro			Assento/piso			Ombro/piso		
	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo
4	0,91	0,27	xxxx	3,09	1,21	xxxx	4,18	3,15	xxxx
5	3,51	0,87	xxxx	2,32	2,31	xxxx	3,41	5,53	xxxx
6	1,38	1,06	xxxx	2,16	4,19	xxxx	3,89	10,58	xxxx
7	1,70	2,07	xxxx	1,99	1,20	xxxx	1,76	1,12	xxxx
8	2,21	17,73	xxxx	1,55	1,18	xxxx	0,70	1,98	xxxx
9	1,37	3,09	xxxx	1,05	1,26	xxxx	1,10	0,95	xxxx
10	4,17	7,33	xxxx	1,14	0,61	xxxx	1,28	0,38	xxxx
11	4,41	9,86	xxxx	1,15	0,73	xxxx	4,03	0,62	xxxx
12	3,89	1,67	xxxx	1,06	0,16	xxxx	1,40	0,45	xxxx
13	2,63	3,01	xxxx	1,45	0,45	xxxx	0,91	0,84	xxxx
14	3,77	7,65	xxxx	1,03	1,18	xxxx	1,95	0,75	xxxx
15	6,51	3,89	xxxx	2,09	0,48	xxxx	1,69	0,56	xxxx
16	12,17	13,54	xxxx	0,80	0,60	xxxx	0,39	0,44	xxxx
17	6,30	8,18	xxxx	0,92	1,66	xxxx	1,88	1,23	xxxx
18	5,81	7,97	xxxx	2,87	0,38	xxxx	2,50	0,47	xxxx
19	7,84	8,47	xxxx	1,37	0,47	xxxx	0,92	1,94	xxxx
20	18,05	17,83	xxxx	1,12	0,41	xxxx	1,43	0,85	xxxx
21	5,72	20,72	xxxx	1,11	3,71	xxxx	0,93	1,93	xxxx
22	5,97	7,84	xxxx	0,71	0,60	xxxx	0,49	0,46	xxxx
23	8,67	2,95	xxxx	0,69	0,26	xxxx	0,50	0,31	xxxx
24	9,31	2,47	xxxx	1,68	0,64	xxxx	1,66	0,69	xxxx
25	7,61	4,04	xxxx	1,20	1,31	xxxx	0,89	0,37	xxxx
26	9,63	4,43	xxxx	1,03	0,67	xxxx	0,67	0,35	xxxx
27	11,30	7,53	xxxx	1,31	0,23	xxxx	1,24	0,51	xxxx
28	5,98	43,56	xxxx	1,42	0,23	xxxx	0,95	0,13	xxxx
29	4,32	4,30	xxxx	1,07	0,25	xxxx	0,82	0,14	xxxx
30	4,22	12,03	xxxx	1,40	0,39	xxxx	0,26	0,22	xxxx

TABELA AP4.6 – Desvio padrões das transmissibilidades médias – veículo F398\_Prefixo: 0199.

Faixa de frequência (Hz)	Veículo F398 Prefixo: 0199								
	Desvio Padrão								
	Pulso/ombro			Assento/piso			Ombro/piso		
	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo
4	2,34	2,65	xxxx	0,36	0,14	xxxx	2,32E-01	1,30E-01	xxxx
5	1,47	0,67	xxxx	0,49	0,77	xxxx	2,58E-01	3,83E-01	xxxx
6	2,42	1,23	xxxx	0,35	0,55	xxxx	3,16E-01	2,38E-01	xxxx
7	2,48	4,94	xxxx	0,90	0,38	xxxx	3,31E-01	2,29E-01	xxxx
8	1,18	1,32	xxxx	0,70	0,90	xxxx	6,48E-01	3,39E-01	xxxx
9	2,20	1,62	xxxx	4,35	2,37	xxxx	1,51E+00	3,76E-01	xxxx
10	2,58	3,52	xxxx	1,70	0,55	xxxx	5,37E-01	1,48E-01	xxxx
11	1,59	1,65	xxxx	8,39	2,24	xxxx	1,36E+00	8,53E-01	xxxx
12	10,51	2,69	xxxx	1,01	1,41	xxxx	4,49E-01	5,66E-01	xxxx
13	3,80	2,79	xxxx	1,72	8,90	xxxx	5,64E-01	2,16E+00	xxxx
14	4,40	4,69	xxxx	1,76	1,66	xxxx	4,90E-01	6,62E-01	xxxx
15	3,12	5,43	xxxx	0,70	10,49	xxxx	8,00E-01	5,87E+00	xxxx
16	16,92	7,89	xxxx	1,33	1,42	xxxx	4,61E-01	4,10E-01	xxxx
17	8,59	9,91	xxxx	2,34	2,19	xxxx	2,30E-01	4,06E-01	xxxx
18	7,52	22,04	xxxx	0,45	3,59	xxxx	2,66E-01	1,35E+00	xxxx
19	23,98	61,55	xxxx	0,65	3,53	xxxx	4,47E-01	1,24E+00	xxxx
20	8,66	10,12	xxxx	2,01	3,07	xxxx	5,53E-01	6,44E-01	xxxx
21	11,71	9,57	xxxx	0,71	2,40	xxxx	1,94E-01	1,56E+00	xxxx
22	6,82	31,34	xxxx	0,82	0,69	xxxx	3,80E-01	1,65E-01	xxxx
23	54,34	9,44	xxxx	0,59	10,67	xxxx	2,98E-01	3,51E+00	xxxx
24	8,72	13,38	xxxx	5,15	1,31	xxxx	2,67E+00	4,90E-01	xxxx
25	8,86	8,49	xxxx	0,52	1,83	xxxx	1,41E-01	5,20E-01	xxxx
26	8,28	18,71	xxxx	2,30	1,34	xxxx	6,26E-01	2,13E-01	xxxx
27	25,36	14,51	xxxx	0,89	1,35	xxxx	2,25E-01	3,14E-01	xxxx
28	13,83	7,42	xxxx	0,55	4,90	xxxx	1,82E-01	6,94E-01	xxxx
29	16,22	9,87	xxxx	0,86	0,87	xxxx	3,28E-01	4,88E-01	xxxx
30	5,96	10,51	xxxx	0,76	0,98	xxxx	#DIV/0!	#DIV/0!	xxxx

TABELA AP4.7 – Desvio padrões das transmissibilidades médias – veículo F292\_Prefixo: 0060.

Faixa de frequência (Hz)	Veículo F292 Prefixo: 0060								
	Desvio Padrão								
	Pulso/ombro			Assento/piso			Ombro/piso		
	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo
4	xxxx	xxxx	xxxx	3,72	1,94	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
5	xxxx	xxxx	xxxx	1,41	2,98	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
6	xxxx	xxxx	xxxx	1,67	0,77	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
7	xxxx	xxxx	xxxx	1,19	1,48	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
8	xxxx	xxxx	xxxx	9,79	3,20	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
9	xxxx	xxxx	xxxx	0,78	1,11	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
10	xxxx	xxxx	xxxx	4,01	0,98	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
11	xxxx	xxxx	xxxx	3,40	0,87	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
12	xxxx	xxxx	xxxx	1,64	1,67	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
13	xxxx	xxxx	xxxx	0,35	1,07	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
14	xxxx	xxxx	xxxx	0,34	0,63	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
15	xxxx	xxxx	xxxx	0,85	1,16	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
16	xxxx	xxxx	xxxx	0,46	1,16	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
17	xxxx	xxxx	xxxx	2,15	0,93	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
18	xxxx	xxxx	xxxx	0,69	1,51	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
19	xxxx	xxxx	xxxx	0,82	0,89	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
20	xxxx	xxxx	xxxx	0,77	1,02	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
21	xxxx	xxxx	xxxx	1,51	2,47	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
22	xxxx	xxxx	xxxx	1,66	0,65	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
23	xxxx	xxxx	xxxx	2,75	0,84	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
24	xxxx	xxxx	xxxx	1,65	1,79	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
25	xxxx	xxxx	xxxx	0,77	1,11	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
26	xxxx	xxxx	xxxx	1,27	3,57	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
27	xxxx	xxxx	xxxx	1,34	0,80	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
28	xxxx	xxxx	xxxx	4,36	0,53	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
29	xxxx	xxxx	xxxx	0,37	0,72	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
30	xxxx	xxxx	xxxx	0,53	0,59	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx

TABELA AP4.8 – Desvio padrões das transmissibilidades médias – veículo F298\_Prefixo: 0021.

Faixa de frequência (Hz)	Veículo F298 Prefixo: 0021								
	Desvio Padrão								
	Pulso/ombro			Assento/piso			Ombro/piso		
	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo
4	xxxx	xxxx	xxxx	2,20	3,66	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
5	xxxx	xxxx	xxxx	4,39	1,49	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
6	xxxx	xxxx	xxxx	1,39	1,54	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
7	xxxx	xxxx	xxxx	1,95	3,53	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
8	xxxx	xxxx	xxxx	1,16	0,76	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
9	xxxx	xxxx	xxxx	2,04	2,30	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
10	xxxx	xxxx	xxxx	2,64	2,41	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
11	xxxx	xxxx	xxxx	2,74	1,27	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
12	xxxx	xxxx	xxxx	1,09	0,97	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
13	xxxx	xxxx	xxxx	0,89	0,36	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
14	xxxx	xxxx	xxxx	0,59	0,43	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
15	xxxx	xxxx	xxxx	1,67	1,76	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
16	xxxx	xxxx	xxxx	1,16	1,20	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
17	xxxx	xxxx	xxxx	0,88	1,45	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
18	xxxx	xxxx	xxxx	0,76	0,23	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
19	xxxx	xxxx	xxxx	1,65	0,63	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
20	xxxx	xxxx	xxxx	2,56	0,89	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
21	xxxx	xxxx	xxxx	0,87	1,07	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
22	xxxx	xxxx	xxxx	7,87	0,64	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
23	xxxx	xxxx	xxxx	1,80	0,24	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
24	xxxx	xxxx	xxxx	1,36	7,09	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
25	xxxx	xxxx	xxxx	0,78	1,43	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
26	xxxx	xxxx	xxxx	0,80	0,63	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
27	xxxx	xxxx	xxxx	1,32	2,57	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
28	xxxx	xxxx	xxxx	0,58	0,44	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
29	xxxx	xxxx	xxxx	0,94	0,73	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
30	xxxx	xxxx	xxxx	0,72	1,30	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx

TABELA AP4.9 – Desvio padrões das transmissibilidades médias – veículo F292\_Prefixo: 0061.

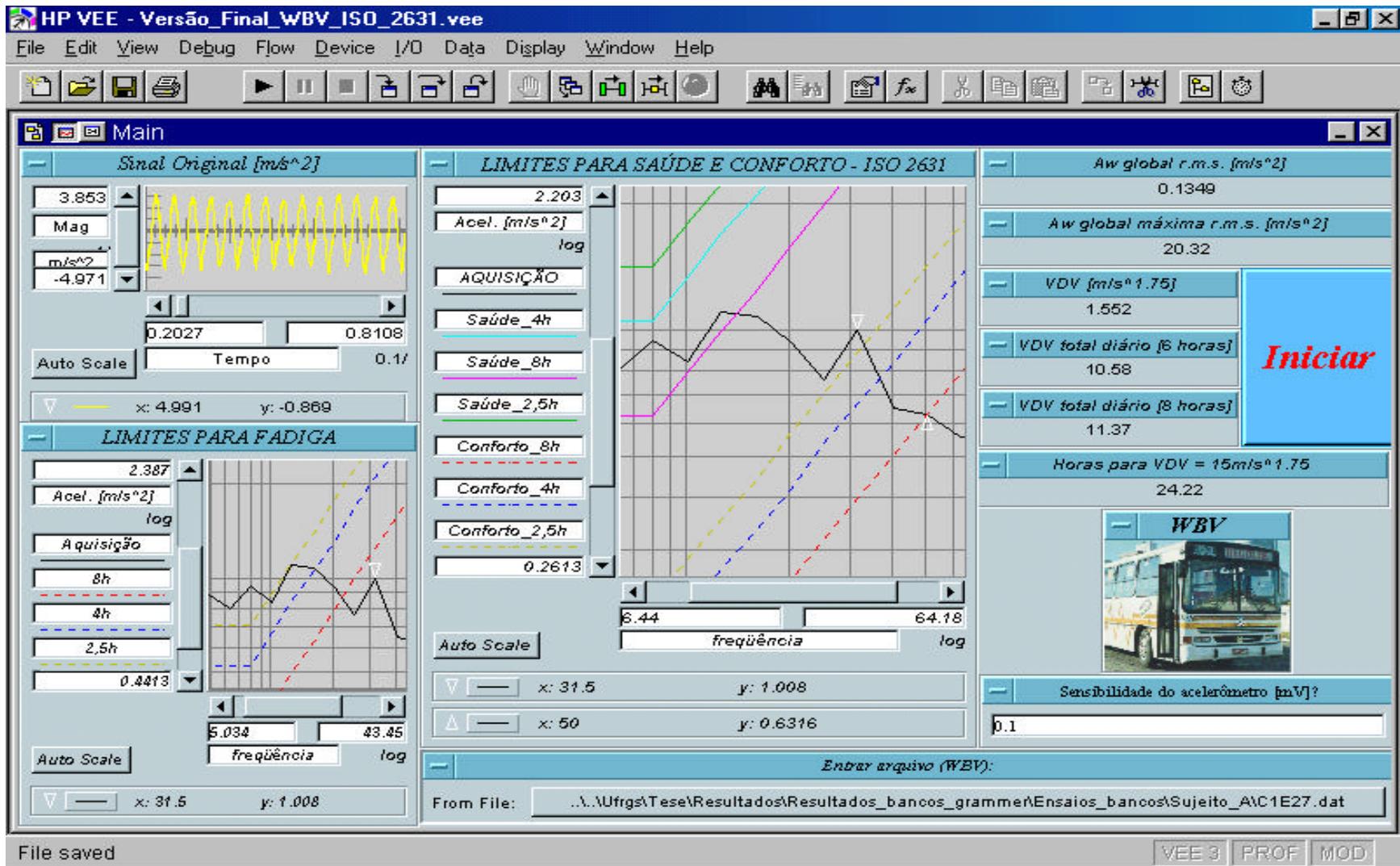
Faixa de frequência (Hz)	Veículo F292 Prefixo: 0061								
	Pulso/ombro			Assento/piso			Ombro/piso		
	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo
4	xxxx	xxxx	xxxx	3,99	3,69	2,50	xxxx	xxxx	xxxx
5	xxxx	xxxx	xxxx	2,98	10,48	1,24	xxxx	xxxx	xxxx
6	xxxx	xxxx	xxxx	2,03	1,85	2,39	xxxx	xxxx	xxxx
7	xxxx	xxxx	xxxx	2,40	0,17	1,04	xxxx	xxxx	xxxx
8	xxxx	xxxx	xxxx	0,64	0,60	0,96	xxxx	xxxx	xxxx
9	xxxx	xxxx	xxxx	0,92	0,21	0,40	xxxx	xxxx	xxxx
10	xxxx	xxxx	xxxx	3,44	0,20	1,22	xxxx	xxxx	xxxx
11	xxxx	xxxx	xxxx	0,85	0,25	0,81	xxxx	xxxx	xxxx
12	xxxx	xxxx	xxxx	0,61	0,74	1,15	xxxx	xxxx	xxxx
13	xxxx	xxxx	xxxx	0,84	0,80	0,08	xxxx	xxxx	xxxx
14	xxxx	xxxx	xxxx	0,70	2,47	0,54	xxxx	xxxx	xxxx
15	xxxx	xxxx	xxxx	2,42	0,21	0,54	xxxx	xxxx	xxxx
16	xxxx	xxxx	xxxx	0,68	0,75	0,11	xxxx	xxxx	xxxx
17	xxxx	xxxx	xxxx	0,49	0,26	0,53	xxxx	xxxx	xxxx
18	xxxx	xxxx	xxxx	1,91	0,25	0,75	xxxx	xxxx	xxxx
19	xxxx	xxxx	xxxx	1,66	0,56	0,33	xxxx	xxxx	xxxx
20	xxxx	xxxx	xxxx	0,85	1,46	0,48	xxxx	xxxx	xxxx
21	xxxx	xxxx	xxxx	1,34	1,48	0,31	xxxx	xxxx	xxxx
22	xxxx	xxxx	xxxx	1,57	0,40	0,30	xxxx	xxxx	xxxx
23	xxxx	xxxx	xxxx	0,94	0,55	0,49	xxxx	xxxx	xxxx
24	xxxx	xxxx	xxxx	1,22	0,71	1,50	xxxx	xxxx	xxxx
25	xxxx	xxxx	xxxx	1,11	1,04	0,40	xxxx	xxxx	xxxx
26	xxxx	xxxx	xxxx	0,76	0,98	0,86	xxxx	xxxx	xxxx
27	xxxx	xxxx	xxxx	0,45	0,70	1,11	xxxx	xxxx	xxxx
28	xxxx	xxxx	xxxx	0,54	0,28	0,75	xxxx	xxxx	xxxx
29	xxxx	xxxx	xxxx	1,20	0,26	0,54	xxxx	xxxx	xxxx
30	xxxx	xxxx	xxxx	1,24	0,97	1,88	xxxx	xxxx	xxxx

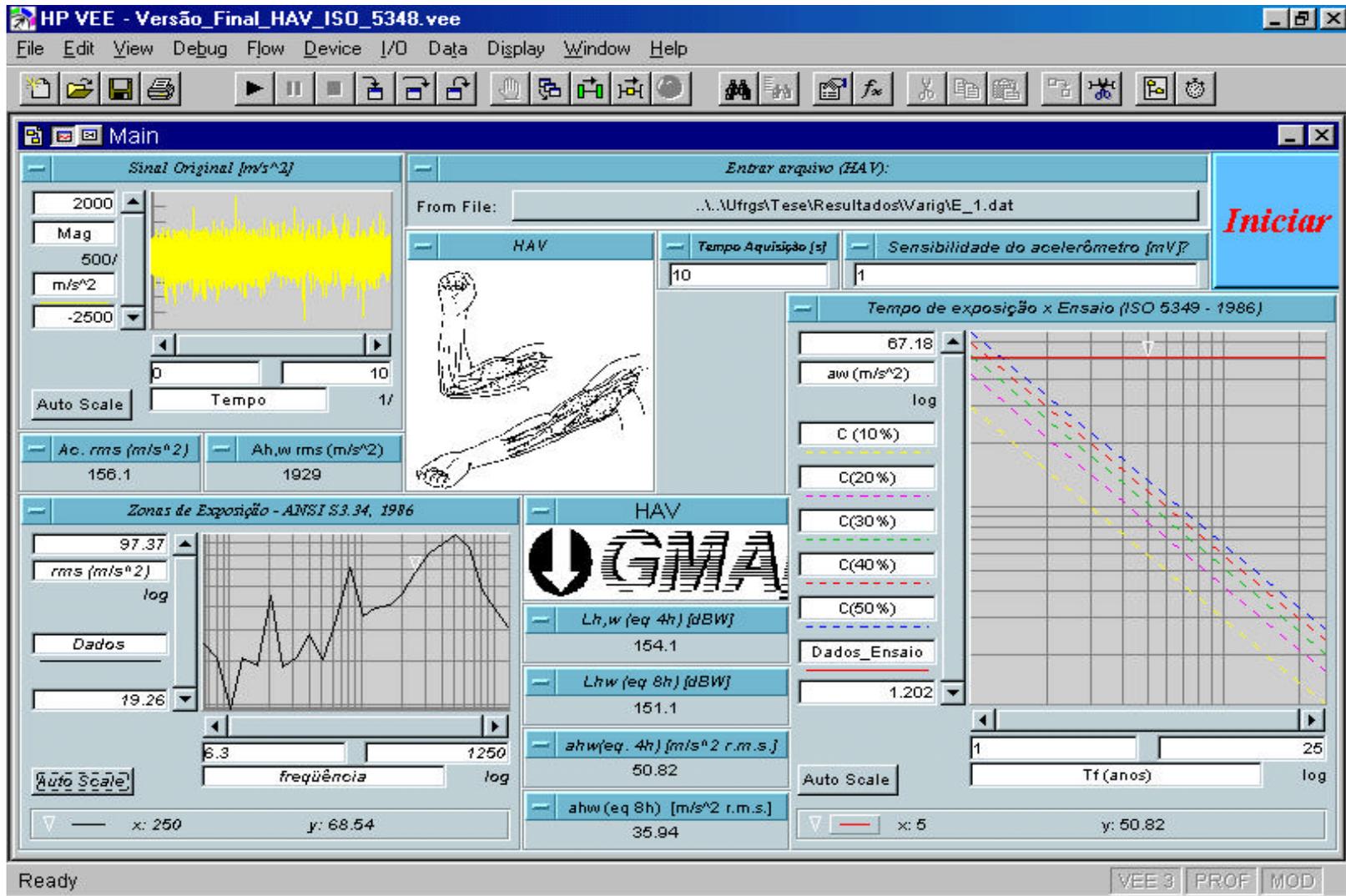
TABELA AP4.10 – Desvio padrões das transmissibilidades médias – veículo F197.

Faixa de frequência (Hz)	Veículo F197								
	Desvio Padrão								
	Pulso/ombro			Assento/piso			Ombro/piso		
	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo
4	3,07	0,72	1,04	5,64	2,93	11,85	4,56	2,70	14,53
5	1,00	1,50	1,69	4,45	1,30	4,60	2,66	2,20	9,48
6	1,79	5,35	1,81	3,94	1,21	2,82	2,47	0,69	2,04
7	3,71	0,97	0,19	1,84	1,63	0,69	1,13	0,65	0,82
8	1,96	2,62	0,17	1,43	2,45	0,11	2,14	0,15	0,42
9	2,76	1,07	1,03	1,20	2,58	0,61	0,51	2,07	0,92
10	1,20	3,95	1,12	0,65	0,60	0,30	0,35	0,38	0,18
11	18,69	1,13	4,12	1,89	0,57	1,03	0,59	0,82	0,12
12	5,07	15,55	1,98	1,11	0,67	0,38	1,41	0,58	0,17
13	6,10	2,46	5,18	1,26	0,97	0,07	1,21	1,55	0,23
14	2,55	10,46	2,90	0,77	1,33	0,15	2,46	0,94	0,29
15	6,60	8,95	28,72	1,59	0,42	0,80	2,02	0,16	0,31
16	10,30	10,21	4,58	0,34	1,35	0,08	0,72	0,72	0,12
17	39,38	12,88	2,38	3,27	3,18	0,75	1,08	2,61	0,85
18	62,59	2,71	11,13	1,14	1,55	0,44	0,62	2,68	4,29
19	5,05	6,96	10,40	1,18	0,83	0,38	0,87	0,87	0,03
20	8,86	3,57	5,20	1,93	0,88	0,03	1,74	1,14	0,20
21	38,20	14,36	1,42	1,32	0,72	0,11	3,05	0,50	0,04
22	20,93	7,00	8,16	1,10	0,76	0,05	1,34	0,74	0,13
23	22,48	34,26	4,79	1,48	1,35	0,64	0,72	1,26	0,82
24	9,34	11,88	6,95	1,43	0,58	0,02	0,60	0,42	0,54
25	26,98	5,76	7,53	0,53	1,02	0,70	1,41	0,79	0,60
26	16,47	9,03	9,02	0,72	1,58	0,55	0,56	1,23	0,24
27	48,37	28,72	6,68	0,72	1,25	0,98	0,72	0,74	0,56
28	39,57	5,91	8,28	1,09	1,66	0,97	0,60	0,26	0,10
29	16,26	11,41	7,55	0,75	1,46	0,35	1,73	0,76	0,83
30	30,22	8,77	8,52	2,02	2,04	0,60	1,27	1,73	0,42

TABELA AP4.11 – Desvio padrões das transmissibilidades médias – veículo F196.

Faixa de frequência (Hz)	Veículo F196								
	Desvio Padrão								
	Pulso/ombro			Assento/piso			Ombro/piso		
	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo	Asfalto	Asfalto Irregular	Paralelepípedo
4	0,72	0,75	xxxx	8,32	3,50	xxxx	11,50	4,72	xxxx
5	1,08	0,86	xxxx	3,98	2,96	xxxx	5,71	3,74	xxxx
6	0,58	2,20	xxxx	1,98	1,66	xxxx	1,62	1,02	xxxx
7	1,60	0,36	xxxx	1,17	2,57	xxxx	1,69	2,30	xxxx
8	1,40	3,53	xxxx	0,97	1,03	xxxx	0,83	0,80	xxxx
9	3,17	5,14	xxxx	1,07	3,60	xxxx	1,02	1,58	xxxx
10	3,28	6,26	xxxx	1,83	2,23	xxxx	0,99	1,63	xxxx
11	1,65	0,82	xxxx	1,84	2,21	xxxx	1,83	1,76	xxxx
12	6,82	4,95	xxxx	1,89	1,08	xxxx	1,68	0,54	xxxx
13	5,13	4,04	xxxx	1,53	3,46	xxxx	1,11	1,77	xxxx
14	5,07	3,46	xxxx	1,48	2,47	xxxx	1,02	2,20	xxxx
15	5,59	0,90	xxxx	0,82	0,78	xxxx	1,13	0,54	xxxx
16	8,77	26,76	xxxx	1,15	1,26	xxxx	0,67	0,85	xxxx
17	10,32	6,63	xxxx	2,18	1,10	xxxx	2,02	0,40	xxxx
18	3,71	6,38	xxxx	0,62	0,65	xxxx	0,43	0,58	xxxx
19	22,50	8,69	xxxx	0,87	1,73	xxxx	1,53	1,61	xxxx
20	14,31	10,30	xxxx	1,33	1,21	xxxx	0,92	0,66	xxxx
21	27,00	37,85	xxxx	1,46	0,51	xxxx	0,71	0,61	xxxx
22	13,47	7,21	xxxx	1,13	1,24	xxxx	0,60	0,91	xxxx
23	25,90	5,52	xxxx	0,68	1,17	xxxx	0,45	0,65	xxxx
24	10,68	11,37	xxxx	2,63	1,27	xxxx	0,84	0,34	xxxx
25	12,54	28,94	xxxx	1,58	1,16	xxxx	1,18	0,53	xxxx
26	9,19	3,24	xxxx	1,81	0,45	xxxx	1,44	0,22	xxxx
27	9,83	6,65	xxxx	1,93	0,82	xxxx	1,04	0,56	xxxx
28	11,79	3,78	xxxx	1,31	0,84	xxxx	0,31	0,48	xxxx
29	16,71	19,60	xxxx	1,26	0,67	xxxx	0,94	0,30	xxxx
30	12,51	20,70	xxxx	1,89	0,61	xxxx	0,97	0,63	xxxx





# APÊNDICE\_5

TABELA AP5.1 – ANOVA - acelerações ponderadas nos assentos dos veículos.

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GDL</i>	<i>MQ</i>	$F_c$	$F_t$	<i>Efeito</i>
A	0,60	10	0,06	1,89	1,83	S
B	0,42	2	0,21	6,62	3,00	S
AB	0,37	20	0,18	5,68	1,57	S
Erro	14,63	462	$3,17 \cdot 10^{-2}$			

TABELA AP5.2 – ANOVA - acelerações ponderadas nos pisos dos veículos.

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GDL</i>	<i>MQ</i>	$F_c$	$F_t$	<i>Efeito</i>
A	0,70	10	0,07	7,35	1,83	S
B	0,65	2	0,32	34,14	3,00	S
AB	0,53	20	0,26	2,78	1,57	S
Erro	4,4	462	$9,52 \cdot 10^{-3}$			

TABELA AP5.3 – ANOVA - acelerações nas mãos dos motoristas.

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GDL</i>	<i>MQ</i>	$F_c$	$F_t$	<i>Efeito</i>
A	18,63	7	2,66	3,06	2,01	S
B	10,44	2	5,22	6,00	3,00	S
AB	15,85	14	1,13	1,30	1,67	NS
Erro	478,11	552	0,87			

TABELA AP5.4 – ANOVA - acelerações nos pulsos dos motoristas.

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GDL</i>	<i>MQ</i>	$F_c$	$F_t$	<i>Efeito</i>
A	38,35	7	5,49	6,31	2,01	S
B	8,97	2	4,48	5,15	3,00	S
AB	23,04	14	1,65	1,90	1,67	S
Erro	480,26	552	0,87			

TABELA AP5.5 – ANOVA - acelerações nos ombros dos motoristas por faixa de frequência.

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GDL</i>	<i>MQ</i>	$F_c$	$F_t$	<i>Efeito</i>
A	56,19	7	8,03	12,35	2,01	S
B	5,80	2	2,90	4,46	3,00	S
AB	33,17	14	2,37	3,65	1,67	S
Erro	360,38	552	0,65			

TABELA AP5.6 – ANOVA - acelerações equivalentes a 4 horas.

Nas mãos dos motoristas						
Fonte de variação	SQ	GDL	MQ	F <sub>c</sub>	F <sub>t</sub>	Efeito
A	1,18	7	0,17	10,82	2,01	S
B	0,16	2	0,08	5,09	3,00	S
AB	0,91	14	0,06	4,14	1,67	S
Erro	1,99	127	1,57.10 <sup>-2</sup>			
Nos pulsos dos motoristas						
Fonte de variação	SQ	GDL	MQ	F <sub>c</sub>	F <sub>t</sub>	Efeito
A	1,50	7	0,21	25,18	2,01	S
B	0,32	2	0,16	19,18	3,00	S
AB	1,33	14	0,09	11,39	1,67	S
Erro	1,06	127	8,34.10 <sup>-3</sup>			
Nos ombros dos motoristas						
Fonte de variação	SQ	GDL	MQ	F <sub>c</sub>	F <sub>t</sub>	Efeito
A	0,31	7	4,43.10 <sup>-2</sup>	2,70	2,01	S
B	0,58	2	0,29	17,68	3,00	S
AB	3,39	14	0,24	14,63	1,67	S
Erro	2,09	127	1,64.10 <sup>-2</sup>			

FIGURA AP5.7 – ANOVA relacionando as transmissibilidades.

Transmissibilidade pulso/ombro						
Fonte de variação	SQ	GDL	MQ	F <sub>c</sub>	F <sub>t</sub>	Efeito
A	2744,27	7	392,04	3,74	2,01	S
B	89,95	2	44,97	0,43	3,00	NS
AB	3042,25	14	217,30	2,07	1,67	S
Erro	65472,42	624	104,92			
Transmissibilidade ombro/piso						
Fonte de variação	SQ	GDL	MQ	F <sub>c</sub>	F <sub>t</sub>	Efeito
A	108,64	7	15,52	4,43	2,01	S
B	4,86	2	2,43	0,69	3,00	NS
AB	58,90	14	4,21	1,20	1,67	NS
Erro	2186,32	624	3,50			
Transmissibilidade assento/piso						
Fonte de variação	SQ	GDL	MQ	F <sub>c</sub>	F <sub>t</sub>	Efeito
A	54,77	7	7,82	6,52	2,01	S
B	7,56	2	3,78	3,15	3,00	S
AB	37,62	14	2,69	2,24	1,67	S
Erro	749,39	624	1,20			

Onde:

- SQ são as somas dos quadrados;
- GDL são os graus de liberdade;
- MQ são as médias quadradas;
- $F_c$  é o fator F calculado;
- $F_t$  é o fator F tabelado;
- o efeito A representa os modelos de ônibus;
- o efeito B representa os tipos de pisos;
- o efeito AB é a interação entre os efeitos A e B;
- o efeito pode ser S (significativo:  $F_c > F_t$ ) ou NS (não significativo:  $F_c < F_t$ ).

TABELA AP5.8 - Transmissibilidades assento/piso dos bancos: ônibus e colheitadeira.

Fonte de variação	SQ	GDL	MQ	$F_c$	$F_t$	Efeito
A	28,01	3	9,34	10,61	2,60	S
B	8,02	1	8,02	9,11	3,84	S
C	29,03	1	29,03	32,99	3,84	S
AB	3,68	3	1,23	1,40	2,60	NS
AC	29,67	3	9,89	11,24	2,60	S
BC	3,10	1	3,10	3,52	3,84	NS
ABC	7,06	3	2,35	2,67	2,60	S
Erro	364,72	416	0,88			

Onde:

- SQ são as somas dos quadrados;
- GDL são os graus de liberdade;
- MQ são as médias quadradas;
- $F_c$  é o fator F calculado;
- $F_t$  é o fator F tabelado;
- A representa as diferentes polias;
- B representa os tipos de bancos: colheitadeira e ônibus;
- C representa os dois ângulos do encosto: 90° e 120°;
- AB é a interação entre os efeitos A e B;
- AC é a interação entre os efeitos A e C;
- BC é a interação entre os efeitos B e C;
- ABC é a interação entre os efeitos A, B e C;
- O efeito pode ser S (significativo:  $F_c > F_t$ ) ou NS (não significativo:  $F_c < F_t$ ).

## *Análise de variância com um fator controlável (ANOVA)*

Método utilizado em experimentos que envolvem:

- uma variável de resposta (V.R.);
- um fator controlável a vários níveis;

cujo objetivo é identificar se os valores da variável de resposta, medidos nos diversos níveis, diferem entre si.

Os dados podem estar dispostos como uma matriz de linhas  $i$  e colunas  $j$ , conforme mostra a Tabela AP5.7.

Tabela AP5.7 - Disposição dos dados.

Fator A (fator controlável)	$A_1$	$A_2$	...	$A_k$	
	$x_{11}$	$x_{12}$	...	$x_{1k}$	
	$x_{21}$	$x_{22}$	...	$x_{2k}$	
	...	...	$x_{ij}$	...	
	...	...	...	...	
	$x_{n1,1}$	$x_{n2,2}$	...	$x_{nk,k}$	
totais $T_{.j}$	$T_{.1}$	$T_{.2}$	...	$T_{.k}$	$T_{..} =$
número de observações $n_j$	$n_1$	$n_2$	...	$n_k$	$N =$
médias $\bar{x}_{.j}$	$\bar{x}_{.1}$	$\bar{x}_{.2}$	...	$\bar{x}_{.k}$	$\bar{x}_{..} =$

Para este projeto o modelo estatístico é representado por:

$$x_{ij} = \mathbf{m} + \mathbf{a}_j + \mathbf{e}_{ij} \quad (\text{AP1})$$

onde:

- $x_{ijk}$  representa cada elemento da matriz;
- $\mu$  é a média geral;
- $\mathbf{a}_j$  é o efeito do grupo  $j$ ;
- $\mathbf{e}_{ij}$  é o erro aleatório (variabilidade inerente ao processo).

A análise de variância é dada pela Tabela AP5.8.

Tabela AP5.8 - Tabela ANOVA.

Fonte	SQ	GDL	MQ	Teste F
entre grupos	SQG	K-1	MQG = SQG / K-1	F = MQG / MQR
resíduos	SQR	N-K	MQR = SQR / N-K	
Total	SQT	N-1		

onde:

- SQG é o somatório dos quadrados do grupo;
- SQR é o somatório dos quadrados do resíduo ou ruído;
- SQT é o somatório dos quadrados totais;
- GDL é o grau de liberdade. As somas quadradas não podem ser comparadas entre si, portanto os graus de liberdade padronizam as médias quadradas permitindo assim, comparações entre elas;
- K é o número de níveis do fator controlável;
- N é o número total de observações;
- MQG é a média quadrada do grupo;
- MQR é a média quadrada do resíduo.

O formulário para obtenção da Tabela ANOVA é dado a seguir:

$$TC = \frac{T^2}{N}, \quad (\text{AP2})$$

onde  $TC$  é o termo de correção e  $T^2$  é o total geral.

$$SQT = \sum \left( \frac{\bar{x}_{ijk}^2}{n_{ijk}} \right) - TC, \quad (\text{AP3})$$

$$SQG = \sum \left( \frac{T_{.j}^2}{n_j} \right) - TC, \quad (\text{AP4})$$

onde  $T_{.j}$  são os totais das colunas ou os totais de cada nível do fator controlável:

$$SQR = SQT - SQG. \quad (\text{AP5})$$

O Teste F é obtido por:

$$F_{\text{calculado}} = \frac{MQG}{MQR}, \quad (\text{AP6})$$

onde comparando o  $F_{\text{calculado}}$  com o  $F_{\text{tabelado}}$  (Tabela da Distribuição F) pode-se concluir que se<sup>(52)</sup>:

- $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ , existe diferença significativa entre os grupos, ou seja, existe diferença significativa entre os níveis;
- $F_{\text{calculado}} \leq F_{\text{tabelado}}$ , não existe diferença significativa entre os grupos.

### *Análise de variância com dois fatores controláveis (ANOVA)*

Para um experimento que envolve dois fatores controláveis o modelo estatístico é dado por:

$$y_{ijk} = \mu + t_i + b_j + (tb)_{ij} + e_{ijk}, \quad (\text{AP7})$$

onde:

- $y_{ijk}$  representa cada elemento da matriz [i j k];
- $\mu$  é a média geral;
- $t_i$  é o efeito do i-ésimo nível de A;
- $b_j$  é o efeito do j-ésimo nível de B;
- $(tb)_{ij}$  é o efeito da interação AB;
- $e_{ijk}$  é o erro aleatório.

A análise de variância para projetos cruzados de dois fatores é dada pela Tabela AP5.9:

Tabela AP5.9 - Tabela ANOVA para dois fatores controláveis.

Fonte de variação	SQ	GDL	MQ	Teste F
A	SQA	(a-1)	MQA	MQA/MQR
B	SQB	(b-1)	MQB	MQB/MQR
AB	SQAB	(a-1).(b-1)	MQAB	MQAB/MQR
erro	SQR	ab(n-1)	MQR	
total	SQT	abn-1		

onde:

- SQA é o somatório dos quadrados do efeito controlável A;
- SQB é o somatório dos quadrados do efeito controlável B;

- SQAB é o somatório dos quadrados da interação dos efeitos A e B;
- SQR é o somatório dos quadrados do erro aleatório;
- SQT é o somatório dos quadrados total do experimento;
- $a$  e  $b$  são os níveis do efeito controlável A e B respectivamente;
- $n$  é o número de repetições;
- MQ são as médias quadráticas dos efeitos de A, B e da interação deste efeitos (AB).

O formulário para obtenção da Tabela ANOVA é dado a seguir:

$$TC = \frac{(T_{...})^2}{abn}, \quad (\text{AP8})$$

onde  $TC$  é o termo de correção e  $T_{...}$  é o total geral dos níveis  $i, j$  e  $k$ .

$$SQA = \frac{\sum (T_{i.})^2}{bn} - TC, \quad (\text{AP9})$$

onde  $bn$  representa o número de observações que compõem os totais das linhas.

$$SQB = \frac{\sum (T_{.j})^2}{an} - TC, \quad (\text{AP10})$$

onde  $an$  representa o número de observações que compõem os totais das colunas.

$$SQAB = \frac{\sum (T_{ij.})^2}{n} - TC - SQA - SQB, \quad (\text{AP11})$$

onde  $SQAB$  mede apenas a interação entre os efeitos.

$$SQR = \sum y^2_{ijk} - \frac{\sum (T_{ij.})^2}{n}, \quad (\text{AP12})$$

$$SQT = \sum y^2_{ijk} - TC. \quad (\text{AP13})$$

O Teste F é obtido por:

$$F_{\text{calculado}} = \frac{MQA}{MQR}, \quad (\text{AP14})$$

$$F_{\text{calculado}} = \frac{MQB}{MQR}, \quad (\text{AP15})$$

onde comparando o  $F_{\text{calculado}}$  com o  $F_{\text{tabelado}}$  (Tabela da Distribuição F) pode-se concluir que se:

- $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ , existe diferença significativa entre o fator A e/ou B;
- $F_{\text{calculado}} \leq F_{\text{tabelado}}$ , não existe diferença significativa entre o fator A e/ou B.