

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

AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO EM MOTORISTAS DE COMPOSIÇÕES
VEICULARES DE CARGA EM DIFERENTES PISTAS

por

Alexander Bortolini

Dissertação para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia

Porto Alegre, Dezembro de 2012

AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO EM MOTORISTAS DE COMPOSIÇÕES
VEICULARES DE CARGA EM DIFERENTES PISTAS

por

Alexander Bortolini
Engenheiro Mecânico

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

Mestre em Engenharia

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos

Orientador: Profa. Dra. Letícia Fleck Fadel Miguel

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Alberto Tamagna

PROMECC / UFRGS

Prof. Dr. Carlos Alberto Kern Thomas

DEMEC / UFRGS

Prof. Dr. Tiago Becker

ULBRA

Prof. Ph.D. Francis Henrique Ramos França
Coordenador do PROMEC

Porto Alegre, Dezembro de 2012

AGRADECIMENTOS

Venho a este espaço agradecer a todos que me apoiaram e proporcionaram a realização deste trabalho. Ao Dr. Tiago Becker pelo tempo dedicado, por todo o material disponibilizado e pela ajuda constante para realização das análises dos resultados.

Aos Senhores Ari Nardelo e Maicon Molom pela ajuda na instrumentação e medições, colocando à disposição toda a infraestrutura para a realização das aquisições de dados.

A Dra. Letícia Fleck Fadel Miguel, por aceitar este desafio dando-me suporte e atenção necessária para a realização de todo meu mestrado.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo experimental dos níveis de acelerações às quais motoristas de composições veiculares de carga (CVC) estão expostos durante a operação deste veículo. As medições foram realizadas com um caminhão 6X4, ao qual foi acoplado um semirreboque graneleiro carregado durante a primeira coleta de dados e vazio para segunda. Estes testes foram realizados em uma série de pistas especiais e também em vias públicas, sendo cada ensaio realizado com dois motoristas diferentes.

As acelerações obtidas nestas medições foram comparadas com os limites fornecidos na norma ISO 2631-1 (1997), constatando-se que os níveis de acelerações que os motoristas destas composições estão expostos, apresentam níveis de aceleração RMS e VDV acima dos limites recomendados pela referida norma para a maioria das situações analisadas. Limites aceitáveis dentro dos padrões estabelecidos pela ISO 2631 (1997) só foram encontrados quando os motoristas trafegaram em uma pista de asfalto em perfeitas condições.

Palavras-chaves: Vibrações no corpo humano; ISO 2631; Motoristas; Composições Veiculares de Carga; Acelerações; Caminhão.

ABSTRACT

The following paper performs an extensive experimental study and analysis of data concerning levels of acceleration to which drivers of Cargo Vehicle Compositions (CVC) are daily exposed. The measures were taken with a 6x4 truck attached to a bulk-carrier semi-trailer that was loaded during the first data collection and empty for the second. Such tests were performed in various special roads and also in public ways. Each test was made with two different drivers.

The accelerations obtained with these measures were compared with the limits provided by ISO 2631-1 (1997). The conclusion is that the levels of acceleration which the drivers of these compositions are exposed present accelerations levels RMS E VDV above the limits specified by the before-mentioned standard, for the majority of the situations analyzed. Acceptable limits within standards established by ISO 2631 (1997) could only be found when the drivers were in a pavement road with perfect conditions.

Key words: Vibrations in human body; ISO 2631; Drivers; Cargo Vehicle Compositions; Accelerations; Truck.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Motivação do trabalho.....	2
1.2	Objetivo.....	3
1.3	Contribuição do autor.....	3
1.4	Estrutura do trabalho.....	4
2	ESTADO DA ARTE	5
2.1	Vibração no corpo humano.....	5
2.2	Normas sobre vibrações.....	6
2.2.1	ISO 2631 (1978 e 1985).....	6
2.2.2	BS 6841 (1897).....	7
2.2.3	ISO 2631 (1997).....	7
2.2.4	Diretiva 2002/44/CE.....	8
2.2.5	NR 15.....	9
2.2.6	NHO 09.....	9
2.3	Danos ao corpo humano.....	10
2.4	Frequências de vibração.....	12
2.5	Direções de medição da vibração no corpo inteiro.....	13
2.6	Tempo de exposição e métodos de avaliação.....	17
2.6.1	ISO 2631 (1978 e 1985).....	17
2.6.2	ISO 2631 (1997).....	20
2.6.3	Diretiva 2002/44/CE.....	20
2.6.4	NHO 09.....	21
2.7	Anatomia humana.....	25
2.7.1	Coluna vertebral.....	25
2.7.2	Pelves.....	26
2.8	Epidemiologia.....	29
2.8.1	Trabalhos sobre ergonomia e dores no corpo dos motoristas.....	29
2.9	Trabalhos referentes a medições da vibração no corpo inteiro.....	30

3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	38
3.1	Instrumentação.....	39
3.2	Pistas especiais.....	44
3.3	Pistas em percursos públicos.....	48
3.4	<i>Softwares</i> utilizados.....	51
3.4.1	Spider 8 HBM.....	51
3.4.2	Catman HBM.....	53
3.4.3	HPVEE.....	53
4	RESULTADOS E ANÁLISES.....	56
4.1	Pistas especiais (com semirreboque carregado).....	56
4.2	Pistas externas (Vias Públicas) com semirreboque carregado.....	61
4.3	Pistas externas (Vias Públicas) com semirreboque vazio.....	64
4.4	Comparação dos resultados obtidos.....	67
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS...	71
5.1	Conclusões.....	71
5.2	Sugestões de trabalhos futuros.....	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
	APÊNDICE A	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Frequências naturais do corpo humano.....	13
Figura 2 – Sistemas de coordenadas para medição da vibração no corpo humano.....	14
Figura 3 – Sistemas de coordenadas para medição da vibração no corpo humano.....	14
Figura 4 – Limite de exposição, fadiga e conforto de 1 min a 24 horas segundo a norma ISO 2631 (1985).	18
Figura 5 – Limites da aceleração a_z em função da frequência.	19
Figura 6 – Limites das acelerações a_x e a_y em função da frequência.....	19
Figura 7 – gráfico de orientação das zonas de cuidado	20
Figura 8 – Limite e período de exposição de acordo com a diretiva Europeia.	22
Figura 9 – Coluna vertebral	26
Figura 10 – Pelvis	28
Figura 11 – Medição no assento do motorista para piso em asfalto.....	30
Figura 12 – Medição no assento do motorista para piso em asfalto irregular.	31
Figura 13 – Medição no assento do motorista para piso em paralelepípedo.....	31
Figura 14 – Esquema do modelo de quatro graus de liberdade proposto.....	33
Figura 15 – Transmissibilidade entre o piso e o assento.	34
Figura 16 – Transmissibilidade entre o ombro e assento.	34
Figura 17 – esquema da mesa vibratória	35
Figura 18 – Frequência no assoalho na parte frontal do ônibus (parado).....	36
Figura 19 – Frequência no assento da parte frontal do ônibus (parado).....	37
Figura 20 – Frequência no encosto, na parte frontal do ônibus (parado).	37
Figura 21 - campo de prova do grupo Randon	39
Figura 22 – Caminhão utilizado para os testes.....	39
Figura 23 – semirreboque graneleiro.....	40
Figura 24– Fixação do acelerômetro no piso do caminhão.	41
Figura 25 – Fixação do acelerômetro no assento e nas costas do motorista	41
Figura 26 – fixação do acelerômetro no seat pad fixado no assento do motorista.....	42
Figura 27 – Computador usado para aquisição de dados.	43
Figura 28 – Pista de terra (Off-Road).....	44
Figura 29 – Pista especial de pedra de rio	44
Figura 30 – Pista para teste de torção.	45

Figura 31 – Pista de buracos.....	45
Figura 32 – Pistas de costeletas	46
Figura 33 – Pista de alta asfalto.....	46
Figura 34 - Pista especial de paralelepípedo.	47
Figura 35 – 10 km na RS110, partindo da rótula de acesso da RS 453.....	48
Figura 36 – RS 110 pista de terra	49
Figura 37 – Trecho de asfalto na RS453, partindo da rótula de acesso a RS 110.....	49
Figura 38 – Condições da pista de asfalto na região dos testes.	50
Figura 39 – Percurso nas ruas Jacob Luchesi e Jacob Brunetta.	51
Figura 40 – Tipo de pista e condições da rua Jacob Luchesi.	51
Figura 41 – Spider 8 HBM ligado ao Notebook.....	52
Figura 43 – Imagem ilustrativa do programa Catman – HBM.....	53
Figura 44 – Programa HPVVEE.	54
Figura 45 – Programação desenvolvida.	55
Figura 46 – Pista de terra (Off Road) carregada.....	57
Figura 47 – Pista pedra de rio carregado	58
Figura 48 – Pista especial de torção carregado.....	58
Figura 49 – Pista de buracos (carregado).	59
Figura 50 – Pista de costeletas.....	60
Figura 51 - Pista asfalto (carregado).....	60
Figura 52 – Pista de paralelepípedo (carregado).	61
Figura 53 – Asfalto carregado externo	62
Figura 54 – Chão carregado externo.....	63
Figura 55 – Paralelepípedo carregado externo	64
Figura 56 – Pistas de asfalto	65
Figura 57 – Pista terra (Off Road)	66
Figura 58 – Paralelepípedo vazio externo	67
Figura 59 – Pista de pedra de rio.	78
Figura 60 – Pista de paralelepípedo.....	79
Figura 61 – Pistas de torção (lombadas intercaladas).....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Número de emplacements de veiculo e implementos rodoviários no Brasil.	1
Tabela 2 – Aplicação das compensações de aceleração em função da frequência na avaliação da vibração em relação ao corpo humano em vários eixos.	16
Tabela 3 – Fatores de aceleração ponderada em função da frequência.	17
Tabela 4 – aceleração a_w ponderada e classificação de conforto.	21
Tabela 5 – Critério de julgamento e tomada de decisão.	24
Tabela 6 – Características biomecânicas dos indivíduos.	32
Tabela 7 - Acelerações r.m.s pista de asfalto.	68
Tabela 8 – Acelerações r.m.s pista de terra.	68
Tabela 9 - Acelerações r.m.s pista de terra.	69
Tabela 10 – Comparativos dos resultados de VDV pista de asfalto.	70
Tabela 11 – Comparativos dos resultados de VDV pista de terra.	70
Tabela 12 – Comparativo de resultados de VDV para pista de paralelepípedo.	70

LISTA DE SÍMBOLOS

CVC – Composição Veicular de Carga.

a_w – Aceleração compensada (ponderada) [m/s²]

T – Duração da medição [s]

W_i – Fator de compensação

a_{mj} – Aceleração r.m.s. [m/s²]

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⁻¹]

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

ACGIH – Conferencia Americana de Higiene Industrial e Governamental

PBTC – Peso Bruto Total de Carga

RMS 8h – Valor do RMS extrapolado para 8 horas diárias de exposição

VDV 8h – Valor do VDV extrapolado para 8 horas diárias de exposição

1. INTRODUÇÃO

A grande demanda mundial por alimentos, produtos eletrônicos e minerais e a necessidade de escoamento mais rápido destes produtos resultou em uma intensificação da indústria automotiva nas primeiras décadas do século XX, levando à produção em massa de motos, carros, ônibus e caminhões em todo o mundo.

No Brasil, segundo dados da FENABRAVE, foram emplacadas 5.767.886 unidades de veículos automotores no ano de 2011, sendo os mesmos subdivididos por categorias conforme tabela 1.

Tabela 1- Número de emplacamentos de veículo e implementos rodoviários no Brasil.

Veículos	2011	2010	2009	2008
Automóveis e Comerciais Leves	3.425.596	3.328.950	3.009.482	2.671.338
Caminhões	172.661	157.409	109.146	123.283
Ônibus	34.749	28.546	22.598	26.336
Implementos Rodoviários	58.577	58.812	40.254	51.337
Motos	1.940.564	1.803.772	1.609.251	1.925.514
Outros (reboques)	83.153	66.656	52.299	51.689

Fonte: <http://www.fenabrave.com.br>

Todos os veículos apresentados na Tabela 1 são considerados meios de transporte de carga, mas para efeito deste trabalho, o foco está nos veículos automotores de maior capacidade, mais especificamente os referidos como CVC (Caminhão + Implementos), com capacidade de carga acima de 15 toneladas.

O tipo desta composição depende especificamente da carga a ser transportada. A grande variedade de cargas gera diferentes combinações que formam um amplo mercado, no qual são investidos milhões em infraestrutura, pesquisa e desenvolvimento de novos produtos.

Por outro lado, principalmente em nosso país, apesar de se investir muito na fabricação e desenvolvimento de novos produtos, ainda há muito a ser melhorado em questão de infraestrutura, das estradas por exemplo. No Brasil, o estado de conservação das pistas varia muito, tendo locais de boa trafegabilidade e outros trechos com buracos e ondulações, o

que gera diferentes problemas não apenas com quebra de produto, mas também com aumento no custo do transporte e poderá causar danos à saúde dos condutores dessas composições veiculares de carga (CVC). Apesar de o transporte rodoviário estar bem difundido em todo o mundo, a preocupação em relação à saúde e conforto dos motoristas é recente, sendo que se questiona bastante o tempo de trabalho diário e a interação do veículo com o solo (pista), a qual gera vibrações que são transmitidas aos motoristas podendo causar inúmeros danos a sua saúde.

A vibração que o corpo humano fica exposto pode ser um sério agente de risco à saúde podendo causar danos ao organismo e danos à coluna vertebral. Estes danos dependem de vários fatores como intensidade das vibrações, local de exposição, aceleração e o tempo de exposição.

Os danos e desconfortos causados pela vibração vêm sendo estudados nas últimas quatro décadas, sendo um assunto de grande importância, por não se tratar apenas da vida útil do produto e sim da saúde de quem o opera.

O Ministério da Saúde do Brasil (Portaria 1339, 1999) considera a vibração um agente de grande risco ocupacional, sendo hoje em dia difícil de mapear a os níveis de acelerações que os seres humanos estão expostos diariamente. Neste caso, podem-se citar como exemplo os motoristas de máquinas como tratores e Composições Veiculares de Cargas (CVC), os quais normalmente passam mais de 8 horas trabalhando expostos a acelerações.

Neste contexto, o presente trabalho visa estudar um destes casos, ou seja, verificar a intensidade das vibrações, as quais os motoristas de Composições Veiculares de Cargas (CVC) são expostos diariamente.

1.1 Motivação do trabalho

As doenças ocupacionais vêm causando uma grande preocupação por parte dos empregadores e governos. Entre estas várias enfermidades, se podem citar a lombalgia que é uma dos agentes causadores de afastamentos do trabalho no Brasil, estima-se que pelo menos 10 milhões de pessoas estão incapacitadas de trabalhar devido a problemas lombares no país e que 70% da população sofrerão com algum episódio de dor durante sua vida (Teixeira, 1999). Vários fatores podem ser causadores de lombalgia, entre os quais está o excesso de peso, longo tempo na posição sentada, repetitivas inclinações, rotações do corpo, vibrações (Sacco, 2003).

Com todas estas possíveis causas vêm a necessidades de se averiguar as condições dos trabalhadores em referência a estes fatores, levando a necessidade de pesquisas sobre estes diferentes assuntos. Em função destes dados e a partir do empenho do grupo de diferentes pesquisadores e centro de pesquisas, destacamos os pesquisadores do GMAp (Grupo de Mecânica Aplicada) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que vêm estudando os danos referentes à exposição dos seres humanos à vibração em seu ambiente de trabalho, destacando-se neste sentido várias Dissertações e Teses orientadas pelo Prof. Alberto Tamagna, veio a motivação para esta pesquisa sobre os referidos danos aos motoristas de Composições Veiculares de Carga (CVC). Ainda, segundo pesquisa realizada no estado de São Paulo, pelo Hospital das Clínicas, 59% dos motoristas de Composições Veiculares de Carga do estado sofrem Lombalgia (Andrusaitis, 2004).

Sacco (2003) afirmam que as dores na coluna vertebral e nos membros superiores são relatadas por motoristas que trabalham por longos períodos diários, demonstrando-se assim a importância do referido trabalho científico e justificando-se o empenho de diferentes pesquisadores em disponibilizar dados científicos a comunidades sobre uns dos vilões da saúde pública do Brasil. Sendo assim, o presente trabalho visa verificar a magnitude da vibração a qual os motoristas de Composições Veiculares são expostos diariamente.

1.2 Objetivos

Verificar o nível de vibração a qual os motoristas de composições veiculares estão expostos durante a operação destes veículos conforme norma ISO 2631-1 (1997).

Instrumentar e medir as acelerações em diferentes situações, considerando tanto pistas especiais quanto vias públicas, além de considerar situações de semirreboque carregado e vazio com dois motoristas para cada teste.

1.3 Contribuição do autor

O presente trabalho apresenta dados medidos em diferentes tipos de pistas, que ajudam a similar as diferentes situações encontradas pelos motoristas de Composições Veiculares de Carga em diferentes condições de pistas. Todos estes dados coletados nestas pistas levaram a

um maior conhecimento dos níveis de acelerações e Valores de Dose de Vibração, que os motoristas estão expostos quando da operação das composições veiculares de carga.

1.4 Estrutura do trabalho

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

Capítulo 1: neste capítulo é apresentado uma introdução da área de estudo e sua importância, ressaltando a justificativa e os objetivos do trabalho;

Capítulo 2: neste capítulo é abordada a revisão das normas existentes, efeitos da vibração ao corpo humano, partes do corpo mais afetadas e trabalhos realizados;

Capítulo 3: este capítulo apresenta os procedimentos experimentais, as características dos motoristas e veículos utilizados nos experimentos e os programas de aquisição e tratamento de dados;

Capítulo 4: neste capítulo são apresentados os resultados obtidos;

Capítulo 5: apresenta as conclusões dos resultados;

Referências bibliográficas e apêndices.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 – Vibração no corpo humano

O corpo humano é um sistema complexo com inúmeros mistérios a serem descobertos. Este sistema é afetado por diferentes meios agressores, que agem muitas vezes sigilosamente para impedir seu bom funcionamento.

Um destes meios agressores é a vibração à qual o corpo humano é exposto diariamente e sua influência vem sendo estudada desde 1862, quando Raynaud publicou sua tese sobre os distúrbios vasculares que foram observados em trabalhadores expostos à vibração em suas mãos e braços. Estes distúrbios foram confirmados pelo Italiano Loringa em 1911. Ele verificou os referidos distúrbios em trabalhadores que operavam martelinhos pneumáticos em pedreiras na cidade de Roma na Itália (Stellman, 1998).

Estudos epidemiológicos sobre os efeitos da vibração ao corpo humano foram intensificados após a Segunda Guerra Mundial, quando houve uma expansão industrial movida pela necessidade de novos armamentos bélicos, meios de comunicações e transportes mais eficientes. Em 1950, com a substituição do corte manual (serrote) por corte com motosserras, foi constatado um aumento das lesões nas mãos e nos braços (Yamata e Sakakibara, 1994).

Com o aumento do aparecimento de lesões causadas pela vibração no corpo humano, pesquisadores buscaram formas de representarem as pesquisas em situações reais em ambiente controlado (laboratório) e desenvolvendo modelos matemáticos. Um destes modelos foi descrito por Coermann (1962) desenvolveu um modelo biodinâmico para representar matematicamente a transmissibilidade da vibração ao corpo humano, deixando de considerá-lo apenas como uma massa rígida. Suggs et al (1969) reconheceu a contribuição de todos os trabalhos anteriores para o desenvolvimento de novos assentos e suspensões e propôs um modelo de biomecânicos com dois graus de liberdade, para representar o sistema do corpo humano.

A falta de dados em situação real e a dificuldade dos vários modelos matemáticos propostos na literatura para representar as características dinâmicas do corpo humano em condições normais levaram vários cientistas e pesquisadores a desenvolver diferentes

trabalhos científicos nas áreas da ergonomia, transmissibilidade e efeitos das vibrações ao corpo humano ao redor do mundo. Entre estes cientistas podem-se citar Griffin, Taylor, Wasserman, Boileaul, Bovenzi, Narini, Rodgers, Hedlund, Matsumoto; Kitazaki, Hansson Sakakibara, Balbinot, Cunha. Anflor, Becker, Webber, Andrusaitis. Estes autores contribuíram para a criação e evolução das normas ISO 8041, ISO 2631-1, ISO 2631-2, ISO 5349, ISO 10819, BS 6841 e da diretiva 2002/44/CE.

Porém, segundo Becker (2006), ainda hoje faltam evidências de que exista associação ente curvas subjetivas de sensação equivalente e riscos reais para a saúde de pessoas expostas à vibração, o que põe em dúvida a sua utilização para desenvolver os métodos propostos na norma ISO 2631 – 1997, que visam proteção à saúde.

Por este motivo, apesar de haver as normas técnicas e vários artigos científicos para servirem de guia, ainda há muito a se pesquisar sobre os diferentes efeitos da vibração que incide sobre o corpo humano.

2.2 – Normas sobre Vibrações

Este capítulo trata especificamente das normas sobre vibrações no corpo humano. São vistas as normas ISO 2631 de 1978, 1985, 1997, BS 6841, diretiva 2002/44/CE.

2.2.1 – ISO 2631 (1978 e 1985)

Define os valores numéricos e os limites de exposição às vibrações transmitidas ao corpo inteiro por uma superfície sólida, na amplitude de 1 a 80 Hz. Os limites são definidos por três critérios:

- Nível de redução do conforto;
- Eficiência reduzida (fadiga);
- Limite de exposição (preservação da saúde e segurança).

A norma determina que não é recomendável ultrapassar o limite de exposição, sem justificativa especial ou preocupações adequadas. Esta orientação não possui uma definição específica na norma, sendo que a mesma declara apenas que devemos observar o grau de risco permitido, para que a exposição à vibração não seja prejudicial a saúde.

Para o nível de eficiência de trabalhadores a norma específica que se deve manter o nível de exposição dentro da faixa normatizada. A norma cita também o desconforto ocasionado por vibrações menores que 1 Hz, as quais podem causar enjojo e mal estar, mas não especifica nenhuma recomendação sobre a mesma.

A norma especifica, ainda, limites de tempos de exposição do ser humanos a vibrações e níveis de conforto que serão visto posteriormente.

2.2.2 – BS 6841 (1987)

A Norma BS 6841 veio para complementar a ISO 2631 com novas possibilidades, técnicas e métodos mais evoluídos.

Esta norma trata da aplicação em diferentes formas, em múltiplos eixos e múltiplas frequências em uma faixa maior que a ISO 2631, esta faixa varia de 0,5 a 80 Hz, além de trazer e quantificar a oscilação vertical para frequências de 0,1 a 0,5 Hz. Outra novidade é o fator de Pico baixo para a faixa de frequência 0,1 a 0,5 Hz e fator de pico alto para a faixa de 0,5 a 80 Hz.

Para valores de pico elevados, usa-se o valor de dose da vibração que é a relação entre a quarta potência da aceleração e da duração da exposição à vibração. Isto define uma dependência temporal pura e simples para uma duração de 24 horas, a qual pode ser comparada com as relações encontrada na ISO 2631 (1978), tendo estas um nível de complexidade maior, e definindo a restrição de trabalhos em uma faixa de 1 minuto a 24 horas.

As alterações às ponderações de frequência nesta norma foram parcialmente projetadas para eliminar a necessidade de fatores multiplicadores para a vibração horizontal. Isto simplifica a avaliação das vibrações que ocorrem nos três eixos principais sobre uma superfície com apoio, e remove a potencial confusão quando comunicados os valores ponderados.

2.2.3 – ISO 2631 (1997)

O conceito de ponderação com o procedimento de avaliação de frequência múltipla e vibração aleatória é similar à BS 6841 (1987). Para determinar os efeitos de saúde, as

principais diferenças são: (I) a restrição aparente de avaliação para pessoas sentadas; (II) a restrição possível somente a vibração vertical da pessoa sentada; (III) o uso de diferentes fatores de multiplicação para a vibração horizontal; (IV) o uso da frequência ponderada W_k no lugar de W_b para avaliar a vibração vertical.

ISO 2631(1997) sugere que a vibração, a multiplicação dos eixos horizontais e transversais por 1,4, este é um fator de avaliação da vibração.

A norma ISO 2631 (1997) substitui as versões anteriores desta, tendo como principal finalidade definir métodos para qualificar a vibração no corpo inteiro, levando em consideração:

- Saúde humana e conforto;
- Probabilidade da percepção da vibração;
- A incidência de doenças do movimento.

Esta nova versão da norma não contém limites de exposição de vibração, entretanto apresenta novos métodos que foram definidos para ser usados como base para definir limites de exposição, levando em conta a ergonomia do trabalhador, situação de trabalho e nível de exposição. Junto com este novo método de cálculo a norma apresenta os eixos para medição das frequências, instrumentos para medição e os danos da vibração à saúde, ao conforto e à percepção humana.

A faixa de frequência é a mesma da BS 6841, sendo considerada a faixa de 0,1 a 0,5 Hz para doenças do movimento (enjoo e mal estar) e a faixa de 0,5 a 80 Hz para considerações em relação à saúde, conforto e percepção.

2.2.4 – Diretiva Europeia 2002/44/CE

A Diretiva 2002/44/CE de 25/06/2002 (European Commission, 2002), foi publicada no jornal oficial da Comunidade Europeia em 06/07/2002 e vem a público para expor requisitos mínimos de segurança e saúde dos trabalhadores expostos à vibração de corpo inteiro ou de membros.

Esta Diretiva tem como finalidade criar dispositivos legais para que os empregadores possam tomar ações que diminuam a incidência de doenças causadas pela vibração no ser humano e, com isso, diminuam significativamente os casos dessas doenças e os processos legais pedindo benefícios. Segundo a Diretiva, independente da situação de trabalho, os

trabalhadores não podem ser expostos a níveis acima dos limites estabelecidos. Caso isso ocorra, deverá o empregador se explicar perante a lei as situações que motivaram esta ocorrência, tomando medidas imediatas para a não reincidência.

A avaliação do nível das acelerações baseia-se no cálculo da exposição diária por um período de 8 horas de exposição contínua em mãos e braços ou corpo inteiro.

Em referência a mãos e braços para aceleração rms o limite de ação é $2,5 \text{ m/s}^2$ e limite de exposição é 5 m/s^2 . Para corpo inteiro para aceleração rms o limite de ação é $0,5 \text{ m/s}^2$ e limite de exposição é $1,15 \text{ m/s}^2$ e para os valores de VDV o Limite de ação é $9,1 \text{ m/s}^{1,75}$ e limite de exposição $21 \text{ m/s}^{1,75}$.

2.2.5 – NR 15

A NR 15 institui que a vibração é um fator de risco à saúde e passível de insalubridade quando:

As atividades e operações que exponham os trabalhadores, sem a proteção adequada, às vibrações localizadas ou de corpo inteiro, serão caracterizadas como insalubres, através de perícia realizada no local de trabalho (Fonte NR 15).

As perícias, visando à comprovação ou não da exposição, devem tomar por base os limites de tolerância definidos pela Organização Internacional para a Normalização - ISO, em suas normas ISO 2631 e ISO/DIS 5349 ou suas substitutas (Fonte NR 15).

2.2.6 – NHO 09

A NHO 09 é a primeira norma técnica brasileira que tem como objetivo estabelecer critérios e procedimentos de avaliação da exposição do ser humano à vibração de corpo inteiro, o que pode causar diversos danos à saúde do ser humano.

A referida norma é baseada na ISO 2631 – 1 (1997), ISO 8041 (2005) e na diretiva Europeia 2002/44/CE, as quais devem ser levadas em consideração sempre que for utilizar a NHO 09, procurando verificar se as normas citadas não possuem versões atualizadas que possam ser usadas para a análise dos resultados.

Para fins de comparação a norma especifica limites de exposição e limites de ação, independentes das jornadas de trabalho, os limites expostos pela aceleração resultante de

exposição normalizada (aren) e o valor de dose de vibração resultante (VDVR). Os valores de VDVR é levando a adquirir maior importância, quando da ocorrência de choques significativos. Os limites a representados servem para o julgamento da necessidade de tomar medidas preventivas e corretivas, visando uma redução da exposição diária, isso ocorre quando os valores da aceleração resultante de exposição normalizada (aren) e valores de dose de vibração resultante estão dentro do limite de ação estipulado pela norma.

É considerável de carácter obrigatório a adoção de medidas de controle quando os limites citados acima (aren e VDVR) estiverem acima dos valores de permitidos para exposição, sendo que acha convicção técnicas que estes níveis de exposição sejam inaceitáveis.

2.3 – Danos ao corpo humano

Segundo a Norma ISO 2631 (1997), diversas pesquisas na área biomecânica e na área de epidemiologia mostram evidências de um elevado risco de deterioração da saúde de pessoas expostas a longos períodos de VCI de alta intensidade.

Esta exposição prolongada pode gerar problemas de saúde como:

- Dores lombares;
- Problemas no sistema circulatório;
- Problemas no sistema urológico;
- Distúrbios no sistema nervoso central;
- Fadiga;
- Insônia;
- Dor de cabeça.

Os efeitos da vibração no corpo humano dependem de vários fatores como intensidade da vibração, dos limites de frequências, direção, ponto de penetração, tempo de exposição e forma de aplicação diária (Sebastião e Marziali (2008)). Sendo assim, quando o corpo humano é exposto a vibrações de baixa frequência (0,1Hz a 0,5 Hz), estas podem provocar problemas como enjoo, mal estar entre outros sintomas (doenças de movimento). Em frequências de 0,5Hz a 80 HZ podem ocorrer danos significativos em relação a saúde, conforto e percepção. Com isso, provocam diminuição nas capacidades humanas, prejudicando a execução de tarefas simples realizadas diariamente.

De acordo com a intensidade da vibração existe a possibilidade da ocorrência de alguns distúrbios, sendo que é importante lembrar que ainda não temos comprovação científica que estas doenças sejam causadas diretamente pela vibração, ao qual o ser humano é exposto. Estes distúrbios estão expostos abaixo (fonte: www.prof2000.pt, Macedo (1998)).

- Vibrações de muito baixa frequência (< 1 Hz).
 - Estimulam o labirinto;
 - Perturbam o Sistema Nervoso Central (SNC);
 - Podem produzir náuseas e vômitos;

- Vibrações de baixa frequência (1 a 20 Hz).
 - Patologias diversas ao nível da coluna vertebral, lombalgias lombocíaticas e hérnias;
 - Agravam lesões raquidianas menores e incidem sobre perturbações devido à má postura;
 - Sintomas neurológicos: variação de ritmo cerebral, dificuldade de equilíbrio, inibição de reflexos;
 - Perturbações na visão.

- Vibrações de alta frequência (20 a 1000 Hz);
 - Perturbações osteoarticulares observáveis radiologicamente tais como: artroses, lesões de pulso;
 - Perturbações tendinosas;
 - Afecções angioneurológicas da mão que acompanham perturbações na sensibilidade. A sua expressão vascular manifesta-se por crises do tipo "dedos brancos", chamada síndrome de Raynaud;
 - Aumento da incidência de afecções do aparelho digestivo (hemorroidas, dores abdominais, obstipação).

Outros danos à saúde causados pelas vibrações e outros fatores podem ser pesquisados na Portaria n° 1339 (1999), do Ministério da Saúde.

Analisando os diversos danos citados, é possível perceber a importância de se medir e de se atenuar as vibrações à qual o corpo humano. Esta exposição diária pode ser imposta por

diferentes meios vibratórios, como máquinas fixas ou autopropelidas. Motoristas destas máquinas têm maior incidência de problemas na coluna vertebral, como pode ser observado a partir pesquisas como as de Andrusaitis (2004), Andrusti Macedo e Bastistella (2007) e Zavarize e Wechsler (2007), principalmente os que ficam trabalham por longos períodos diários.

2.4 Frequências do corpo humano

Cada parte do corpo humano possui uma faixa de frequência natural de vibração, a qual varia conforme as características do ser humano. Se uma frequência externa coincide com a frequência natural ocorre ressonância que pode potencializar os efeitos da vibração a saúde do ser humano.

De acordo com Griffin (1990), as frequências de vibração variam conforme o ambiente ou meio de exposição, sendo que o corpo pode ser afetado entre 0,5 Hz até 100 Hz, no que tange a VCI. Em pessoas sentadas, a frequência normalmente é inferior a 20 Hz. Frequências maiores (até 100 Hz) podem ser constatadas nos pisos de veículos e frequências acima de 100 Hz são observadas apenas entre trabalhadores que seguram ferramentas vibratórias. Na Figura 1 abaixo pode-se observar que o corpo humano possui frequência natural de diferentes órgãos dentro da faixa citada por Griffin (1990).

Na Norma ISO 2631-1 (1997), há uma faixa de frequência considerada entre 0,1 a 80 Hz. Esta faixa está baseada em estudos mais recentes. Com esta informação pode-se comparar a faixa de frequência de vibração exposta pela Norma com a frequência natural de diferentes partes do corpo (Figura 1).

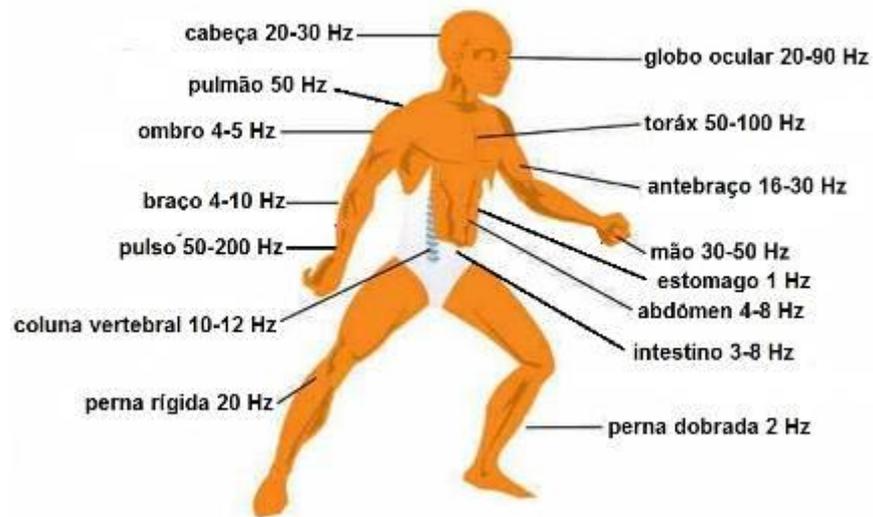


Figura 1 – Frequências naturais do corpo humano
(fonte autor)

Assim, pode-se observar que tanto na faixa proposta por Griffin (1990) quanto na faixa exposta pela Norma ISO 2631-1 (1997), o corpo humano possui a maior parte de sua composição (órgão, membros, etc) com frequência natural dentro das faixas de frequências externas citadas, lembrando que estes valores variam conforme a pessoa. Por isso, deve-se ter maior preocupação na elaboração de novos projetos, tentando minimizar a ocorrência de ressonâncias e a preservação da saúde do ser humano, em qualquer nível de exposição.

2.5 Direções de medição da vibração no corpo humano

Os eixos de medições da magnitude da vibração do corpo humano são definidos na ISO 2631-1 (1978, 1985), a qual apresenta eixos ortogonais nos principais pontos de medições. A Figura 2 apresenta as direções de medições da vibração no corpo humano.

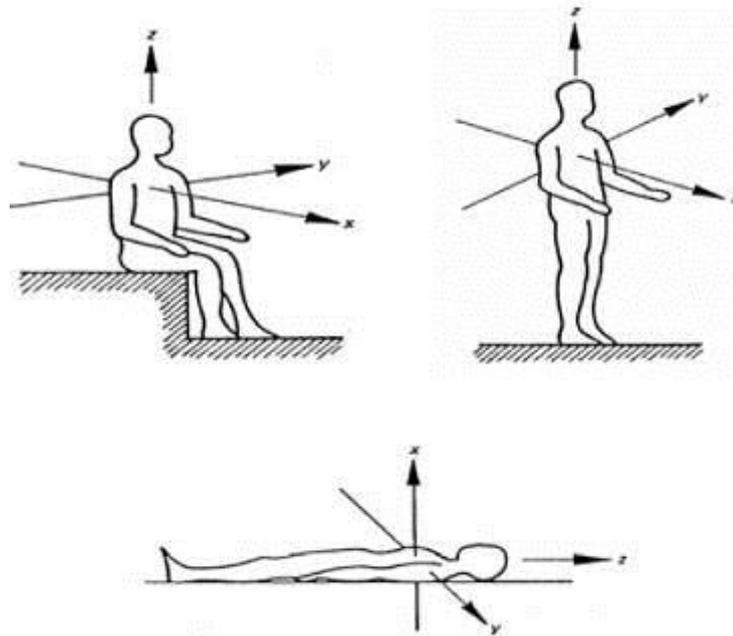


Figura 2 – Sistemas de coordenadas para medição da vibração no corpo humano

Fonte: ISO 2631-1;

A ISO 2631-1 (1997) apresenta os eixos citados acima, os eixos de medições rotacionais R_x , R_y e R_z para pessoas sentadas. Estes novos eixos de medições podem ser visualizados na Figura 3.

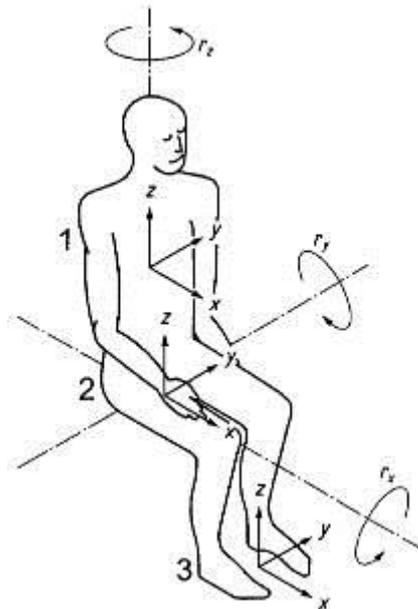


Figura 3 – Sistemas de coordenadas para medição da vibração no corpo humano

Fonte: ISO 2631-1 (1997).

As vibrações rotacionais em certos casos podem ser mais significativas que as vibrações verticais, horizontais e transversais. Por exemplo, em tratores, caminhões, em geral veículos com assento, as vibrações rotacionais dos assentos podem causar maior perturbação do que a vibração ascendente e descendente.

Segundo a ISO 2631-1 (1997), para a vibração no corpo humano, devem-se medir as acelerações translacionais expressas em metros por segundo ao quadrado (m/s^2), e acelerações rotacionais expressas em radianos por segundo ao quadrado (rad/s^2), sendo que a magnitude da vibração é obtida através das acelerações RMS (*root-mean-square*), calculada pela equação:

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{0.5} \quad (2.1)$$

Onde:

- a_w - aceleração ponderada em função do tempo (m/s^2).
- T – tempo de duração da medição (s).

Griffin (1998) em seu estudo realiza uma série de comparações entre as normas BS e ISO relativas à vibração no corpo humano. Na referida publicação é apresentada um quadro comparativo, onde é discriminado o valor dos pesos da aceleração r.m.s. em função da frequência para distintas posições conforme recomendação de cada norma. Esta tabela está representada abaixo (Tabela 2).

Tabela 2 – Aplicação das compensações de aceleração em função da frequência na avaliação da vibração em relação ao corpo humano em vários eixos.

Eixos	ISO 2631 (1974, 1978, 1985)	BS 6841 (1987)	ISO 2631 (1997)
Pessoas sentadas			
Eixo - X, superfície do assento	1,4 x w_d	w_d	1,4 x w_d
Eixo - Y, superfície do assento	1,4 x w_d	w_d	1,4 x w_d
Eixo - Z, superfície do assento	w_g	w_b	w_k
Eixo - X, Apoio das costas (assento)		0,8 x w_c	0,8 x w_c
Pessoas em pé			
Eixo - X, piso	1,4 x w_d	w_d	
Eixo - Y, piso	1,4 x w_d	w_d	
Eixo - Z, piso	w_g	w_b	
Pessoas deitadas			
Eixo - X	1,4 x w_d		
Eixo - Y	1,4 x w_d		
Eixo - Z	w_g		
Horizontal		w_d	
Vertical		w_b	

Fonte: (Griffin 1998).

As denominações w_d , w_g , w_b , w_k e w_c estão expressas na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 – Fatores de aceleração ponderada em função da frequência.

ISO 2631 (1974, 1978, 1985)
W_d = aceleração ponderada em função da frequência nas direções X e Y; W_g = aceleração ponderada em função da frequência na direção Z.
BS 6841 (1987)
W_d = aceleração ponderada em função da frequência nas direções X e Y; W_b = aceleração ponderada em função da frequência na direção Z; W_c = aceleração ponderada em função da frequência para o encosto do banco na direção X.
ISO 2631 (1997)
W_d = aceleração ponderada em função da frequência nas direções X e Y; W_K = aceleração ponderada em função da frequência na direção Z; W_c = aceleração ponderada em função da frequência para o encosto do banco na direção X.

2.6 Tempo de exposição e métodos de avaliação

Neste subcapítulo descreve-se o procedimento exposto nas normas ISO 2631-1 (1978,1985), ISO 2631-1 (1997), Diretiva (2002/44/EC) e NHO 09 (2012) para avaliar a exposição diária efetiva da vibração, sempre levando em consideração as variações de intensidade de vibrações que o corpo humano está exposto diariamente.

2.6.1 ISO 2631 (1978, 1985)

A Norma ISO 2631 (1978, 1985), apresenta critérios para estabelecer os limites de ação e limites de exposição para o ser humano em seu ambiente de trabalho. Griffin (1990) apresenta os limites de exposição de 1min a 24 horas, de acordo com esta norma (Figura 4).

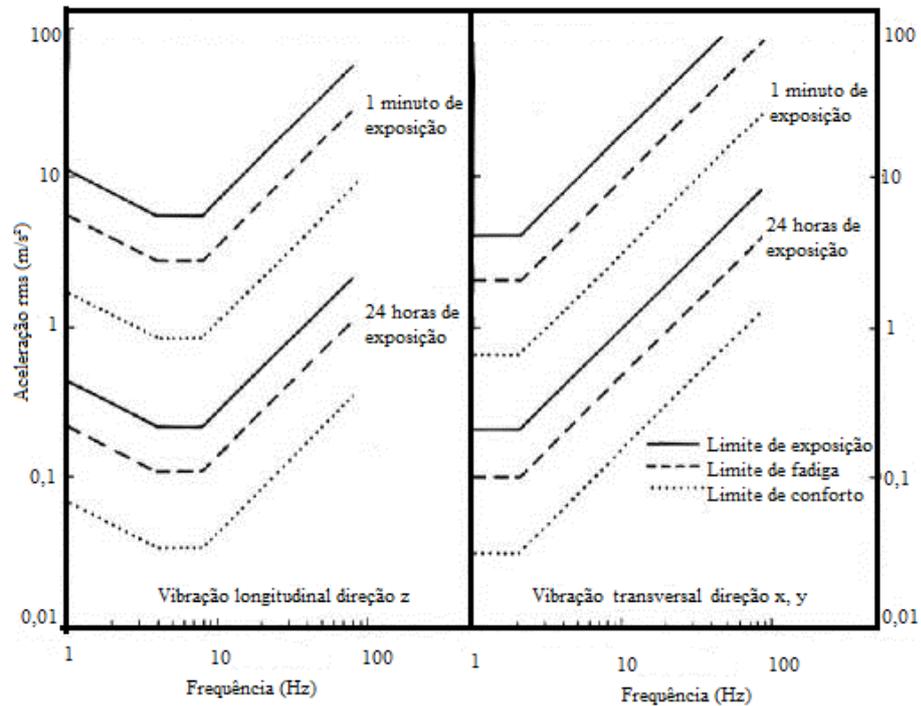


Figura 4 – Limite de exposição, fadiga e conforto de 1 min a 24 horas segundo a norma ISO 2631 (1985).

Fonte: Griffin 1990.

A norma ISO 2631 (1985) ainda é usada como base nos dias atuais. Segundo a ACGIH (2005), a referida norma deve ser levada em consideração para as medições e os cálculos dos tempos de exposições, apesar de já haver edições mais recentes de normas. Apesar da versão da norma ISO 2631 de 1997 ter excluído os limites das normas anteriores, a mesma cita que estes limites eram seguros.

Para a definição de limites a ACGIH, se baseou em vários trabalhos científicos, sobre os efeitos da vibração na coluna vertebral e nas costas. E com bases em todas as informações obtidas a ACGIH adotou como critério os limites exposto na norma ISO 2631 (1985), em relação ao limite de exposição à vibração com referência à fadiga e conforto (Cunha, 2006).

A norma ISO 2631 (1985) estabelece dois critérios para comparação dos limites de vibração do corpo inteiro: pela aceleração obtida em faixas de frequência (oitava ou 1/3 oitava) e pela utilização de um valor único de aceleração ponderada em frequências em eixos tri-ortogonais. Os limites de exposições são apresentados nas Figuras 5 e 6 para as acelerações nos eixos z, x e y, sendo que para comparar estes limites é necessário utilizar a análise de Fourier para cada eixo, em banda de 1/3 de oitava na faixa estipulada pela norma que é de 1 a 80 Hz.

A ACGIH (2005) ainda cita que, para melhor avaliar o desempenho dos operadores de veículos, os quais estão sujeitos a vibrações nos três eixos, pode-se determinar a aceleração resultante através da aceleração eficaz (RMS), que deve ser calculada para os três eixos de exposição. Estes dados poderiam servir para comparação com o nível de ação de $0,5 \text{ m/s}^2$, recomendado pela Comissão Europeia para uma jornada de 8 horas diárias (Figuras 5 e 6).

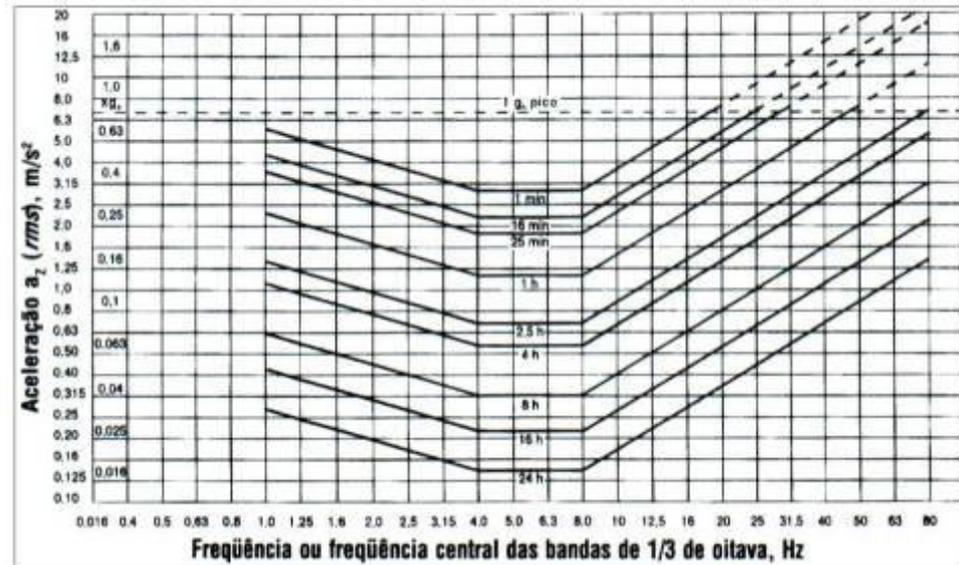


Figura 5 – Limites da aceleração a_z em função da frequência.

(Fonte: ACGIH, 2005)

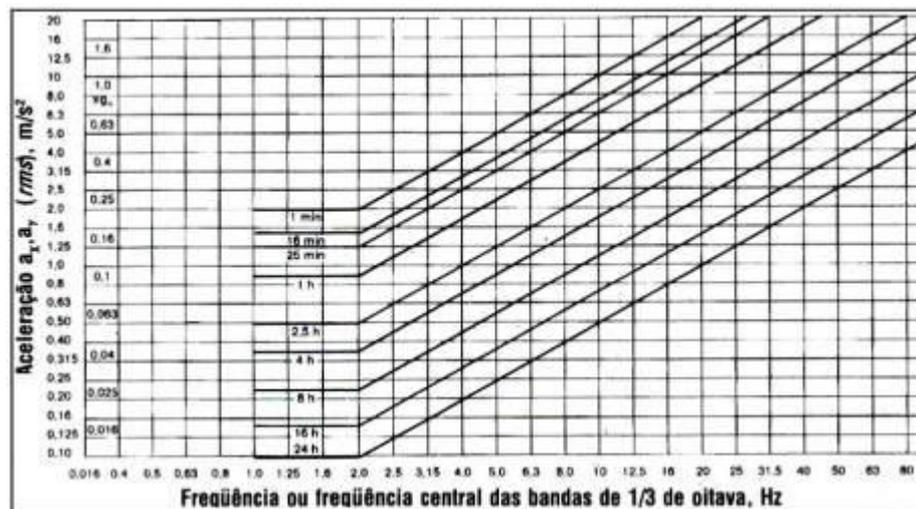


Figura 6 – Limites das acelerações a_x e a_y em função da frequência.

(Fonte: ACGIH, 2005)

2.6.2 ISO 2631 (1997)

A ISO 2631 (1997) é uma revisão das versões anteriores, que incorpora novos experimentos e utiliza diversos resultados encontrados na literatura para:

- Reorganizar parte da norma;
- Modificar os métodos de medição e análise das vibrações dos ambientes;
- Modificar a aproximação para aplicação dos resultados.

Nesta nova versão não foram citados os três critérios descritos nas versões anteriores, mas consta que os mesmos são aceitáveis e seguros. A edição de 1997 foi baseada no valor da aceleração (RMS), o valor de dose (VDV) e o valor de dose total (VDV_{total}).

A aceleração r.m.s (m/s^2) é calculada de acordo com a Equação 2.1. O maior valor encontrado (pior eixo) é inserido no gráfico da norma (Figura 7) que indica os níveis de exposição à vibração de corpo inteiro no período de 4 a 8 horas diárias de trabalho.

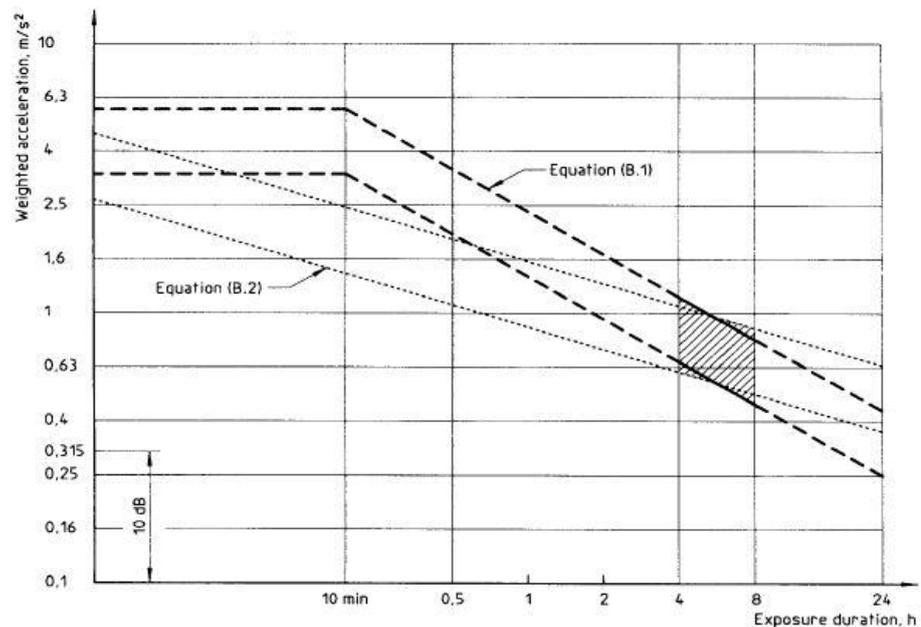


Figura 7 – gráfico de orientação das zonas de cuidado

(Fonte: ISO 2631 - 1997).

O valor de dose (VDV) é mais sensível aos valores de picos de aceleração, levando-se em conta os mesmos. A norma define como limite de valor de dose total entre 8,5 e 17 $m/s^{1,75}$,

sendo que é possível calcular o valor do VDV pela Equação 2.2 e o valor VDV_{total} que é o somatório dos VDV das diferentes amostragem e é dada pela Equação 2.3.

$$VDV = \left[\int_0^T (a_w(t))^4 dt \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2.2)$$

$$VDV_{total} = \left[\sum VDV^4 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2.3)$$

Onde:

$a_w(t)$ – aceleração ponderada da frequência;

T – Duração da medida;

t – tempo de exposição (s).

A referida norma apresenta níveis de acelerações (a_w) e indica a reação do ser humano em referência ao conforto quando exposto a acelerações apresentadas na tabela 4 abaixo.

Tabela 4 – aceleração a_w ponderada e classificação de conforto.

<i>Aceleração r.m.s</i>	<i>Classificação</i>
< 0,315 m/s	Confortável
0,315 a 0,63 m/s ²	Um pouco desconfortável
0,8 a 1,6 m/s ²	Desconfortável
1,25 a 2,5 m/s ²	Muito desconfortável
> 2,0 m/s ²	Extremamente desconfortável

Fontes: ISO 1997.

A ISO 2631 (1997) apresenta apenas uma zona de cuidado em relação aos efeitos da vibração à saúde do ser humano, sendo que esta zona é dada em um período de 4 a 8 horas de exposição, conforme Figura 7. Esta Zona de cuidado está representada por linhas tracejadas.

Segundo a norma, existem estudos que apresentam duas equações para se calcular as curvas de dependência em relação ao tempo de exposição. A equação 2.4 (equação a1) e a equação 2.5 (equação b1) estão representadas no gráfico da Figura 7.

$$a_{w1} \cdot T_1^{1/2} = a_{w2} \cdot T_2^{1/2} \quad (2.4)$$

$$a_{w1} \cdot T_1^{1/4} = a_{w2} \cdot T_2^{1/4} \quad (2.5)$$

Para a análise, deve-se calcular o valor da aceleração RMS e inserir no gráfico (Figura 7) para verificar se a mesma está ou não dentro do limite de exposição recomendado pela norma.

2.6.3 Diretiva (2002/44/EC)

A respectiva diretiva apresenta os seguintes limites de exposições e os períodos que a mesma deve ser implantada na Comunidade Europeia. Tais limites e períodos são apresentados na Figura 8.

<i>Parâmetro</i>	<i>Vibração em mãos e braços</i>	<i>Vibração de Corpo inteiro</i>	<i>Data para implementação e condições</i>
Nível de ação	2,5 m/s ² A(8) ^(a) (<i>r.s.s</i>) ^(a)	0,5 m/s ² A(8) ^(b) ou 9,1 VDV ^(c) (pior eixo)	A partir 6 de julho de 2005
Limite de Exposição	5,0 m/s ² A(8) ^(a) (<i>r.s.s</i>)	1,15 m/s ² A(8) ^(b) ou 21 VDV ^(c) (pior eixo)	A partir de 6 de julho de 2007 os equipamentos fornecidos aos trabalhadores devem possibilitar atendimento aos limites. 6 de julho de 2010 data limite para utilização de equipamentos antigos, fornecidos aos trabalhadores antes de 06 de julho de 2007, cuja operação implique exposição acima dos limites. 6 de julho de 2014 data limite para utilização de equipamentos (antigos) no setor florestal e agrícola, cuja operação implique exposição acima dos limites.

(a)- Valor normalizado para 8 horas (*r.s.s*) expresso pela raiz quadrada da soma dos quadrados dos valores da aceleração ponderada em frequência, *rms*, segundo os eixos x, y, z, conforme procedimentos e metodologia definidos pelas ISO 5349: 2001, partes 1 e 2.

(b)- A avaliação da exposição à VCI baseia-se na determinação da exposição diária A(8) expressa pela aceleração equivalente para um período normalizado de 8 horas, obtida a partir da maior parcela dos valores eficazes, ou a parcela mais elevada do valor de dose da vibração (VDV), das acelerações ponderadas em frequência determinadas segundo os três eixos ortogonais (1,4 *a_{wx}*; 1,4 *a_{wy}*; *a_{wz}*, para trabalhadores sentados ou em pé), conforme capítulos 5, 6 e 7 e anexos A e B da ISO 2631-1 (1997).

(c) VDV – Valor de dose da vibração, parâmetro a ser utilizado conforme ISO 2631-1 (1997) quando há presença de picos ou choques significativos.

Figura 8 – Limite e período de exposição de acordo com a diretiva Europeia.

Fonte: Cunha 2006

A diretiva apresenta exceções aos limites e prazos apresentados na tabela acima. São elas:

- 1) Em transportes marítimos e aéreos, para casos devidamente justificados, quando o estado da arte e as características específicas do local de trabalho não possibilitam cumprir o limite de exposição, apesar de todas as medidas já tomadas.
- 2) No caso em que a exposição semanal do trabalhador a vibrações seja menor que os valores especificados em normas, e que apenas haja situações esporádicas de trabalho com níveis de vibrações superiores ao permitido, desde que o nível de exposição média em 40 horas seja inferior ao limite de exposição. Devem-se ter evidências que comprovem este caso.

2.6.4 Norma NHO 09 (2012)

A norma NHO 09 (2012) foi desenvolvida para preencher um campo de atividade ainda não normatizado nos países. Esta é baseada na norma ISO 2631-1 (1997) e na Diretiva (2002/44/EC) e apresenta formulação equivalente para os cálculos dos parâmetros para análise de vibração do corpo inteiro (VCI).

A referida norma também usa como parâmetro da comparação os valores calculados de aceleração RMS (m/s^2), valor de dose VDV e VDV_{total} , sendo que a aceleração RMS (m/s^2) é calculada de acordo com a Equação 2.6 e comparada com os valores descritos na norma, os quais são apresentados na Tabela 5.

A equação para cálculo da aceleração RMS (m/s^2) é:

$$am_j = \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} (a^2_j(t)) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.6)$$

Onde:

am_j - aceleração ponderada (m/s^2);

$t_2 - t_1$ - Intervalo de tempo.

Tabela 5 – Critério de julgamento e tomada de decisão.

aren (m/s ²)	VDVR (m/s ^{1,75})	Consideração técnica	Atuação recomendada
0 a 0,5	0 a 9,1	aceitável	No mínimo manutenção de condição existente.
> 0,5 a < 0,9	> 9,1 a < 16,4	acima do nível de ação	No mínimo adoção de medidas preventivas.
0,9 a 1,1	16,4 a 21	região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando à redução da exposição diária.
acima de 1,1	acima de 21	acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas.

Fonte: NHO09.

No caso de analisarem-se os três eixos (x, y e z), a norma especifica o cálculo da aceleração média resultante (am_r), a qual é calculada pela Equação 2.7. Esta é apresentada na norma ISO 2631 (1997) como facultativa para casos referentes à avaliação da vibração de corpo inteiro (VCI) em referência à saúde, sendo mais utilizada para análise de conforto.

$$am_r = \sqrt{(f_x am_x)^2 + (f_y am_y)^2 + (f_z am_z)^2} \quad (2.7)$$

Sendo:

 am_j = aceleração média;

f_j = fator de multiplicação em função do eixo considerado ($f = 1,4$ para eixos “x” e “y” e $f = 1$ para eixo “z”),

O valor de dose de vibração (VDV_j) é mais sensível aos valores de picos de aceleração, levando-se em conta os mesmos. A norma define como limite de valor de dose total entre $9,1 \text{ m/s}^{1,7}$ limite de ação e $21 \text{ m/s}^{1,75}$ limite de exposição, sendo que é possível calcular o valor do VDV_j pela Equação 2.8 e o valor VDVR pela Equação 2.9.

$$VDV_j = \left[\int_0^T (a_j(t))^4 dt \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2.8)$$

$$VDVR = \left[\sum_j (VDV \exp_j)^4 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2.9)$$

Onde:

$a_w(t)$ – aceleração ponderada da frequência;

T – duração da medida;

t – tempo de exposição (s).

A norma apresenta, ainda na tabela 5 valores limites de exposição juntamente com o critério de julgamento e a tomada de decisão.

2.7 Anatomia humana

Anatomia humana é a ciência médica mais antiga que estuda a estrutura biológica, sua correlação com a função e com as modulações de estrutura em resposta a fatores temporais, genéticos e ambientais. (Moore, 2011) Tem como metas principais a compreensão dos princípios arquitetônicos da construção dos organismos vivos, a descoberta da base estrutural do funcionamento das várias partes e a compreensão dos mecanismos formativos envolvidos no desenvolvimento destas. A dimensão da anatomia compreende a correlação de mudanças estruturais de longo, médio e curto prazo de evolução associando com diferentes fases da atividade funcional normal.

O foco deste capítulo é apresentar as duas principais áreas do corpo humano que são afetadas pela vibração, quando o indivíduo está sentado.

2.7.1 Coluna Vertebral

A coluna vertebral (Figura 9) possui uma estrutura agregada que normalmente é formada por todas as 33 vértebras e pelos componentes que a unem em uma única entidade funcional e estrutural do eixo do esqueleto axial. Age como “núcleo” central semirrígido em torno do qual ocorrem os movimentos do tronco. Também age como protetor de estruturas ocas proporcionando sustentação e minimizando estresses de torção (Moore, 2011).

Sua estrutura é diferenciada evolutivamente e especializada para favorecer o desempenho de funções. Sua principal função está relacionada à mobilidade, contudo também está ligada a aspectos como:

- Possibilita e mantém da postura ereta do tronco;

- Possibilita a agilidade e movimento dos membros superiores e inferiores;
- Atua na proteção de órgãos e vísceras vitais, com auxílio das vértebras;
- Promove a absorção e dissipação de choques mecânicos e pressão gravitacional;
- Proteção da porção ramificada do sistema nervoso central.

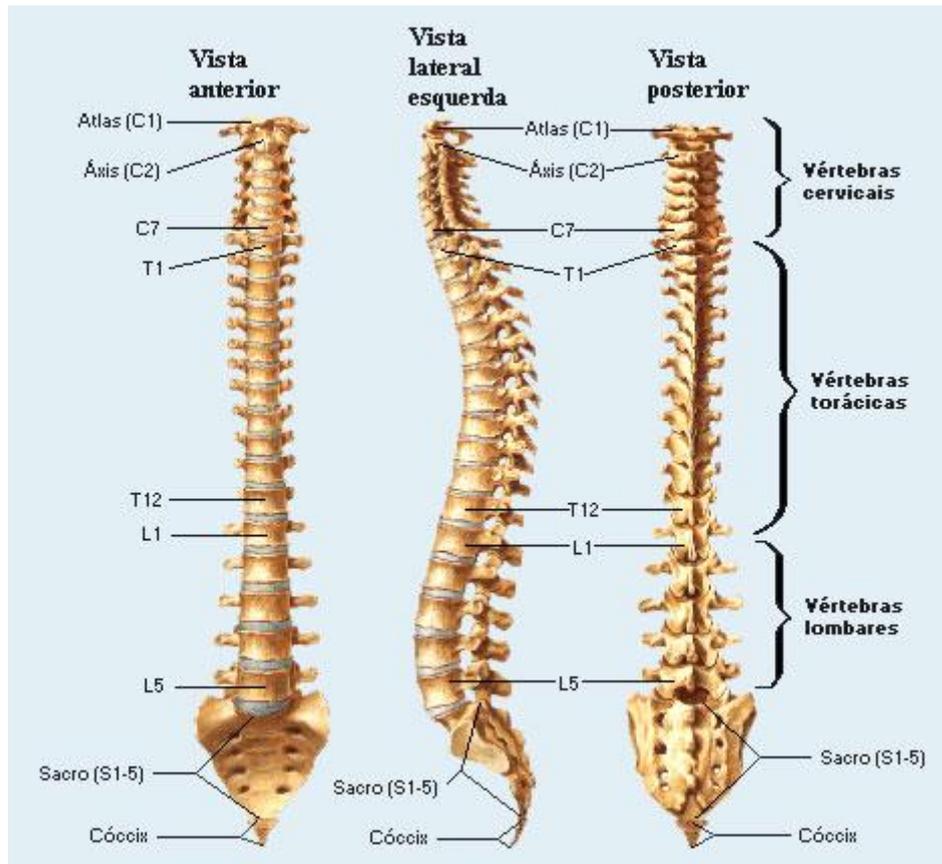


Figura 9 – Coluna vertebral

(fonte: Moore, 2011).

2.7.2 Pelves

A pelve é a parte do tronco ínfero-posterior ao abdômen e é a área de transição entre o tronco e os membros inferiores. Anatomicamente é o espaço circundado pelo cingulo do membro inferior que é dividido em pelve maior (protege a vísceras abdominais) e pelve menor (forma a cavidade pélvica e períneo).

A Cintura Pélvica é frequentemente comparada com o ombro, já que é uma articulação triaxial, capaz de funcionar em todos os três planos, e é também o elo proximal de seu

membro. Em contraste com o ombro, que é feito para dar mobilidade, a cintura pélvica é uma articulação estável, feita para sustentação de peso. A articulação do quadril está envolvida por músculos poderosos e bem equilibrados que não somente movimentam os membros como também ajudam a manter a posição do tronco.

O osso do quadril é formado por três outros ossos (íleo, ísqueo e púbis) que se fundem. Os dois "ossos do quadril" articulam-se entre si anteriormente ao nível da sínfese púbica. Posteriormente, eles se articulam com o sacro. O anel ósseo e o cóccix compõem a cintura pélvica também conhecida como pelve.

Cada metade da cintura pélvica consiste de três ossos: o íleo, ísqueo e púbis. Eles estão separados, no início da vida, mas no adulto estão unidos formando uma sólida estrutura denominada osso coxal ou osso do quadril. A bacia pélvica está fechada posteriormente pelo sacro, situado entre os dois quadris, com os quais se articula. A articulação formada pelo sacro e o íleo é cartilaginosa, sustentada por três dos mais fortes ligamentos do corpo humano, os ligamentos sacro-ilíaco anterior e posterior e pelo ligamento interósseo. A possibilidade de movimentos da articulação sacrilíaca é muito reduzida pela presença de circunvoluções de encaixe recíproca nas duas superfícies articulares. As articulações do sacro com os dois ossos do quadril são tão imóveis que praticamente toda estrutura da cintura pélvica pode ser considerada como um só osso.

O dimorfismo sexual é nítido em relação à cintura pélvica. Com efeito, quando se compara a pelve masculina com a pelve feminina, esta diferença na morfologia da cintura pélvica está ligada à função de gestação e, sobretudo ao parto.

Função:

- Proteção das vísceras;
- Estabilização do tronco;
- Juntamente com os membros inferiores, ajuda na marcha;
- Juntamente com o tronco, mantém o centro de gravidade que é o centro de equilíbrio de todas as forças;
- Qualquer movimento feito com a pelve o que se movimenta primeiro é a sacro-ilíaca (L5 S1); o movimento vai sempre iniciar e terminar no centro articular;

- Participa do movimento de enrolamento e endireitamento, juntamente com o tronco e a cabeça, com isso essa elipse é de grande importância para a formação do sistema reto.

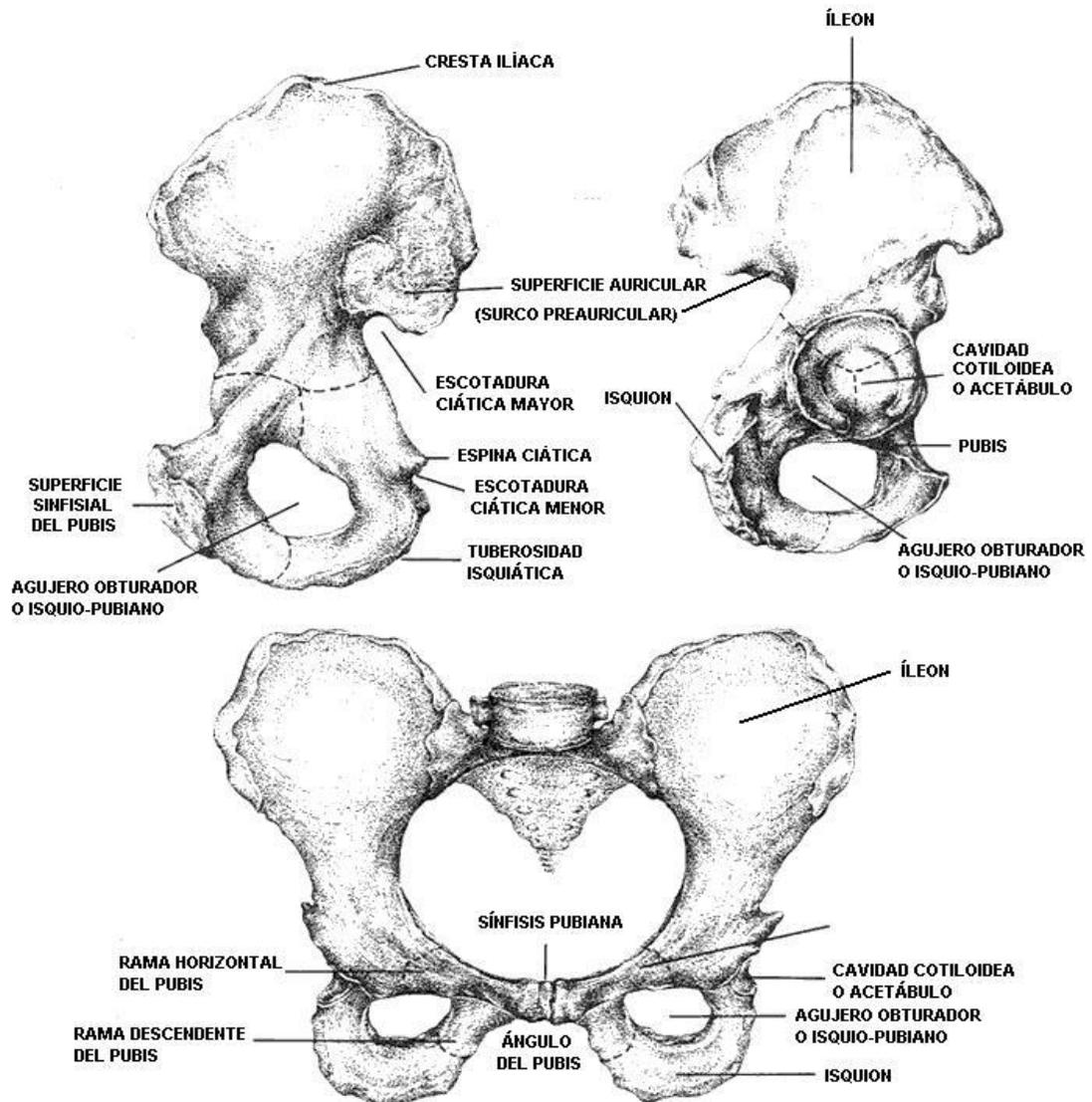


Figura 10 – Pelvis
(fonte: Moore).

Uma fratura pode ocorrer por compressão ântero-posterior. Este tipo de acidente causa fratura dos ossos do púbis. Quando a pelve é comprimida lateralmente, os acetábulos e os ílios são comprimidos um em direção ao outro e podem ser fraturados. A fratura do anel pélvico ósseo é quase sempre múltipla ou associada à luxação.

2.8 Epidemiologia

Este capítulo apresenta dois trabalhos sobre epidemiologia realizados com motoristas de caminhões no Brasil, nos últimos anos.

2.8.1 Trabalhos sobre ergonomia

Lemos (2007) realizou uma pesquisa com 470 caminhoneiros ligados a uma transportadora do estado de São Paulo. Os referidos motoristas responderam um questionário, sobre dores osteomusculares, qualidade de sono e turno de trabalho.

O primeiro questionamento era se nos últimos 12 meses eles sentiram algum desconforto. Do total de entrevistados, 27,9 % reclamaram de dores na região da coluna lombar. Outra região citada é a coluna dorsal (26,2% dos entrevistados). Na entrevista também foram citadas dores nos ombros, joelhos e pescoço.

Outros dois fatores relevantes apresentados por Lemos:

- 28% dos entrevistados afirmaram trabalhar mais de 10 horas diárias, sendo que este tempo varia para mais ou menos de acordo com o prazo da entrega.
- 53,6% dos entrevistados relataram dores em alguma região do corpo, sendo que 6,1% tiveram que se afastar do trabalho e 10,5% procuraram ajuda profissional.

Estes resultados demonstram que a maioria dos profissionais trabalha diariamente com dores e não buscam ajuda profissional.

Andrusaites (2004) entrevistou 489 caminhoneiros do sexo masculino, dos quais 410 foram selecionados para o estudo. Além de constatar (sinônimo) que 59% dos caminhoneiros apresentaram lombalgia, o autor ainda cita que dentre todas as variáveis estudadas, pode-se verificar estaticamente que o risco do motorista ter dor lombar aumenta 7% para cada hora de trabalho.

2.9 Trabalhos referentes a medições de vibração no corpo inteiro

Babinot (2001) desenvolveu uma pesquisa experimental, para verificar os níveis de vibrações em motoristas de ônibus, da cidade de Porto Alegre. O objetivo da pesquisa é averiguar se estes níveis de vibração estão de acordo com o especificado na norma ISO 2631.

As medições das acelerações foram feitas em um percurso de 18 km. Neste percurso foram medidas as acelerações, levando-se em conta o piso existente no mesmo: pistas de asfalto conservado, asfalto com pouca conservação e paralelepípedo.

As medições foram realizadas conforme as normas ISO 2631 e ISO 5349. As medições da aceleração vertical (direção z, conforme ISO 2631) foram feitas no piso próximo à fixação do banco do motorista e no acento, enquanto a medição dos níveis de vibração nos seguimentos de mão e braços (direção x, conforme ISO 5349) foi feita na mão esquerda e no ombro direito do motorista.

Com os dados da referida medição, Balbinot (2001) apresentou os seguintes resultados dos ensaios, os quais estão expostos nas figuras 11, 12 e 13 a seguir.

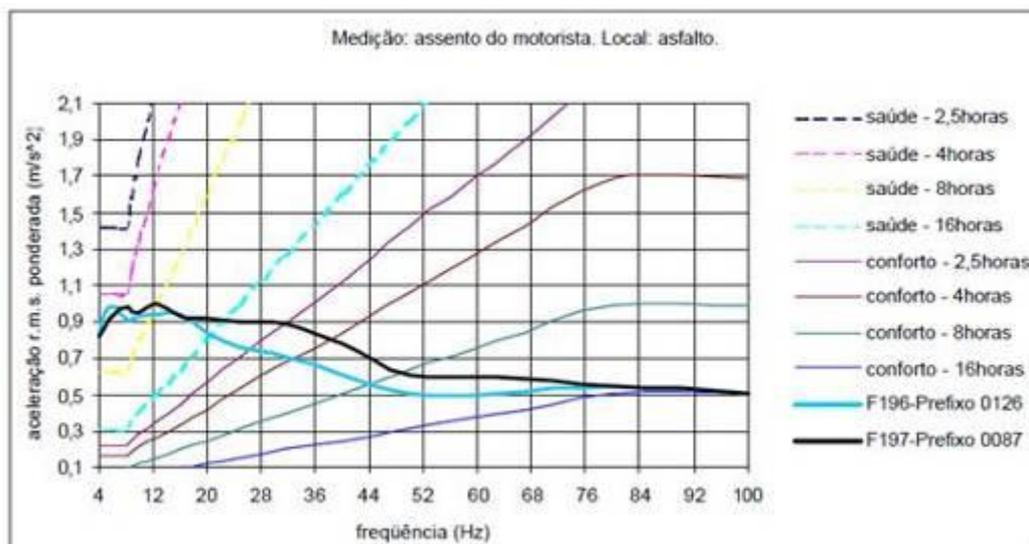


Figura 11 – Medição no assento do motorista para piso em asfalto.

Fonte: Balbinot (2001).

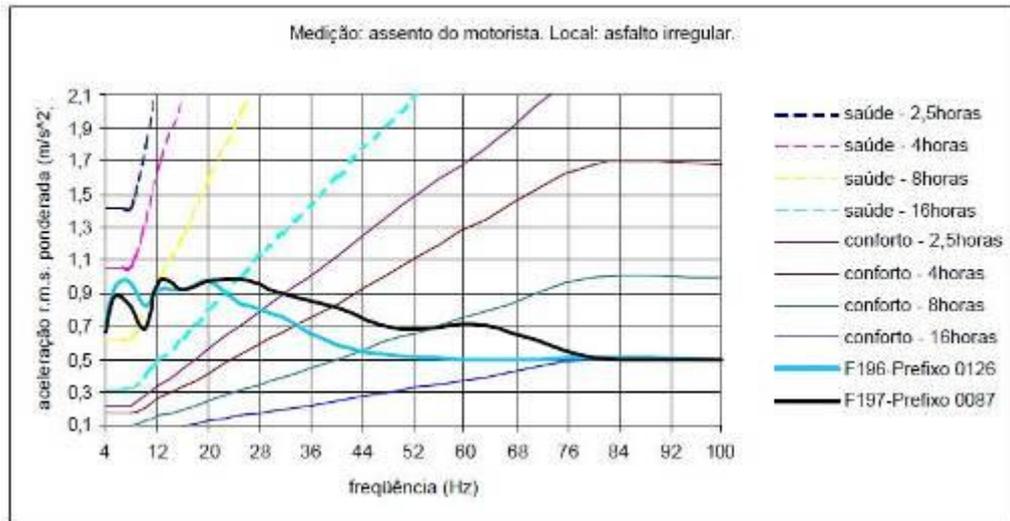


Figura 12 – Medição no assento do motorista para piso em asfalto irregular.

Fonte: Balbinot (2001).

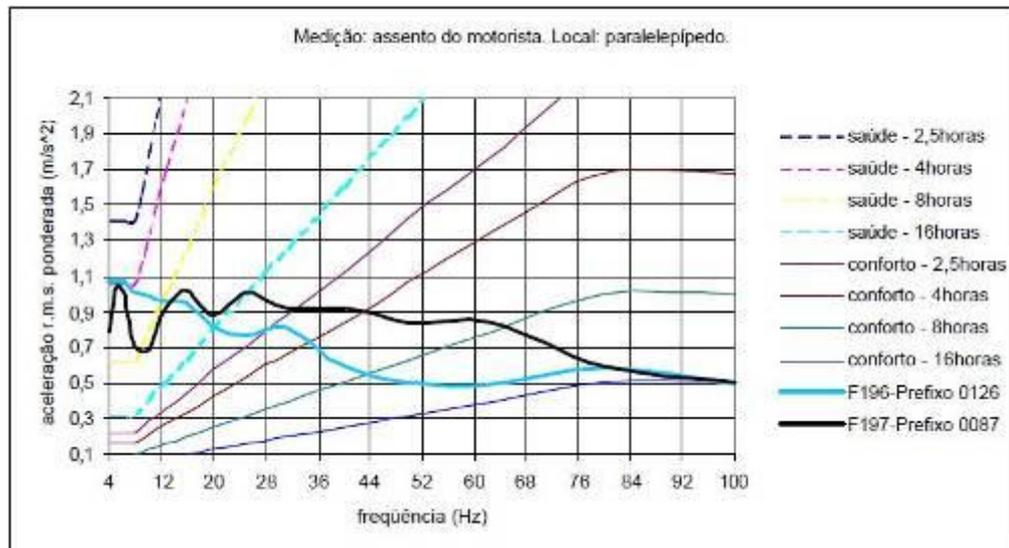


Figura 13 – Medição no assento do motorista para piso em paralelepípedo.

Fonte: Balbinot (2001).

Com relação às figuras 11, 12 e 13, o autor conclui que no que tange o conforto em um período de exposição de 2,5 a 16 horas, os valores da norma ISO 2631 (1997) foram excedidos nas faixas de 4 a 20 Hz para o piso asfaltado, de 4 a 25 Hz no piso com asfalto irregular e de 4 a 25 Hz no piso com paralelepípedo. Em relação ao que especifica a norma como limites à saúde, o autor conclui que o veículo do primeiro teste (F196 – Veículo do primeiro teste) ultrapassou o limite exposto na norma na faixa de 4 a 6,3 Hz, no piso de paralelepípedo, considerando um período de exposição de 4 horas. Considerando um período

de exposição de 8 horas diárias o autor conclui que todos os veículos ultrapassaram os limites estabelecidos na norma ISO 2631 na faixa de frequência de 4 a 10 Hz.

Anflor (2003) realizou testes em laboratório com 5 pessoas com características diferentes conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Características biomecânicas dos indivíduos

Indivíduos	Idade [anos]	Sexo	Estatura [m]	Peso em pé [kg] ± 0,2	Peso sentado [kg] ± 0,2	Impulsão vertical [m]	Impulsão horizontal [m]
A	20	Feminino	1,66	57,00	46,20	0,31	1,36
C	26	Feminino	1,62	49,00	39,80	0,36	1,53
H	24	Masculino	1,70	59,20	45,00	0,49	2,05
J	26	Masculino	1,70	83,00	67,00	0,32	1,53
T	29	Masculino	1,86	91,20	65,40	0,40	1,58

Fonte: Anflor (2003).

Após realizar os testes em uma mesa vibratória existente no laboratório de Vibrações e Dinâmica Estrutural da UFRGS, Anflor desenvolveu um modelo elástico linear de quatro graus de liberdade para representar o comprimento biodinâmico de indivíduos brasileiros. O modelo foi ajustado para responder a frequências na faixa de 4 a 40 Hz, sendo que segundo Anflor os modelos existentes respondem a uma faixa de até 20 Hz.

O modelo proposto por Anflor pode ser observado na Figura 14.

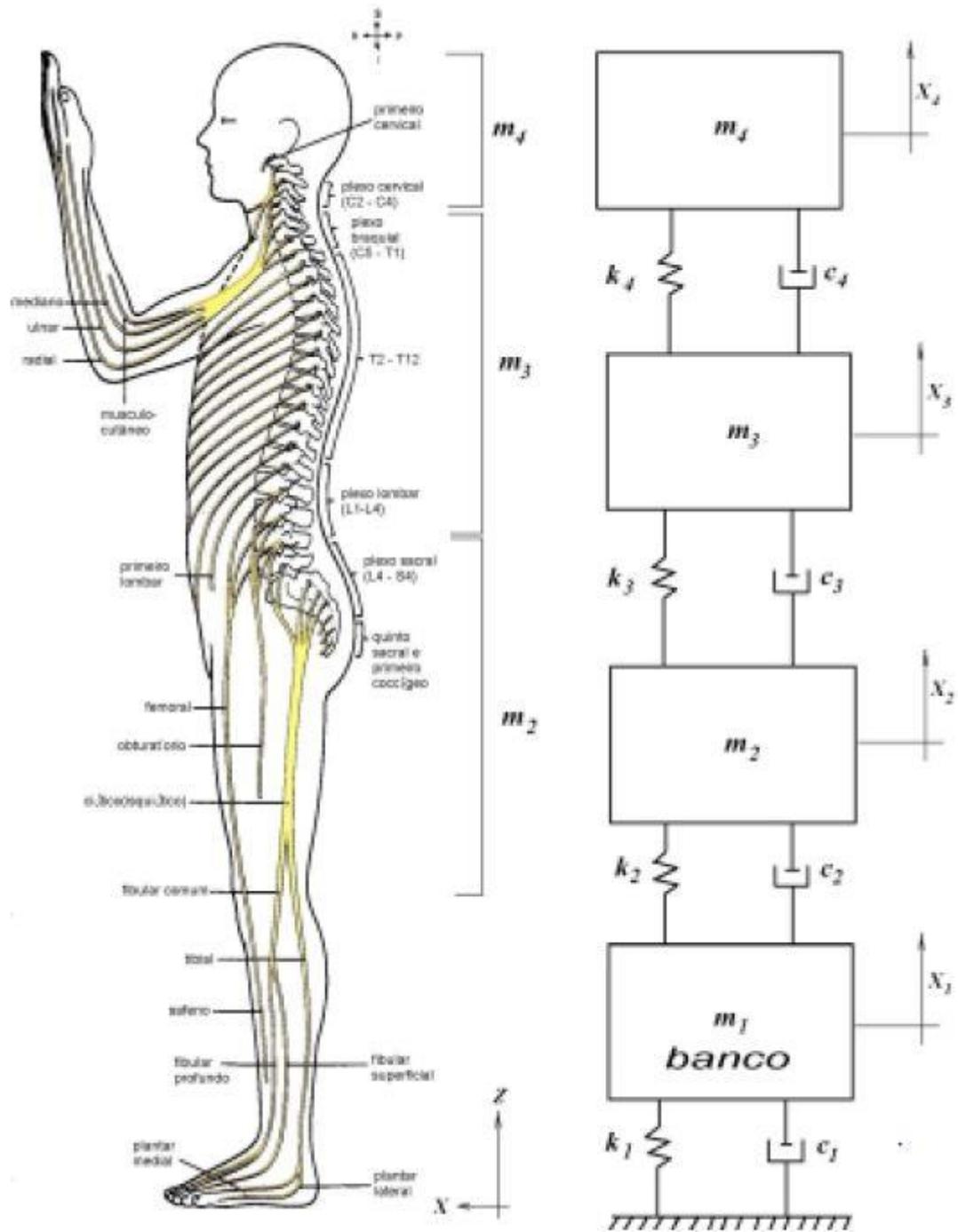


Figura 14 – Esquema do modelo de quatro graus de liberdade proposto.

Fonte: Anflor (2003).

Para validação do modelo proposto (Figura 14), foram utilizados os dados da pesquisa realizada por Babinot (2001) com motoristas de ônibus da cidade de Porto Alegre – RS. O referido trabalho apresenta um comparativo das curvas encontradas pela rotina

numérica desenvolvida e os resultados das curvas experimentais. Estes resultados estão expostos nas Figuras 15 e 16.

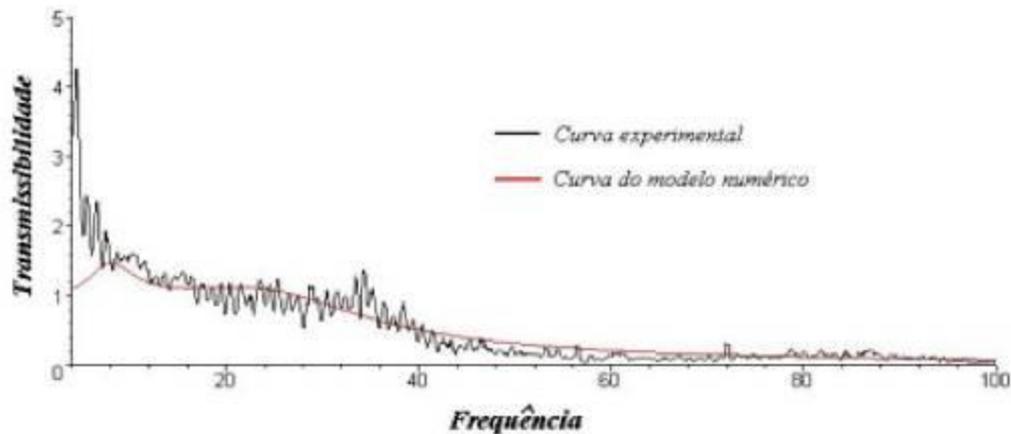


Figura 15 – Transmissibilidade entre o piso e o assento.

Fonte: Anflor (2003).

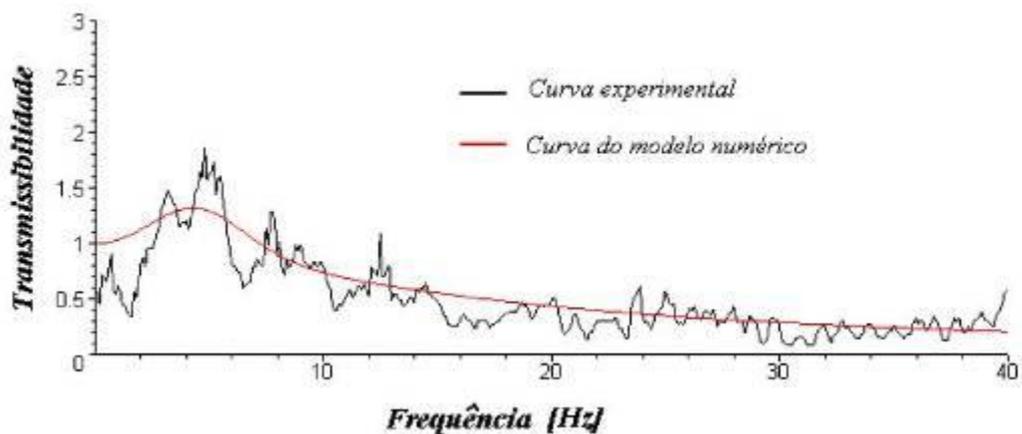


Figura 16 – Transmissibilidade entre o ombro e o assento.

Fonte: Anflor (2003).

Com base nos dados pesquisados, a autora conclui que para a Figura 15, que representa a transmissibilidade entre o piso e o assento, o erro quadrático foi de 17,74% e em relação à Figura 16, que se refere à transmissibilidade entre o ombro e o assento, o erro quadrático foi de 37,78%.

Becker (2006) desenvolveu uma mesa vibratória capaz de produzir movimentos verticais para ser usada nos estudos de vibração no corpo humano (corpo inteiro), em pessoas sentadas. A referida mesa (Figura 17) foi desenvolvida para medir parâmetros biodinâmicos de um grupo de pessoas.

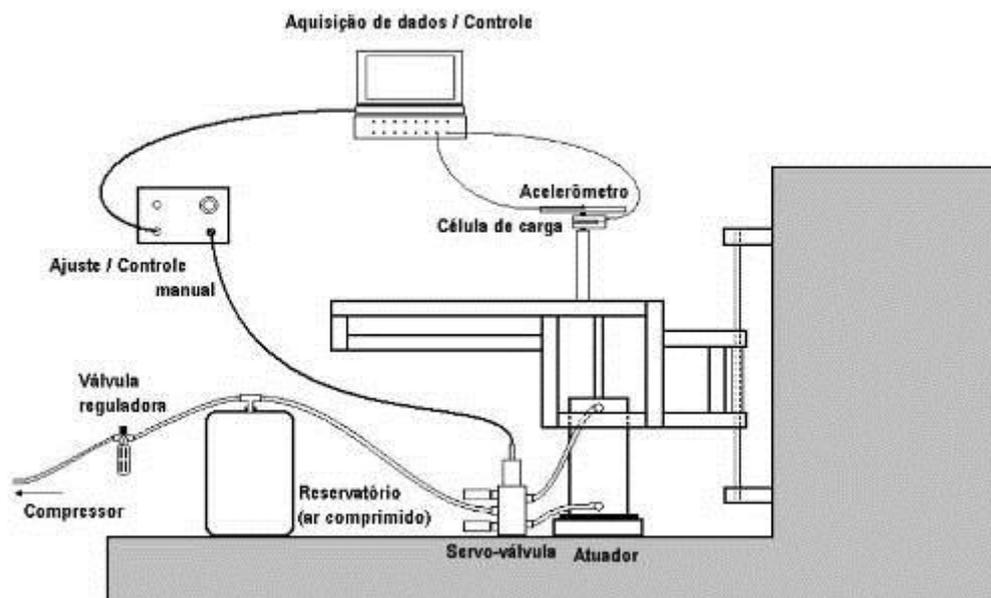


Figura 17 – esquema da mesa vibratória

Fonte: Becker (2006).

A mesa vibratória tem capacidade de movimentar uma determinada carga, mantendo o nível de aceleração e a faixa de frequência necessária para aquisição dos parâmetros biodinâmicos.

Para a aquisição dos parâmetros biodinâmicos, participaram dos experimentos dois grupos de 6 pessoas distintas, sendo 6 voluntários do corpo acadêmico na Universidade Federal do Rio Grande do sul e 6 motoristas de ônibus da cidade de Porto Alegre, os quais estão expostos a vibrações diariamente.

Para determinação dos parâmetros biodinâmicos, foram feitas medições de acelerações na direção vertical, no ponto de entrada da vibração, ou seja, o assento. Com os dados o autor (Becker, 2006) desenvolveu um modelo numérico para ajustar os modelos biodinâmicos existentes.

Quintas (2009) desenvolveu um estudo sobre o nível de ruídos e vibrações que a tripulação de uma embarcação fica exposta durante a jornada de trabalho. Os dados foram medidos em uma viagem de 23 horas da embarcação carregada. No referido trabalho, verificou-se que os níveis de vibrações encontrados estão abaixo dos níveis expostos na norma ISO 6954 de 2000 (norma que especifica o nível de ruídos e vibração em embarcações).

Com relação aos níveis de vibrações baixos, o autor destacou os níveis de ruídos na embarcação, os quais estão acima do especificado por norma e, por este motivo, o autor

direcionou seus esforços para apresentar soluções para uma melhor isolamento dos ruídos da embarcação.

Walber (2009) desenvolveu uma pesquisa para avaliar os níveis de vibrações às quais os passageiros de ônibus intermunicipais estão submetidos. Este estudo tem como objetivo principal verificar os níveis de vibrações em diferentes locais do ônibus obtendo, assim, dados para propor uma mudança conceitual do projeto de carrocerias e poltronas visando atenuar com maior eficiência os efeitos das vibrações nos passageiros.

O autor verificou que os limites estabelecidos pela norma ISO 2631 (1997) com relação ao aspecto ‘conforto’ para exposição de 2.5, 4 e 8 horas excederam-se em todas as faixas de frequências, em todos os tipos de pisos estudados. E em relação à saúde dos passageiros, verificou-se que os níveis de acelerações são superiores ao especificado na norma ISO 2631, para um período de exposição igual ou superior a 8 horas diárias.

Para enfatizar ainda mais o problema da vibração nos passageiros, o autor apresentou os níveis de vibrações a que os passageiros estão expostos mesmo com o ônibus parado, apenas com o motor ligado. Nas Figuras 18, 19 e 20 podem-se observar alguns dos resultados encontrados pelo autor na medição dos níveis de vibrações desta situação.

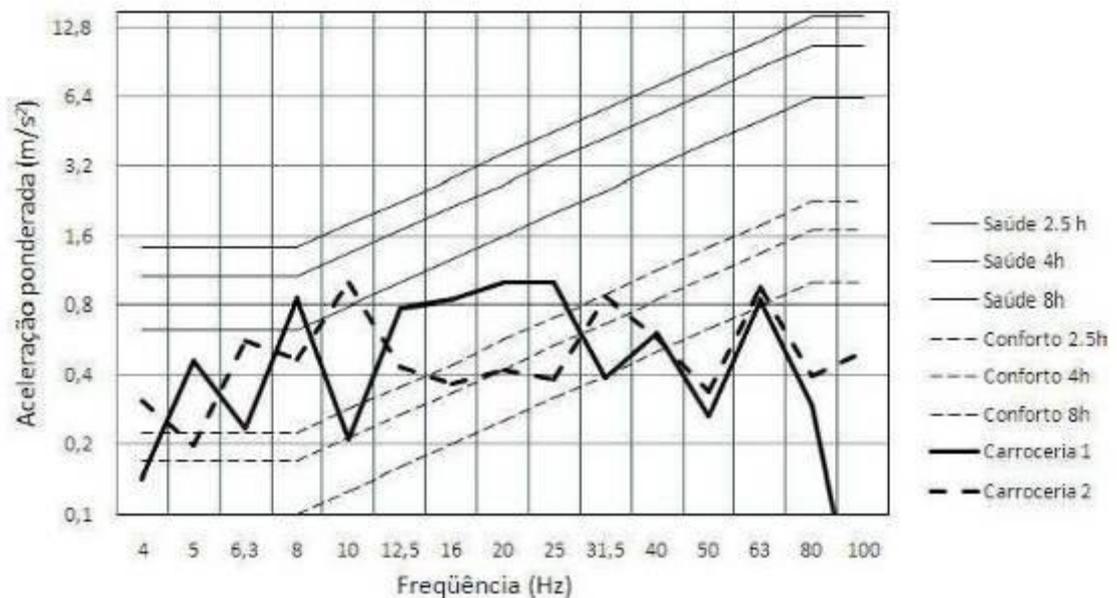


Figura 18 – Frequência no assoalho na parte frontal do ônibus (parado).

Fonte: Webber 2009.

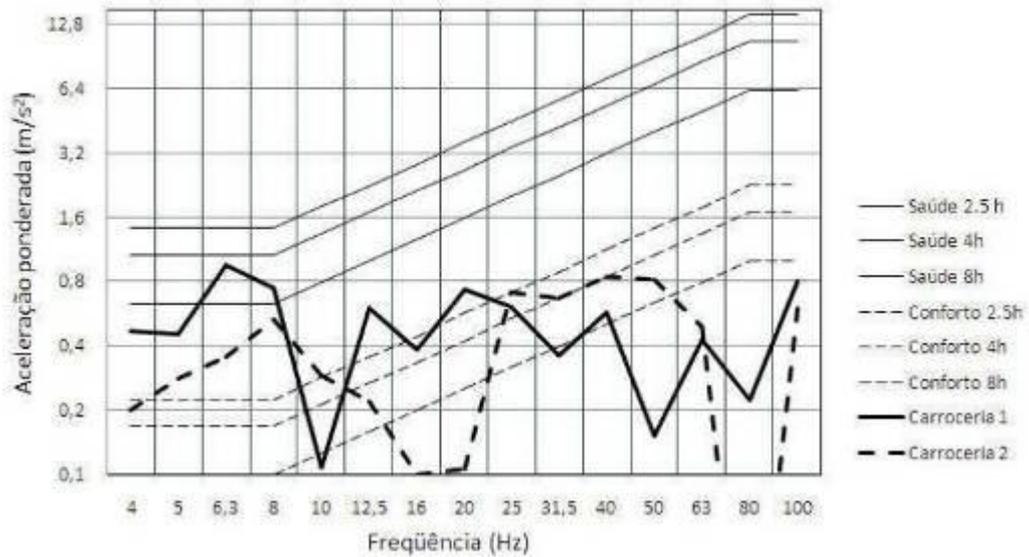


Figura 19 – Frequência no assento da parte frontal do ônibus (parado).

Fonte: Webber 2009.

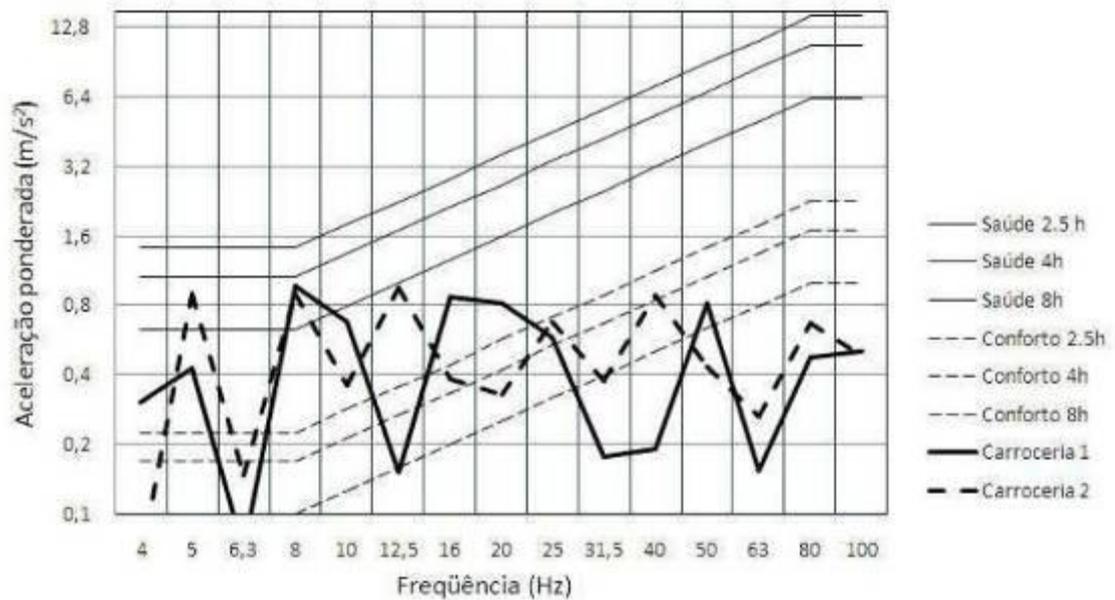


Figura 20 – Frequência no encosto, na parte frontal do ônibus (parado).

Fonte: Webber 2009.

Observando as Figuras 18, 19 e 20, é possível verificar os níveis de vibração à qual os passageiros de ônibus estão expostos. Porém, o autor apresenta, em sua pesquisa, outros dados importantes, além de um comparativo sobre o nível de fadiga dos passageiros.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo são apresentados os procedimentos utilizados para medições das acelerações, equipamentos e pistas onde foram realizados os testes.

As medições foram realizadas em pistas especiais e em vias públicas, sendo estas apresentadas nos capítulos 3.2, 3.3 e 3.4.

Nas pistas especiais foram realizadas medições com um motorista com o semirreboque carregado e algumas medições com dois motoristas e semirreboque vazio. Estes serão apresentados no apêndice A. Já nas vias públicas, seguiu-se o mesmo procedimento de teste para o motorista 1 e motorista 2, medindo acelerações com o semirreboque carregado e vazio.

Os testes foram realizados com as seguintes velocidades:

- Pista de terram 40 km/h;
- Pista de torção 10 km/k;
- Pista de buracos 20 km/h;
- Pistas de costeletas 40 km/h;
- Pista de asfalto 60 km/h;
- Pista de paralelepípedo 25 km/h.

Em todos os testes foi estabelecida as velocidades acima e os motorista tentaram manter a mesma constante tanto para os teste com o semirreboque vazio ou carregado.

3.1 Instrumentação

O teste foi realizado no campo de prova das empresas do grupo Randon, localizado em Farroupilha – RS. O referido campo exposto na figura 21 possui uma área de 87 hectares e conta com 18 diferentes tipos de pistas para testes, totalizando 15 quilômetros, além de um laboratório equipado para realização de testes de componentes de suspensões, freios entre outros.



Figura 21 - campo de prova do grupo Randon

Fonte: www.randon.com.br

São pistas de alta e baixa velocidade (asfalto), terra, medição de ruído, medição do coeficiente de atrito, pista circular, rampas, além das especiais: pedras de rio, paralelepípedos, pistas de torção, buracos, costeletas. As medições foram realizadas tanto nas pistas citadas como em pistas externas (rodovias públicas).

3.1 Instrumentação

Para realizarmos os testes instrumentamos um caminhão 6x4, o qual foi utilizado em todos os testes este caminhão é apresentado na Figura 22.



Figura 22 – Caminhão utilizado para os testes.

(foto: autor)

O caminhão da Figura 22 tem capacidade de tração de 74000 kg peso bruto total de carga (PBTC). Ele foi instrumentado para poder medir as acelerações que o motorista está exposto diariamente, tanto em pistas especiais do campo de prova como nas vias públicas.

A este caminhão foi acoplado um semirreboque de 3 eixos graneleiro, que abrange a grande maioria das Composições Veiculares de Carga (CVC) rodando nas estradas brasileiras. Este tipo de semirreboque (Figura 23) é projetado para o transporte de cargas secas como, por exemplo, grãos de soja, milho etc.



Figura 23 – semirreboque graneleiro
(fonte: autor)

Para a instrumentação foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Acelerômetros de serie10g (posicionados no banco, sendo acelerômetro transversal e acelerômetro horizontal);
- Acelerômetro de serie 5g (posicionados no banco, sendo acelerômetro vertical);
- Dois acelerômetros de serie25g (posicionados no piso e nas costas do motorista);
- Seat pad;
- Cabos de transmissão e Dell Latitude E6410;

A instrumentação foi realizada no banco do motorista conforme as Figuras 24 e 25, sendo fixado um acelerômetro uni-axial para medir as acelerações do piso (direção vertical Z), outro uni-axial para medir a aceleração nas costas (direção horizontal X) e 3

acelerômetros uni-axil fixados em um seat pad conforme Figura 26, os quais medem as direções X, Y e Z, no assento do motorista.



Figura 24– Fixação do acelerômetro no piso do caminhão.

(Fonte: autor)



Figura 25 – Fixação do acelerômetro no assento e nas costas do motorista

(Fonte: autor)



Figura 26 – fixação do acelerômetro no seat pad fixado no assento do motorista.

(fonte: autor)

Os acelerômetros utilizados são da marca Silicon Designs, Inc. e foram calibrados e sua calibração foi conferida na hora da instrumentação pelo teste 0g e 2g, onde se gira o acelerômetro 180° e verifica o valor da aceleração, sendo que a mesma tem que ser igual 2g.

Os testes foram realizados em dois motoristas em dias diferentes, sendo que os motoristas possuem as seguintes características:

- Motorista 1:
 - Idade: 41 anos
 - Peso: 85 kg
 - Altura: 1,70 m
 - Tempo de profissão: 20 anos
- Motorista 2:
 - Idade: 59 anos
 - Peso: 98 kg
 - Altura: 1,71 m
 - Tempo de profissão: 18 anos

Os dois motoristas realizaram os testes em estrada públicas, conforme descrito no capítulo 3.2. Nas pistas especiais foram realizados alguns testes para comparação dos resultados, sendo que estes foram realizados de acordo com a disponibilidade de cada pista e dos motoristas.

O computador usado para realizar a coleta de dados foi o Notebook Dell Latitude E6410 com o processador Intel Core I5 M560 2.67GHz, conforme Figura 27.



Figura 27 – Computador usado para aquisição de dados.

(fonte: autor)

O sistema de aquisição instalado no computador da Figura 27 é o Spider 8 da HBM e o *software* utilizado para leitura dos dados é o Catman 4.0. Estes são descritos no capítulo 3.4, junto com o *software* de análise dos resultados HPvve.

3.2 Pistas especiais

No campo de prova foram realizadas medições em 7 pistas, descritas a seguir.

A pista especial *Off Road* possui a extensão de 3,5 km, tendo partes em boas condições e outras com muitos buracos. A referida pista apresentada na Figura 28, foi construída para representar o mais próximo possível das condições reais, encontradas nas vias públicas com este perfil (pistas de terra).



Figura 28 – Pista de terra (Off-Road)
(fonte: autor)

A pista especial de pedra de rio, que foi desenvolvida para medição de ruído e vibrações, possui 150 metros de comprimento e pode ser vista na Figura 29.



Figura 29 – Pista especial de pedra de rio
(fonte: autor)

A pista especial de torção (pista com lombadas intercaladas) possui a extensão de 180 metros e pode ser vista na Figura 30.



Figura 30 – Pista para teste de torção.

(fonte: autor)

A pista de buracos (Figura 31) possui 120 metros de comprimento e foi desenvolvida para medir as acelerações e deformações dos implementos, quando estes estão passando por buracos.



Figura 31 – Pista de buracos

(fonte: autor)

A pista de costeletas possui 190 metros e foi desenvolvida para medir as acelerações e deformações dos implementos quando os mesmos estão passando por estradas com ondulações. Esta pista é apresentada na Figura 32.



Figura 32 – Pistas de costeletas
(fonte: autor)

A pista de alta, conforme Figura 33, possui 4 km de extensão e é utilizada dentro do campo de prova para diferentes situações. Esta pista é bastante usada para teste de frenagem, velocidade, de atrito, entre outros.



Figura 33 – Pista de alta asfalto
(fonte: autor)

A pista especial de paralelepípedo, Figura 34, possui 500 metros de extensão, e foi desenvolvida para medição de ruído e durabilidade de componentes. Esta pista é uma das mais severas do campo de prova; às vezes a proteção do motor chegar a se chocar com o solo.



Figura 34 - Pista especial de paralelepípedo.

(fonte: autor)

A medição das acelerações nas pistas especiais tem dois objetivos. O primeiro deles é medir o índice de vibração que os motoristas a que trabalham no campo de prova estão expostos. E o segundo é comparar as acelerações das pistas de alta, terra e paralelepípedo com as pistas externas (vias públicas), sendo estas as pistas mais comumente encontradas.

3.3 Pistas em estradas públicas

O teste em vias públicas estrada de terra (*Off Road*) foi realizado com o semirreboque vazio e carregado. Na estrada de terra, o percurso realizado foi o trecho do trevo da RS 453 destino a São Francisco de Paula em um percurso de 10 km na RS 110, conforme Figura 35.

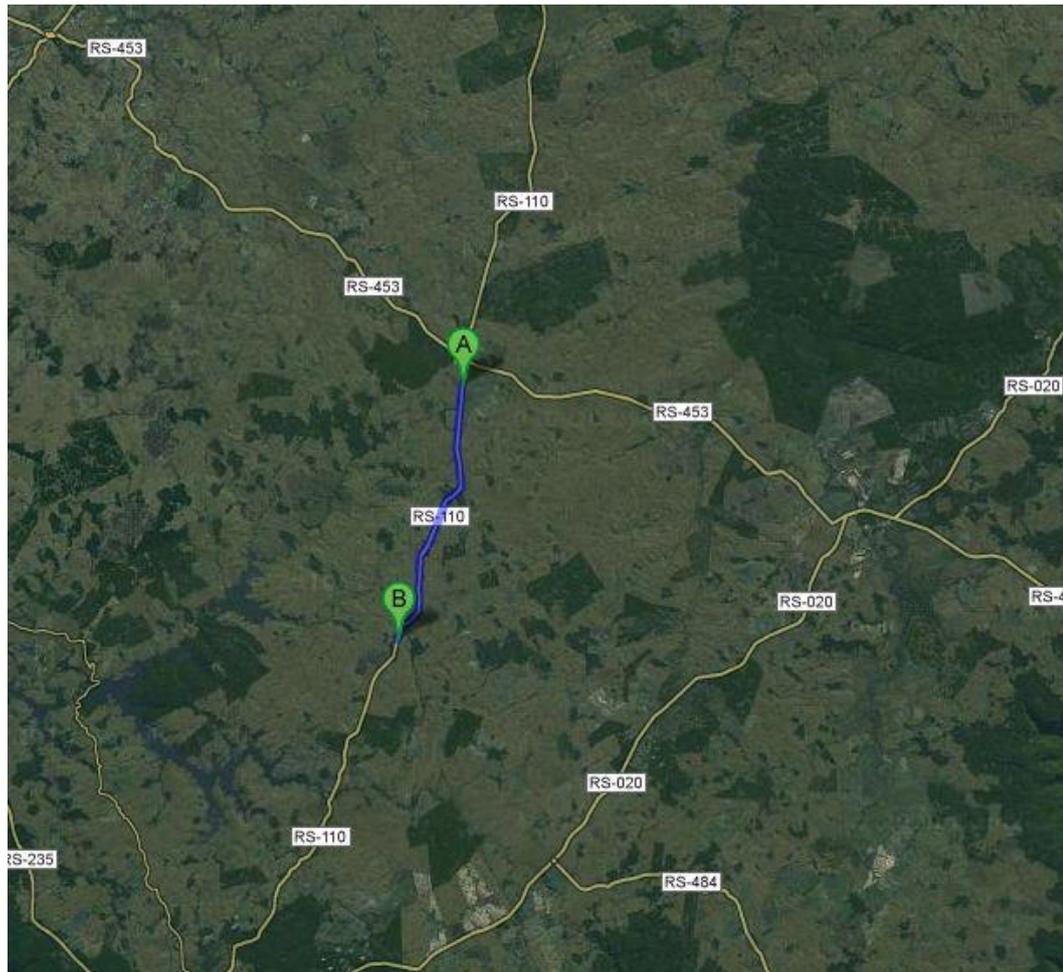


Figura 35 – 10 km na RS110, partindo da rótula de acesso da RS 453.

(fonte: google)

Os dois motoristas tiveram que fazer este percurso 3 vezes para cada situação (carregado e vazio) e estas medições foram realizadas em pista conforme a Figura 36, que mostra as condições no início do percurso.



Figura 36 – RS 110 pista de terra
(fonte: autor)

Em pista de asfalto foram realizados os testes em um percurso de 7 km após o trevo de acesso a São Francisco de Paula, em direção ao litoral, conforme Figura 37.

Este trecho foi escolhido por ser o local onde são feitos a maioria dos testes de semirreboque pelo campo de prova e pela grande quantidade de CVC, que circula neste trajeto.

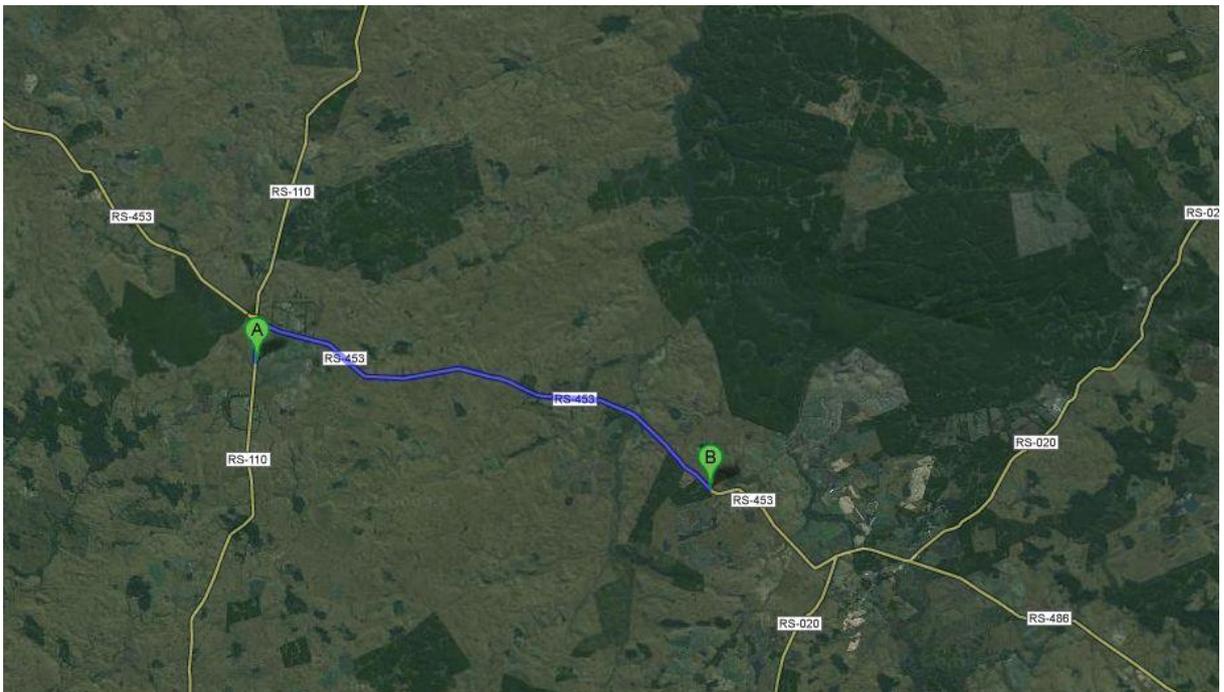


Figura 37 – Trecho de asfalto na RS453, partindo da rótula de acesso a RS 110
(fonte: google)

A Figura 38 mostra a condição da estrada onde foram realizados os testes. Neste percurso pode-se visualizar um asfalto em boas condições, em condições regulares e alguns trechos com ondulações.



Figura 38 – Condições da pista de asfalto na região dos testes.

(fonte: autor)

A Figura 39 mostra o percurso de medição na Rua Jacob Luchesi até a Rua Jacob Brunetta, em um percurso de 1,8 km em uma calçada com paralelepípedo. Estas ruas estão localizadas no bairro Cohab em Caxias do Sul – RS. Este trecho foi escolhido pela diversidade de condições de pisos, ou seja, uma grande quantidade de irregularidades nesta pista, e pelo pouco movimento, facilitando os testes e a mobilidade do CVC (Composição Veicular de Carga).

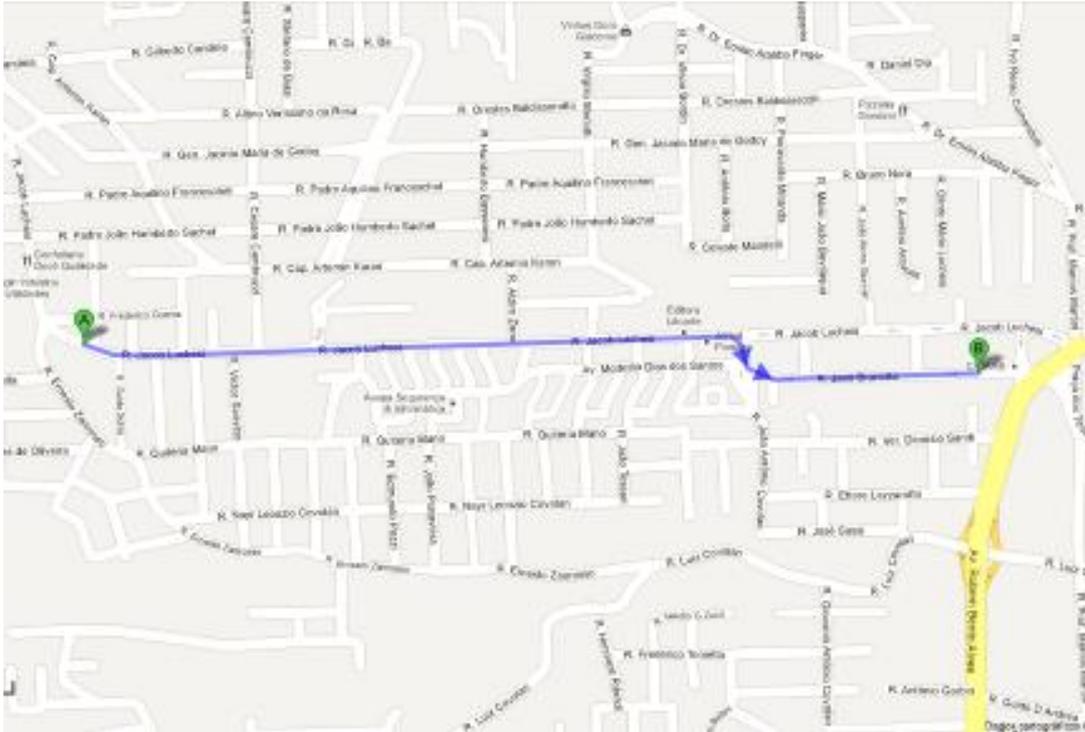


Figura 39 – Percurso nas ruas Jacob Luchesi e Jacob Brunetta.

(fonte: google)

A condição de tráfego e o tipo de pista podem ser visualizados na Figura 40, na qual também se pode visualizar a condição do piso em um trecho da Rua Jacob Luchesi, Caxias do Sul-RS, onde foram realizadas as medições.



Figura 40 – Tipo de pista e condições da rua Jacob Luchesi.

(fonte: autor)

Os três tipos de pistas apresentados neste capítulo descrevem a maioria dos tipos de estradas onde circulam diariamente diferentes CVC (Composições Veiculares de Carga).

3.4 Programas utilizados

Neste capítulo, descrevem-se os programas utilizados para aquisição e análise dos resultados.

3.4.1 Spider 8 HBM

Para aquisição de dados foi utilizado o sistema de aquisição Spider 8. Este programa foi projetado para medir sinais elétricos, deslocamento mecânico, resistência, pressão, força, aceleração, entre outras.

O Spider 8 (Figura 41) é um programa simples, com ótima interface computacional e de respostas rápidas, sem necessidades de interruptores, potenciômetros e jumpers. É composto de 8 canais, os quais possuem alimentação para transdutores passivos, amplificadores, filtros e conversores A/D passivos. O referido programa tem a capacidade de fornecer até 9600 dados por segundo.



Figura 41 – Spider 8 HBM ligado ao Notebook.

(fonte: autor)

3.4.2 CATMAN – HBM

O *software* Catman – HBM (figura 43) é utilizado para fazer comunicação entre o Spider 8 e o computador, parametrizando o sistema. O *software* foi projetado especialmente para tarefas de medições com numerosos canais e oferece uma diversas funções matemáticas e gráficas para analisar e avaliar os dados de medição, além de exportar estes dados para o Microsoft Excel.

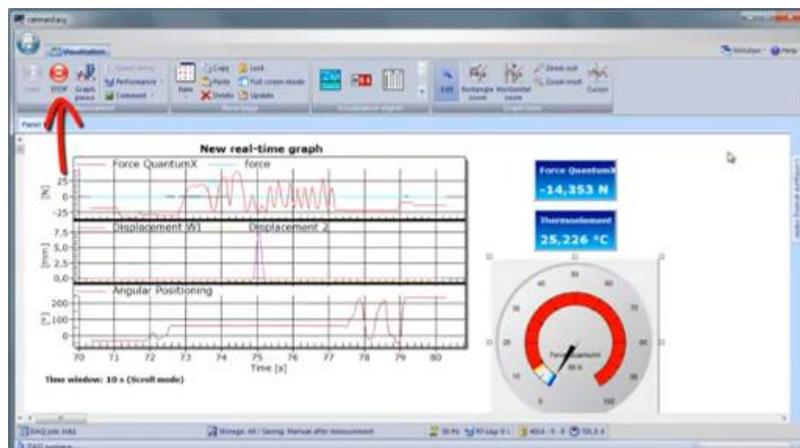


Figura 42 – Imagem ilustrativa do programa Catman – HBM.

(Fonte: www.hbm.com)

3.4.3 HPVEE

O HPVEE é uma linguagem de programação visual para programação de controle de instrumento, medição e processamento de relatórios de ensaio.

Ele simplifica o desenvolvimento de testes com melhorias para o sistema de integração, depuração, design programa estruturado e documentação. Automatiza a configuração do instrumento, acelera a criação de interfaces de operação, agiliza os testes, e simplifica o desenvolvimento de aplicações e gerenciamento. Além disso, ele fornece execução rápida usando tecnologia de compilação incremental. O compilador melhora drasticamente o desempenho, mantendo todas as vantagens de um intérprete.

O *software* HPVEE tem outras aplicações como bancos de dados, planilhas e processadores de textos. Trata-se de uma ferramenta simples, mas eficiente, com uma linguagem de programação visual para controle de instrumentação.

Durante o desenvolvimento de testes do programa, o HPVEE faz uma compilação inicial e depois recompila funções apenas. Depois do desenvolvimento da programação, o programa HPVEE (Figura 44) tem a capacidade de analisar os dados de 150-400 por cento mais rápido do que os programas típicos, onde não exista um compilador. A taxa de transferência é ainda mais reforçada com a capacidade HPVEE para desempenhar múltiplos tópicos..

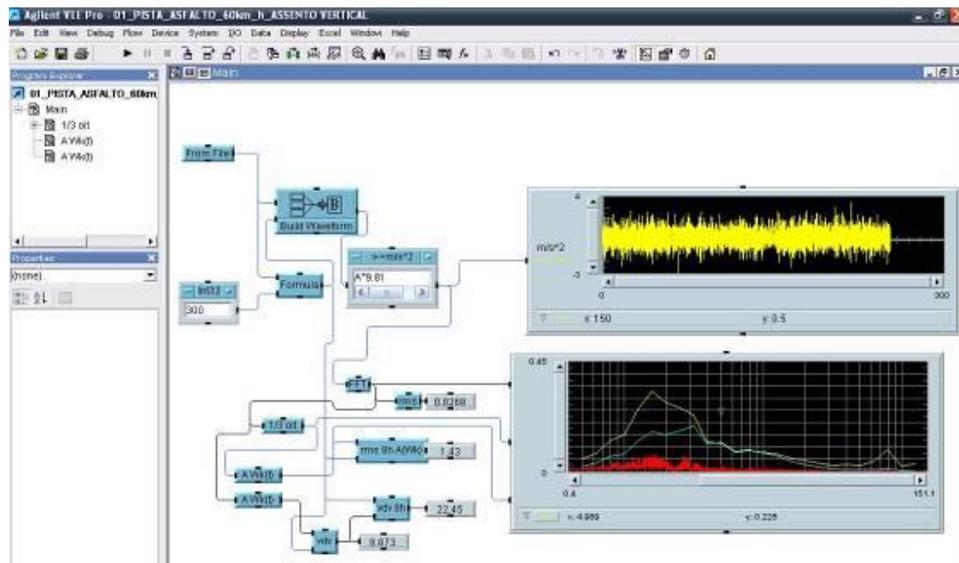


Figura 43 – Programa HPVEE.

(fonte: autor)

A programação inicial foi desenvolvida por Becker (2006) para seu trabalho de doutorado e posteriormente foi adaptada para o caso em questão. Nesta adaptação, foram modificados os dados de entrada, a parte de leitura dos dados, as taxas de aquisição e de conversão de unidades e foi desenvolvido o programa para as três direções. Esta adaptação foi elaborada de acordo com a norma ISO 2631-1 (1997), para as direções X, Y e Z, com a finalidade de calcular RMS, VDV, RMS 8h e VDV 8h.

A Figura 45 mostra a programação adaptada, criada a partir da norma ISO 2631-1 (1997) e nela podemos visualizar os campos de programação e os resultados adquiridos.

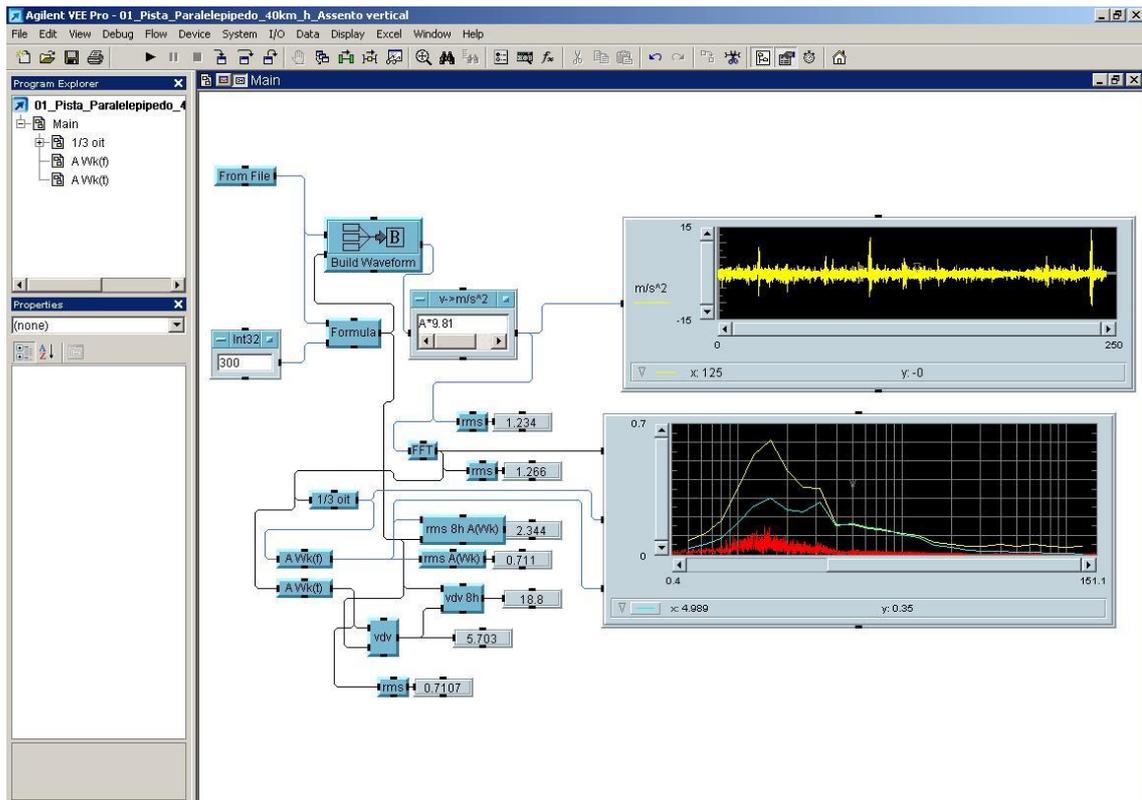


Figura 44 – Programação desenvolvida.

(fonte: autor)

A forma de análise e de aquisição de dados é diferente nos dois trabalhos, sendo que no trabalho de Becker (2006) não foram utilizados os programas citados anteriormente para aquisição. Dessa forma, os dados de medição foram adquiridos e analisados diretamente no HPVVE. Por outro lado, na nova programação os dados foram inseridos no HPVVE por meio de arquivos textos.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

O presente capítulo apresenta os resultados encontrados nas medições da vibração de corpo inteiro em motoristas de Composições Veiculares de Carga, de acordo com a norma ISO 2631-1 de 1997. Os níveis de aceleração (RMS) são comparados no gráfico de acelerações (Figura 7), proposto pela referida norma, e o valor de dose de vibração (VDV), segundo a ISO 2631, é comparado com os valores apresentados na mesma para um período de 8 horas diárias, os quais estão na faixa entre $8,5\text{m/s}^{1,75}$ (limite de ação) e $17\text{m/s}^{1,75}$ (limite de exposição).

Os valores de RMS encontrados estão representados no gráfico (figura 7), pelas linhas horizontais, as linhas inclinadas são os limites especificados pela norma, sendo que analisamos em um período de 4 a 8 horas de exposição diária, este intervalo de tempo e representado pelas linhas verticais. Assim sendo as linhas horizontais estiverem passando entre as linhas inclinadas, dissemos que o valor de RMS está dentro do limite de ação da norma e se tiver acima destas linhas está fora do limite de exposição.

Os dados apresentados são referentes às acelerações encontradas nos acelerômetros fixados nas costas, no piso e a resultante do acelerômetro tri-axial do assento. Para valores de dose de vibração (VDV), foi escolhido o eixo que apresentou o maior valor (assento do motorista).

Em todas as pistas especiais foram realizados testes com apenas um motorista e com semirreboque carregado. Já com o semirreboque vazio foram realizados os testes em três pistas: paralelepípedo, torção e pedra de rio, sendo que estes resultados são apresentados no apêndice A. Para as vias públicas, os testes foram realizados com os dois motoristas, tanto com o semirreboque carregado quanto vazio, nas pistas de Asfalto, terra e paralelepípedo.

Nos subcapítulos 4.1, 4.2 e 4.3 são apresentados os valores encontrados nos testes, já nos Subcapítulos 4.4 e 4.4, apresenta tabelas comparativas destes resultados.

4.1 Pistas especiais (com semirreboque carregado)

Para a pista *Off Road* (pista de terra), Figura 28, todos os valores de aceleração (RMS) encontrados estão fora do limite exposto pela norma para o período de 4 a 8 horas, conforme pode ser visualizado na Figura 46. Os valores de dose de vibração referentes a 8 horas diárias

foram $20,4 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas do motoristas, $30,7 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento do banco do motorista e $30,7 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso do caminhão. Todos estes valores ficaram acima do limite de exposição proposto para este período.

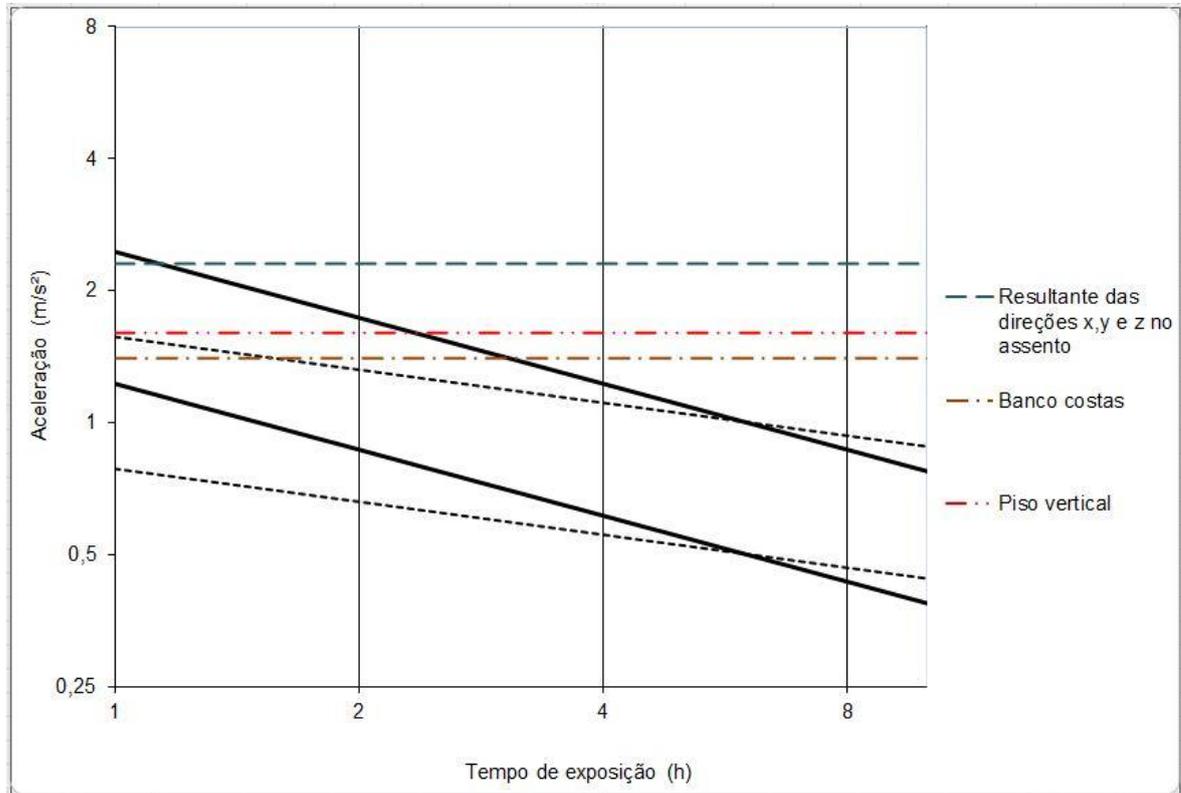


Figura 45 – Pista de terra (Off Road) carregada.

Para a pista de pedra de rio, Figura 29, os valores de aceleração (RMS) encontrados estão dentro do limite de exposição para 4 horas na região do assento e piso, não podendo exceder este período. Na região das costas, o resultado encontrado está de acordo com o proposto pela norma. Estes resultados podem ser visualizados na Figura 47.

Os valores de dose de vibração encontrados referentes a 8 horas diárias foram $5,5 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $11,5 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $19,9 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso. Nesta pista visualizam-se três situações diferentes, sendo que o valor referente à região das costas ficou abaixo do limite de ação, o referente ao assento ficou dentro do limite de ação e no piso, acima do limite de exposição.

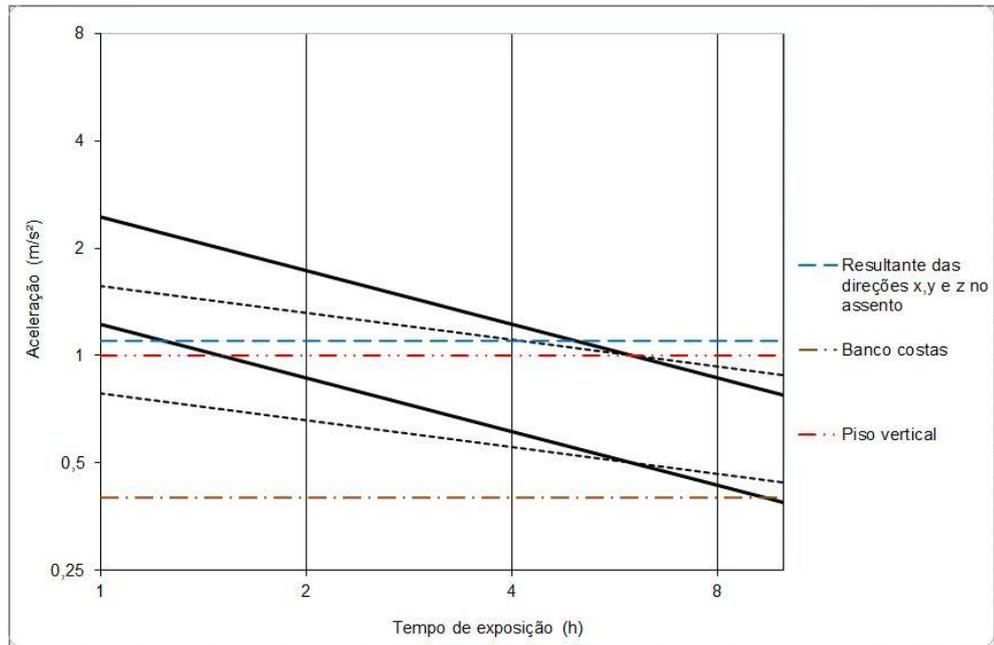


Figura 46 – Pista pedra de rio carregado

Para a pista de torção, Figura 30, todos os valores de aceleração (RMS) encontrados estão fora do limite de exposição para 4 e 8 horas, conforme se visualiza na Figura 48.

Os valores de dose de vibração referentes a 8 horas diárias foram $17,9 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $39 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $39,6 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso, todos acima do limite de exposição.

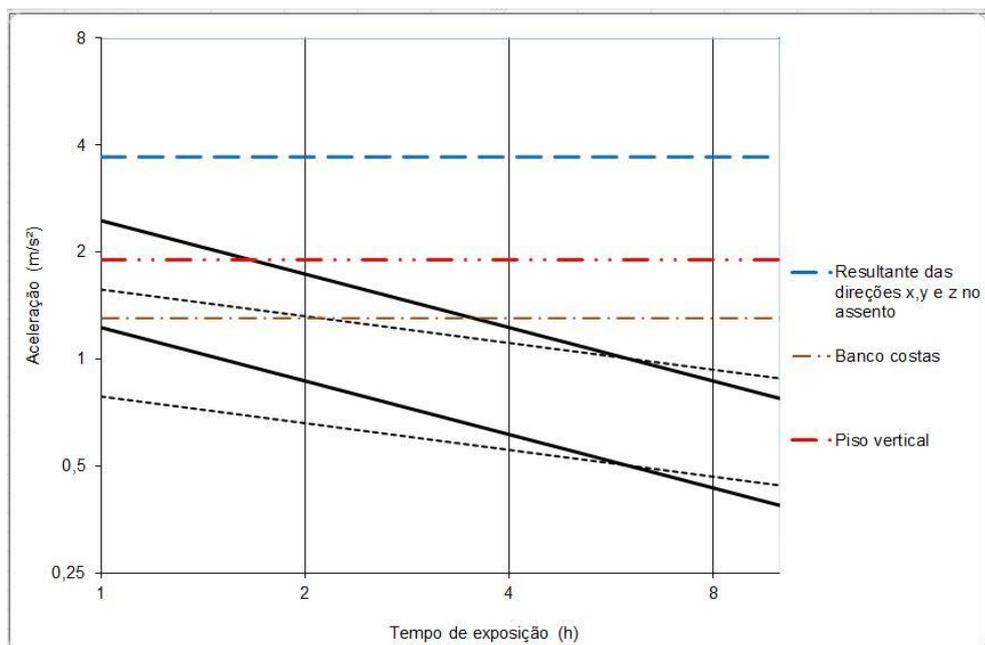


Figura 47 – Pista especial de torção carregado

Para a pista de buracos, Figura 31, todos os valores de aceleração (RMS) encontrados estão fora do limite de exposição para 4 e 8 horas, conforme se visualiza na Figura 49.

Os valores de dose de vibração referentes a 8 horas diárias foram $17,9 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $31,1 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $45 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso, todos acima do limite de exposição.

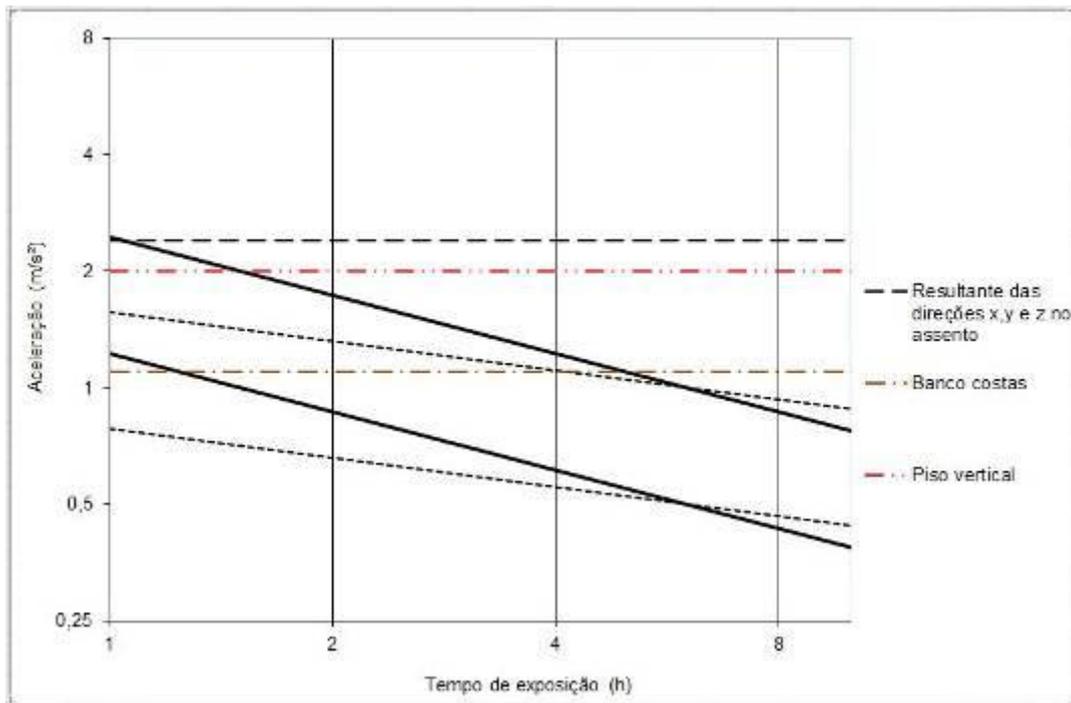


Figura 48 – Pista de buracos (carregado).

Para a pista de costeletas, Figura 32, todos os valores de aceleração (RMS) encontrados estão fora do limite de exposição para 4 e 8 horas, conforme se visualiza na figura 50.

Os valores de dose de vibração referentes a 8 horas diárias foram $15,2 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $26,3 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $38,8 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso, sendo que apenas o resultado referente à região das costas está dentro do limite de exposição, enquanto os outros dois valores estão bem acima.

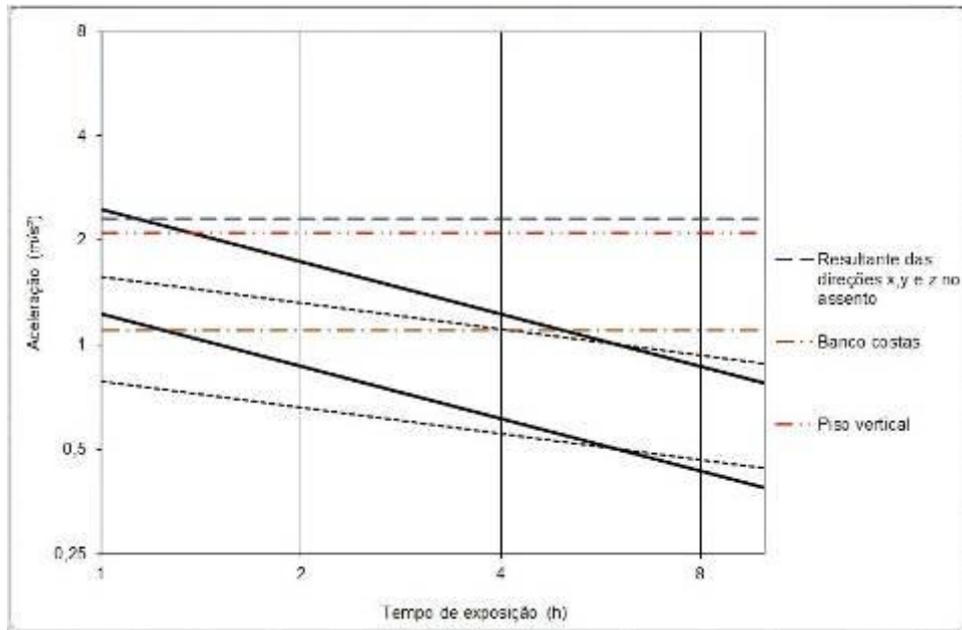


Figura 49 – Pista de costeletas

Para a pista de asfalto, Figura 33, todos os valores de aceleração (RMS) encontrados estão dentro do limite de exposição para 4 e 8 horas, conforme se visualiza na Figura 51.

Os valores de dose de vibração referentes a 8 horas diárias foram $3,8 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $5,1 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $5,7 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso, todos os resultados abaixo do limite de ação.

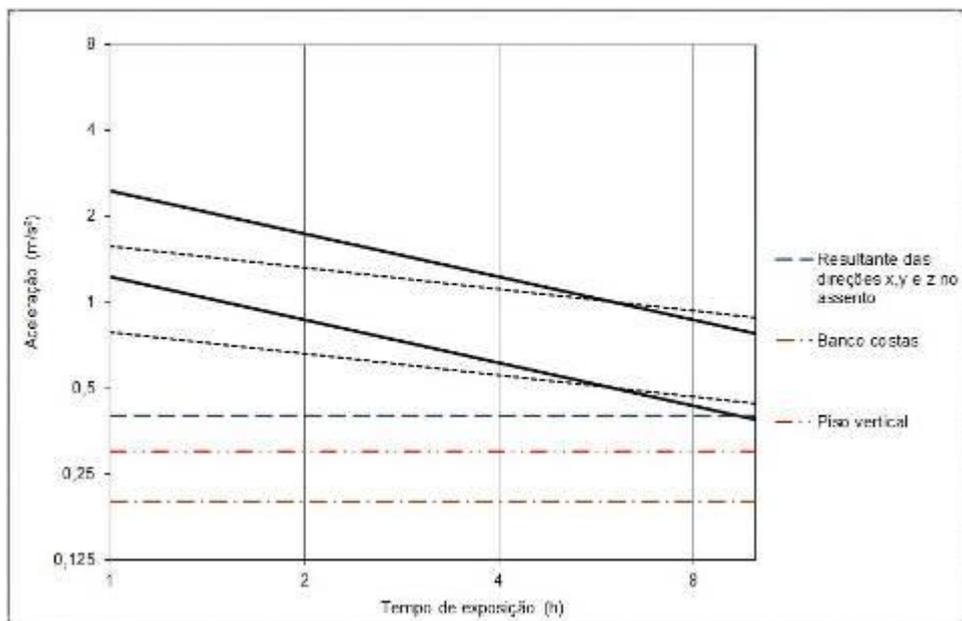


Figura 50 - Pista asfalto (carregado)

Para a pista de paralelepípedo, Figura 34, todos os valores de aceleração (RMS) encontrados estão fora do limite de exposição para 4 e 8 horas, conforme se visualiza na Figura 52.

Os valores de dose de vibração referentes a 8 horas diárias foram $16,7 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $39,3 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $44,6 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso, sendo todos os resultados fora do limite de exposição diária.

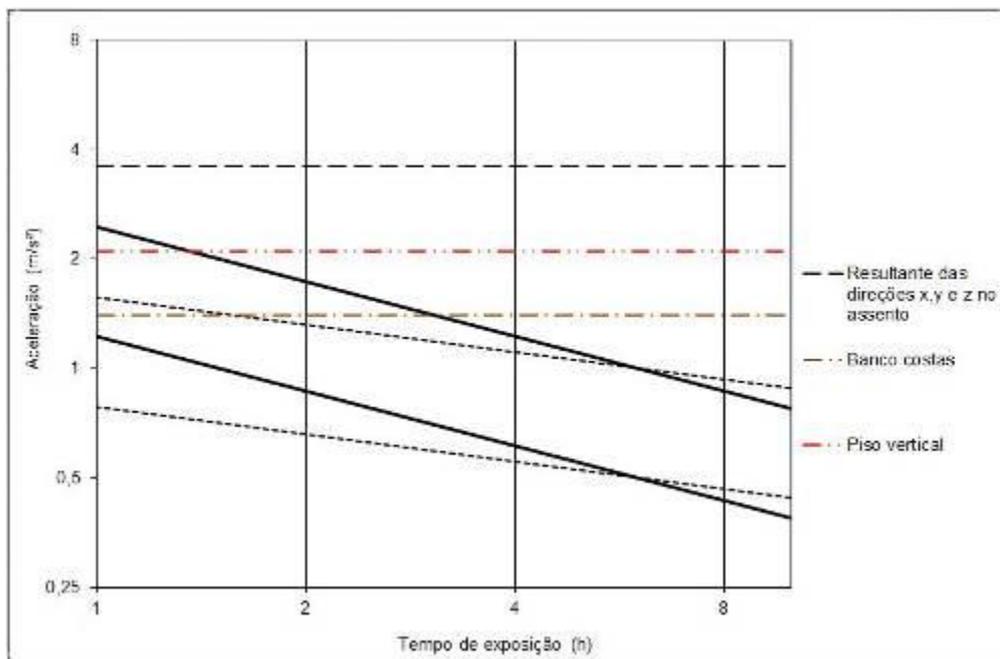


Figura 51 – Pista de paralelepípedo (carregado).

4.2 Pistas externas (Vias Públicas) com semirreboque carregado

Para a pista de asfalto, Figura 38, todos os valores de aceleração (RMS) encontrados estão dentro do limite de exposição para 4 e 8 horas, conforme se visualiza na Figura 53.

Os valores de dose de vibração referentes a 8 horas diárias para o motorista 1 foram $4,7 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $7,7 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $10,3 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso e para o motorista 2 foram $5,5 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $7,6 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $10,1 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso. Neste tipo de pista pode-se verificar que os resultados de valores de dose de vibração (VDV) se aproximaram, sendo que na região das costas apresentou valores abaixo do limite de ação e nas regiões do assento e piso ficou dentro do limite de ação.

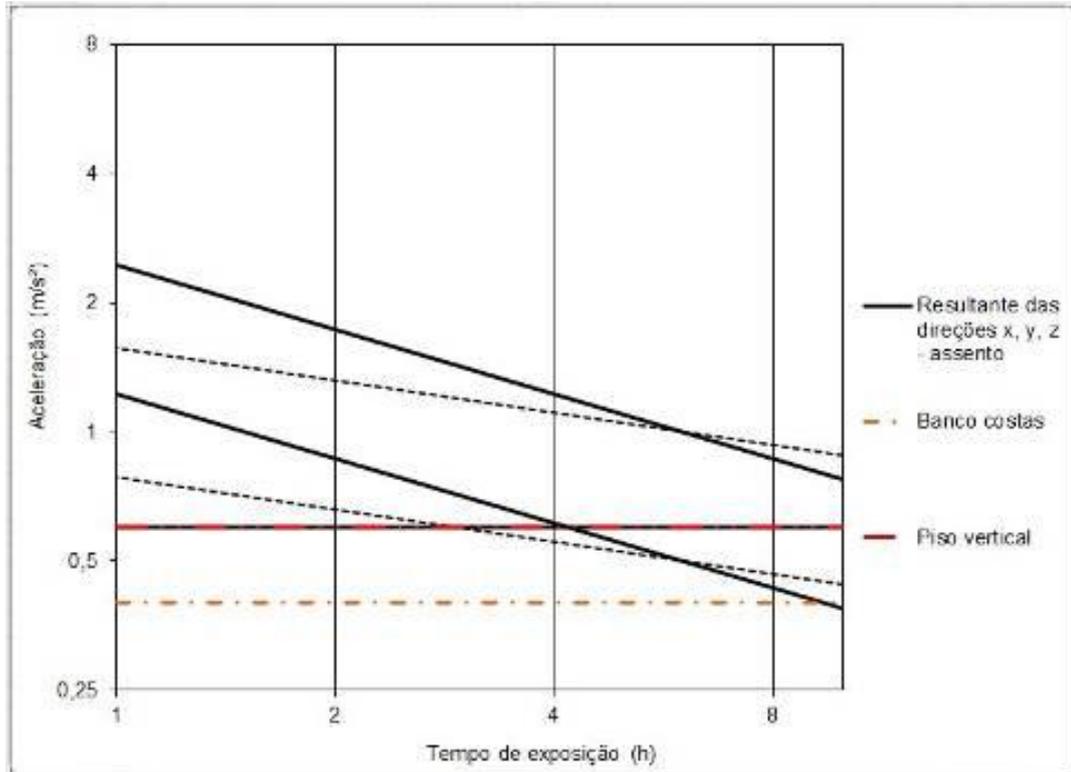


Figura 52 – Asfalto carregado externo

Para a pista de terra (*Off Road*), Figura 36, apenas o valor de aceleração (RMS) encontrado referente à região das costas está dentro do limite de exposição para 4 e 8 horas. Os valores nas regiões do assento e piso estão fora do limite de exposição para este período. Podem-se visualizar melhor estes resultados através da Figura 54.

Os valores de dose de vibração referentes a 8 horas diárias, para o motorista 1, foram $7,5 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $11 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $19,8 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso e para o motorista 2, foram $8,5 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $14 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $20,2 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso. Neste tipo de pista, pode-se verificar que os resultados de valores de dose de vibração (VDV) tiveram uma variação maior de um motorista para outro, sendo que na região das costas apresentou valores abaixo e no limite de ação. Na região do assento, os valores encontrados ficaram dentro do limite de ação e na região do piso os dois valores ficaram fora do limite de exposição.

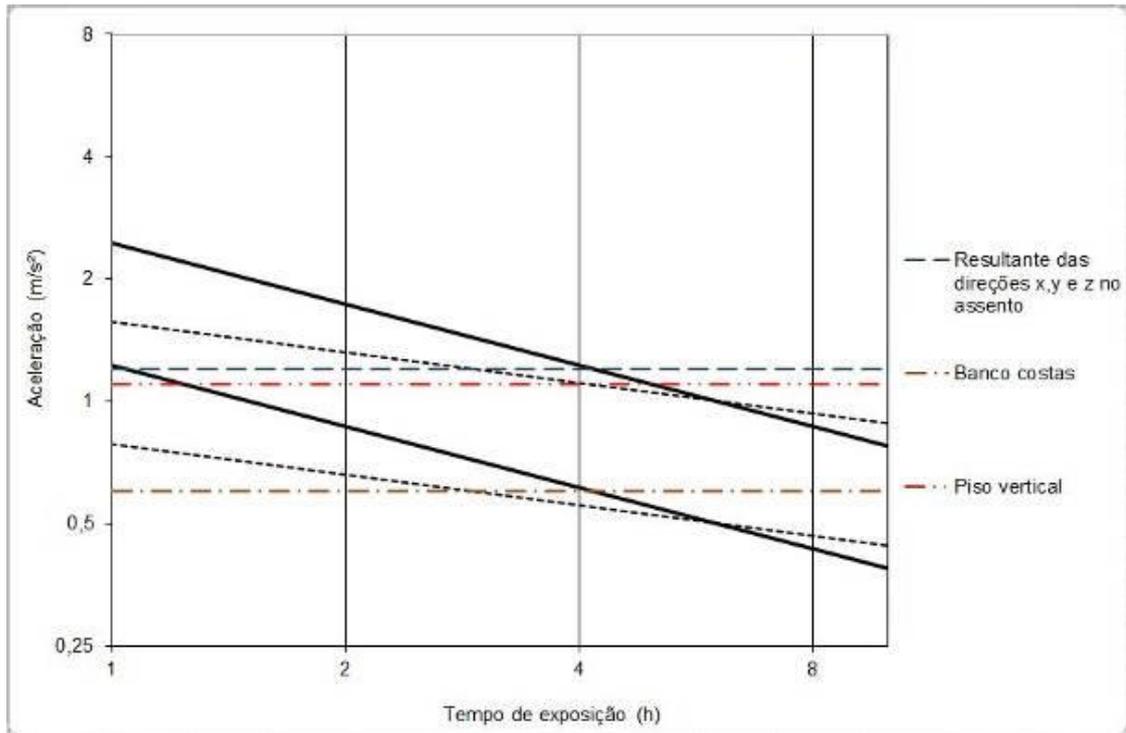


Figura 53 – Chão carregado externo

Para a pista de paralelepípedo, Figura 40, apenas o valor de aceleração (RMS) referente à região das costas está dentro do limite de exposição para 4 e 8 horas. Na região do piso, o valor encontrado ficou dentro de um período de 4 horas diárias, já na região do assento os valores encontrados ficaram fora do limite de 4 a 8 horas. Estes diferentes resultados podem ser visualizados na Figura 55.

Os valores de dose de vibração referentes a 8 horas diárias, para o motorista 1, foram $8,3 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $20,4 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $22,5 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso e para o motorista 2, foram $10,4 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $23,8 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $25,8 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso. Neste tipo de pista pode-se verificar que os resultados de valores de dose de vibração (VDV) tiveram a maior variação dos resultados de um motorista para outro, sendo que na região das costas apresentou valores abaixo e no limite de ação. Já nas regiões do assento e do piso foram encontrados resultados acima do limite de exposição.

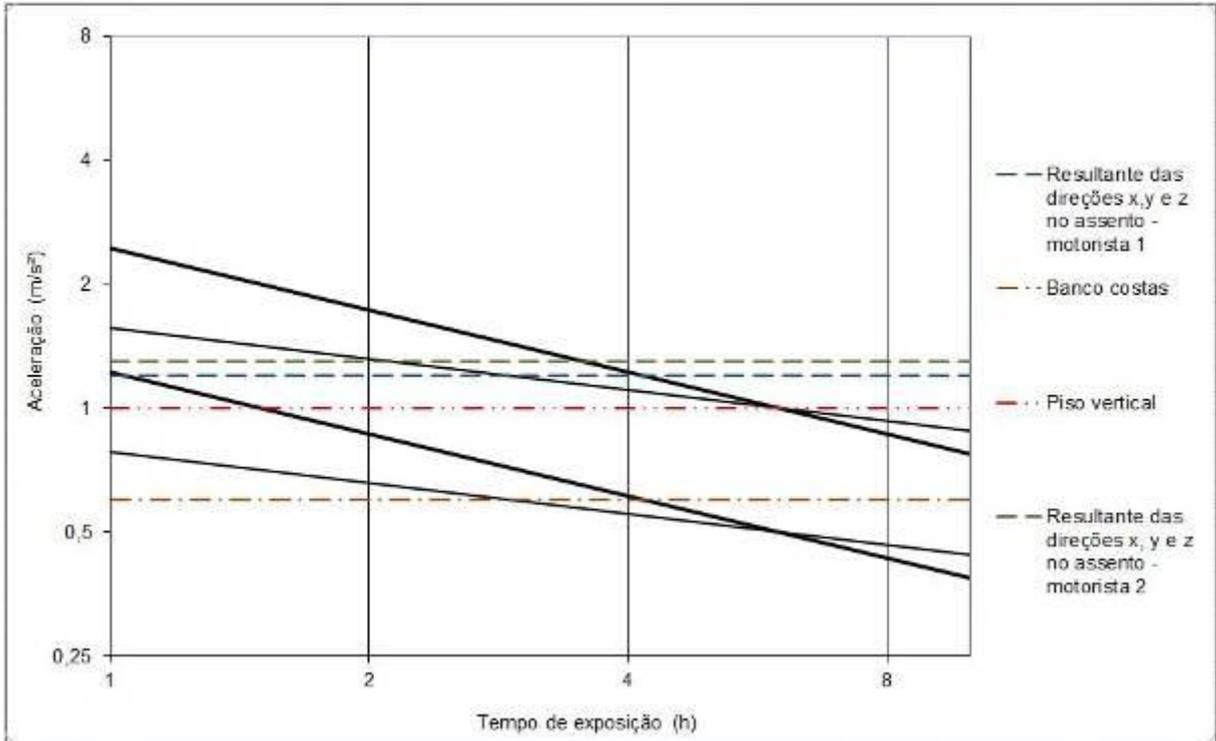


Figura 54 – Paralelepípedo carregado externo

4.3 Pistas externas (Vias Públicas) com semirreboque vazio

Para a pista de asfalto, Figura 38, todos os valores de aceleração (RMS) encontrados estão dentro do limite de exposição para 4 e 8 horas, conforme se visualiza na Figura 56.

Os valores de dose de vibração referentes a 8 horas diárias, para o motorista 1, foram $6,1 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $8,3 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $9,8 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso e para o motorista 2, foram $5,6 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $8 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $9,4 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso. Neste tipo de pista pode-se verificar que os resultados de valores de dose de vibração (VDV) se aproximaram, sendo que na região das costas e assento apresentou valores abaixo do limite de ação e na região piso ficou dentro do limite de ação.

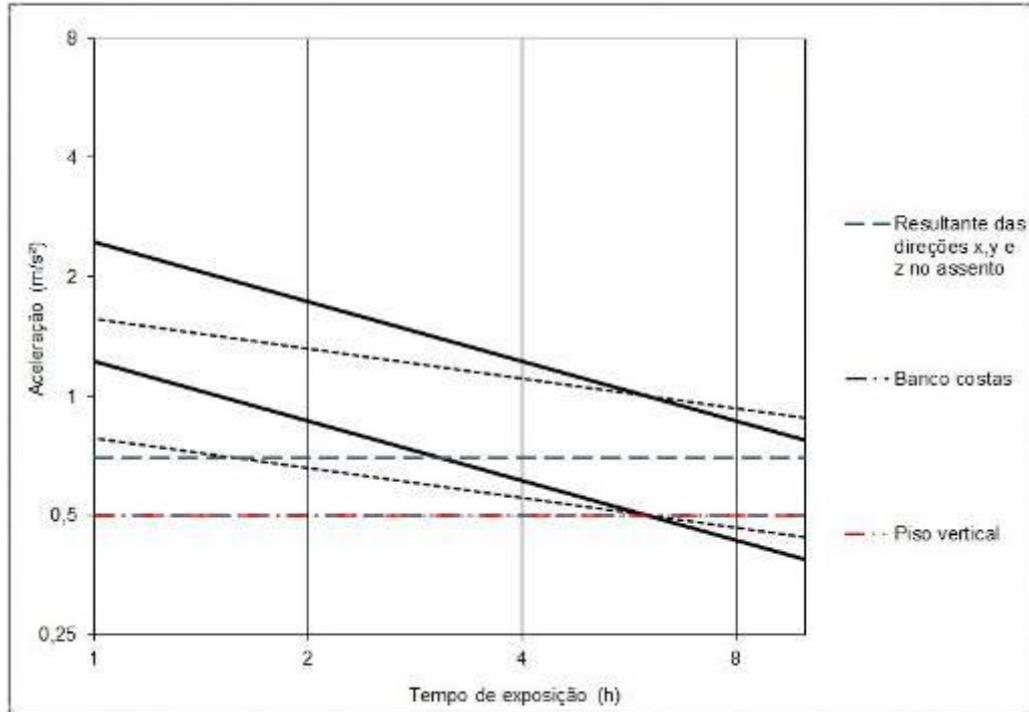


Figura 55 – Pistas de asfalto

Para a pista de terra (*Off Road*), Figura 36, apenas o valor de aceleração (RMS) referente à região das costas, para o motorista 1, está dentro do limite de exposição para 4 e 8 horas e para o motorista 2, o valor da aceleração ficou dentro do limite de 4 horas.

Os valores referentes à região do piso, tanto para o motorista 1 quanto para o motorista 2, ficaram dentro do limite de exposição para um período de 4 horas diárias de trabalho e na região do assento os valores encontrados estão acima do limite de exposição para os dois motoristas. Estes resultados são apresentados na Figura 57.

Os valores de dose de vibração referentes a 8 horas diárias, para o motorista 1, foram $13 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $15,6 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $19,1 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso e para o motorista 2, foram $16,6 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $16,2 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $20,5 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso. Neste tipo de pista pode-se verificar que os resultados de valores de dose de vibração (VDV) tiveram uma variação maior de um motorista para outro, sendo que nas regiões das costas e assento foram verificados valores dentro do limite de ação e na região do piso os dois valores ficaram fora do limite de exposição.

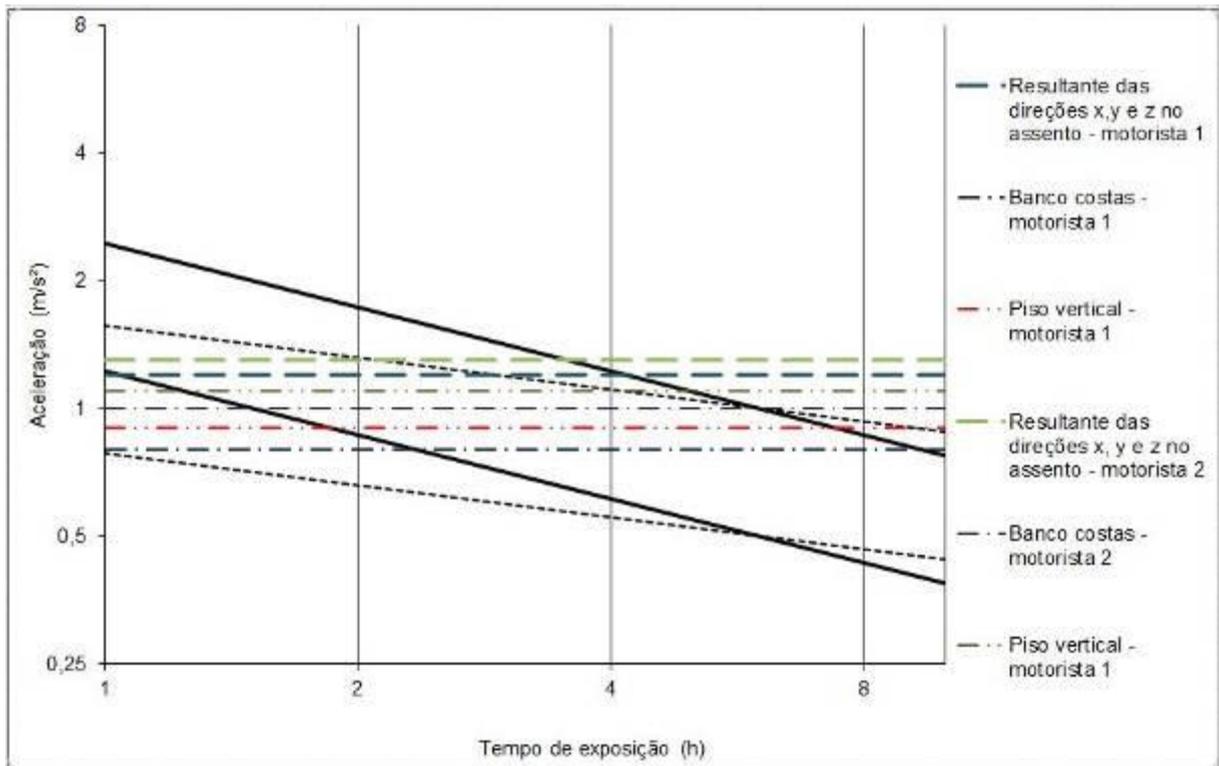


Figura 56 – Pista terra (Off Road)

Para a pista de paralelepípedo, Figura 40, apenas o valor de aceleração (RMS) encontrado na região do piso para o motorista 2 está dentro do limite de exposição para 4 horas diárias. Todos os outros resultados ficaram fora do limite de exposição para 4 a 8 horas. Estes diferentes resultados podem ser visualizados na Figura 58.

Os valores de dose de vibração referentes a 8 horas diárias, para o motorista 1, foram $16,4 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $19,5 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $21,5 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso e para o motorista 2, foram $20,7 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $20,1 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $29,7 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso. Neste tipo de pista pode-se verificar que os resultados de valores de dose de vibração (VDV) tiveram a maior variação dos resultados de um motorista para outro, sendo que na região das costas apresentou valores abaixo e acima do limite de exposição. Na região do assento e piso foram encontrados resultados acima do limite de exposição.

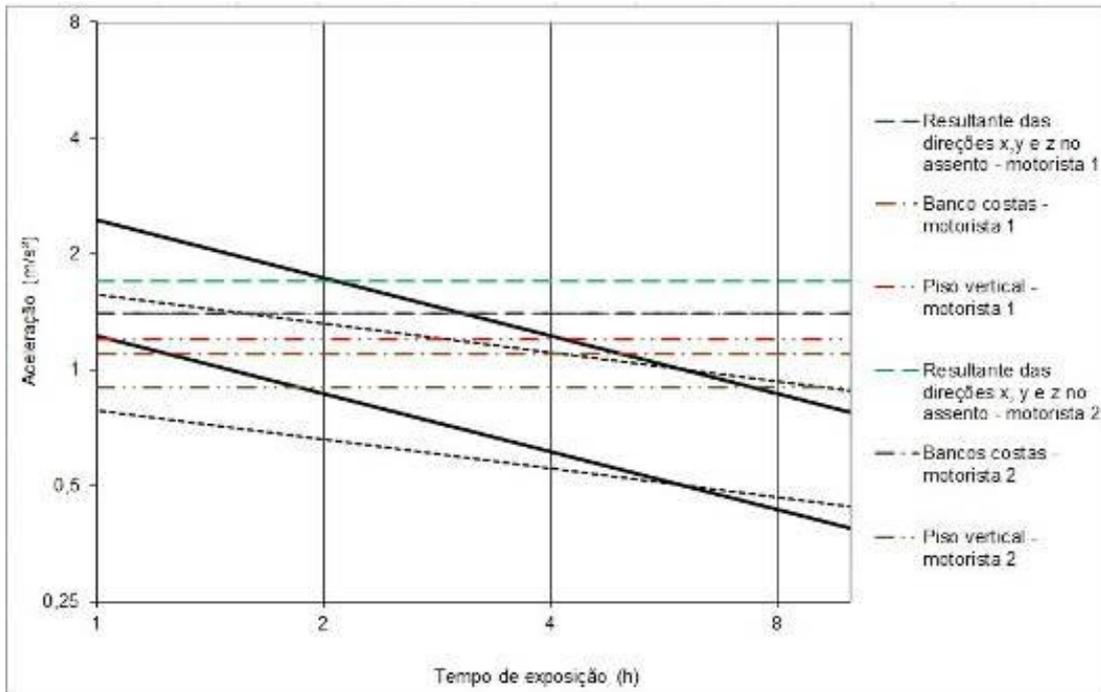


Figura 57 – Paralelepípedo vazio externo

4.4 Comparação dos resultados obtidos.

Para comparação dos resultados da aceleração r.m.s, utilizaremos a norma ISO 2631 (1997) e a Diretiva Europeia.

Na norma ISO retiramos do gráfico (figura 7) os valores aproximados dos limites de ação e exposição, os quais são 0,9 a 0,4 m/s^2 para limite de ação, sendo que 0,9 é o limite de exposição para uma exposição de 8 horas diárias. Na diretiva os valores de aceleração r.m.s são de 0,5 a 1,15 m/s^2 , sendo que 1,15 é o limite de exposição exposto pela norma.

Para comparação dos valores de VDV temos os limites de ação e exposição das duas normas, sendo que para ISO 2631 é estipulado 8,5 $m/s^{1,75}$ para limite de ação e 17 $m/s^{1,75}$ para limite de exposição. Na Diretiva Europeia valores do limite de ação é 9,1 $m/s^{1,75}$ e limite de exposição 21 $m/s^{1,75}$.

Na tabela 7 pode se observar os valores de aceleração r.m.s encontrados na pista especial de asfalto, pista externa de asfalto semirreboque carregado e vazio. Comparando os resultados da tabela, visualizamos que não houve grande variação dos resultados neste tipo de pista, sendo que a pista especial se obteve o menor valor de aceleração.

Em referência as normas citadas os valores de aceleração encontrados estão abaixo do limite de exposição diário exposto pelas duas normas, sendo assim nesta situação não se

constatou problemas para um período de exposição de 8 horas diárias de trabalhos. Mas temos que levar em consideração que o estado de conservação das pistas onde foram realizados os testes era bom a regular, o que nem sempre é possível se achar nas estradas brasileiras.

Tabela 7 - Acelerações r.m.s pista de asfalto.

		Pista especial Pista de asfalto Semirreboque carregado	Pista externa ou vias publicas Pista de asfalto semirreboque carregado	Pista externa ou vias publicas Pista de asfalto semirreboque vazio
		Aceleração rms (m/s ²)	Aceleração rms (m/s ²)	Aceleração rms (m/s ²)
	Assento vertical assento (rms)	0,3	0,4	0,5
Motorista 1	Aceleração resultante seat pad	0,4	0,6	0,7
	Aceleração costas	0,2	0,4	0,3
	Piso vertical	0,3	0,6	0,5
	Assento vertical (rms)		0,4	0,5
Motorista 2	Aceleração resultante seat pad		0,6	0,7
	Aceleração costas		0,3	0,3
	Piso vertical		0,6	0,5

Na tabela 8 podemos observar os valores de aceleração r.m.s encontrados na pista especial de terra, pista externa de terra semirreboque carregado e vazio.

Na pista especial de terra os resultados encontrados estão todos acima dos limites de exposição, no caso das vias publicas foi encontrado resultados diversos, onde nas regiões da costa, na região das do assento aceleração vertical estão dentro do limite de ação das duas normas, o acelerômetro do piso aceleração vertical está de acordo apenas com o limite de ação estipulado pela Diretiva Europeia. A resultante das acelerações do assento do motorista apresentaram valores acima dos limites estipulados nas duas normas.

Tabela 8 – Acelerações r.m.s pista de terra.

		Pista especial Pista de terra Semirreboque carregado	Pista externa ou vias publicas Pista de terra semirreboque carregado	Pista externa ou vias publicas Pista de terra semirreboque vazio
		Aceleração rms (m/s ²)	Aceleração rms (m/s ²)	Aceleração rms (m/s ²)
	Assento vertical (rms)	1,5	0,7	0,7
Motorista 1	Aceleração resultante seat pad	2,3	1,2	1,2
	Aceleração costas	1,4	0,5	0,8
	Piso vertical	1,6	1	0,9
	Assento vertical (rms)		0,7	0,7
Motorista 2	Aceleração resultante seat pad		1,2	1,3
	Aceleração costas		0,6	1,1
	Piso vertical		1	1

Na tabela 9 podemos observar os valores de aceleração r.m.s encontrados na pista especial de Paralelepípedo, pista externa de paralelepípedo semirreboque carregado e vazio.

Na pista especial de Paralelepípedo os resultados encontrados estão todos acima dos limites de exposição, no caso das vias públicas os resultados com semirreboque carregado e vazio foram bem diferentes, sendo que com o semirreboque vazio a maioria dos resultados encontrados foram superiores aos estipulados nas duas normas, salvo a aceleração do assento vertical do motorista 1, para o motorista 2 apenas com semirreboque carregados os valores ficaram dentro do aceitável.

Tabela 9 - Acelerações r.m.s pista de terra.

		Pista especial Pista de paralelepípedo Semirreboque carregado	Pista externa ou vias públicas Pista de paralelepípedo semirreboque carregado	Pista externa ou vias públicas Pista de paralelepípedo semirreboque vazio
		Aceleração rms (m/s ²)	Aceleração rms (m/s ²)	Aceleração rms (m/s ²)
Motorista 1	Assento vertical (rms)	2,1	0,9	0,7
	Aceleração resultante seat pad	3,6	1,2	1,3
	Aceleração costas	1,4	0,6	1,1
	Piso vertical	2,1	1	1
Motorista 2	Assento vertical (rms)		0,8	1,2
	Aceleração resultante seat pad		1,1	1,7
	Aceleração costas		1,1	1,4
	Piso vertical		0,9	1,2

O valor de VDV é outro parâmetro utilizado para comparação dos limites de exposição e ação nas tabelas a seguir será apresentado os valores encontrados nos teste de forma comparativa.

A tabela 10 apresenta os valores de VDV na pista de asfalto especial e pista de asfalto vias Públicas com semirreboque carregado e vazio. Todos os valores encontrados então abaixo ou dentro do limite de ação das duas normas.

Tabela 10 – Comparativos dos resultados de VDV pista de asfalto.

Unidades = $m/s^{1,75}$	Pista especial	Pista externa ou vias publicas		Pista externa ou vias publicas	
	Semirreboque carregado	Semirreboque carregado		Semirreboque vazio	
	Pista de asfalto	Pista de asfalto		Pista de asfalto	
	Motorista 1	Motorista 1	Motorista 2	Motorista 1	Motorista 2
Banco costas	3,8	4,7	5,5	6,1	5,6
Banco assento	5,1	7,7	7,6	8,3	8
Piso	5,7	10,3	10,1	9,8	9,4

Na tabela 11 estão os resultados encontrados de VDV para pista de terras. Na pista especial os valores encontrados estão todos acima dos limites estipulados pela norma, nas vias publicas apenas os resultados da região do piso foram superiores ao limite de exposição estipulado pela norma ISO 2631 (1997) e inferior aos limites estipulados pela Diretiva Europeia. Os outros valores de dose de vibração encontrados estão dentro do limite de ação, sendo assim necessitam de medidas preventivas para diminuir estes valores.

Tabela 11 – Comparativos dos resultados de VDV pista de terra.

Unidades = $m/s^{1,75}$	Pista especial	Pista externa ou vias publicas		Pista externa ou vias publicas	
	Semirreboque carregado	Semirreboque carregado		Semirreboque vazio	
	Pista de terra	Pista de terra		Pista de terra	
	Motorista 1	Motorista 1	Motorista 2	Motorista 1	Motorista 2
Banco costas	20,4	7,5	8,5	13	16,6
Banco assento	30,7	11	14	15,6	16,2
Piso	30,7	19,8	20,2	19,1	20,5

Na tabela 12 estão os resultados encontrados de VDV para pista de paralelepípedo. Na pista especial os valores encontrados estão todos acima dos limites estipulados pela norma, nas vias publicas a maioria dos resultados encontrados estão dos limites de exposição estipulados pelas duas normas, com exceção de alguns valores da região das costas e assento do motorista.

Tabela 12 – Comparativo de resultados de VDV para pista de paralelepípedo

Unidades = $m/s^{1,75}$	Pista especial	Pista externa ou vias publicas		Pista externa ou vias publicas	
	Semirreboque carregado	Semirreboque carregado		Semirreboque vazio	
	Pista de paralelepipedo	Pista de paralelepipedo		Pista de paralelepipedo	
	Motorista 1	Motorista 1	Motorista 2	Motorista 1	Motorista 2
Banco costas	16,7	8,3	10,4	16,4	20,7
Banco assento	39,3	20,4	23,8	19,5	20,1
Piso	44,6	22,5	25,8	21,5	29,7

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

5.1 Conclusões

O presente trabalho propôs-se a verificar o nível de vibração à qual os motoristas de composições veiculares de cargas estão expostos diariamente conforme norma ISO 2631. Para tanto, foram medidas as acelerações impostas aos motoristas em diferentes situações, as quais incluem tanto pistas especiais quanto vias públicas, além de considerar situações de semirreboque carregado quanto vazio e ainda dois motoristas para cada teste.

Examinando os resultados de todas as pistas, pôde-se verificar que quando a composição veicular de carga (CVC) trafega em pista de asfalto, os níveis de acelerações ficam dentro do recomendado pela norma ISO 2631 para 4 e 8 horas, tanto para a situação de semirreboque carregado quanto vazio. Porém, com a mudança de pavimento, os resultados variam bastante, indo de um nível de ação de aceleração até acima do limite dos apresentados pela norma.

Com o auxílio das pistas especiais, pôde-se perceber a grande variação nos resultados quando a Composição Veicular de Carga não trafega em uma estrada em bons níveis de conservação. A existência de buracos e de ondulações nas pistas pode elevar significativamente os níveis de vibrações agravando muito a saúde dos motoristas.

Outra conclusão relevante do trabalho foi a de que os valores de acelerações comparando os dois motoristas não tiveram variação significativa com o semirreboque carregado. Entretanto, com o semirreboque vazio, esta variação foi mais significativa devido o menor peso para tração do semirreboque as acelerações transmitidas para a cabine do motorista é maior.

Outro fator verificado é que as acelerações e os valores de dose de vibração encontrados são bem maiores com o semirreboque vazio. Inicialmente, foi cogitado que com o semirreboque carregado haveria valores maiores principalmente na região das costas, o que não foi verificado. Com isso, foi possível verificar que trafegar com o semirreboque vazio é muito mais prejudicial à saúde do que com ele carregado que os níveis de acelerações encontrados foram maiores.

Com os resultados encontrados verificamos que o assento do motorista não atenua de forma satisfatória as acelerações da cabine, transmitindo as mesmas para o motorista.

Enfim, de forma geral, pode-se concluir que os níveis de acelerações encontrados variam com as imperfeições nas pistas, sendo que apenas quando as pistas estiverem em plenas condições de trafegabilidade as acelerações estão dentro do limite estipulado na norma ISO 2631. Uma forma de melhorarmos estes resultados é melhorando a qualidade de nossos bancos aumentando a capacidade de amortecimento dos mesmos aumentando a diferença entre o piso e o assento.

5.2 Sugestões de trabalhos futuros.

Este capítulo apresenta as seguintes sugestões para continuação deste trabalho:

- Realizar medições variando o tipo e modelo de caminhão e semireboque;
- Realizar novas medições utilizando um número maior de condutores;
- Novo estudo científico para verificar os efeitos de vibração nas mãos e braços;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrusaitis, S, F. **Estudo da prevalência e fatores de risco da lombalgia em caminhoneiros do estado de São Paulo.** Dissertação de Mestrado, faculdade de medicina universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

Anflor, C. T. **Estudo da transmissibilidade da vibração no corpo humano na direção vertical e desenvolvimento de um modelo biodinâmico de quatro graus de liberdade.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

Balbinot A.. **Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: um enfoque no conforto e na saúde.** Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica PROMEC/UFRGS, 2001.

Becker, T. **Desenvolvimento de uma mesa vibratória para estudos sobre vibração no corpo humano, medições em um grupo de motoristas e ajuste de um modelo biodinâmico.** Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

Bendat J. S., Piersol A. G. **Random Data: Analysis and measurement procedures.** Editora Wiley-Interscience, 1971.

Boiléu P. É., Rackheja S. Whole-body vertical biodynamic response characteristics of the seated vehicle driver measurement and model development. **Journal of Industrial Ergonomics** 22 (1998), 449-472, 1998.

Bovenzi M., C.T.J. Husholf. An update review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain. **Journal of Sound and Vibration** 215(4), 595-612, 1998.

Brinckmann P., Frobin W., Biggemann M., Tillotson M., Burton C.. **Quantification of overload injuries to thoracolumbar vertebrae and discs in person exposed to heavy physical exertions or vibration at the workplace. Part 2 – Occurrence and magnitude of overload injury in exposed cohorts.** *Clinical Biomechanics*,13, Supplement 2, S(2) 1-S(2)36, 1998.

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

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

Cho Y., Yoon Y-S. Biomechanical model of human on seat with backrest for evaluation ride quality. **International Journal of Industrial Ergonomics** 27 (2001):331-345, 2001.

Coermann, R.R. **The mechanical impedance of the human body in sitting and standing position at low frequencies.** *Human Factors*, October, pp. 227-253, 1962.

Cunha, I, A. **Exposição ocupacional à vibração em mãos e braços em marmorarias no município de São Paulo: proposição de procedimento alternativo de medição.** Tese de Doutorado, Escola politécnica da universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

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

Griffin. M., J., A comparison of standardized methods for predicting the hazards of whole-body vibration and repeated shocks. **Journal of Sound and Vibration**, 215 (4), 883-914, 1998.

Google maps pg 45 e 46.

Griffin, M., J. **HandBook of human vibration**. Academic Press. U.S.A, 1990.

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

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

ISO 2631-5. **Mechanical Vibration and shock – evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 5: method for evaluation of vibration containing multiple shocks**. International Standard, 2004.

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

Kayser C.; Correia J. U. C.; Andrade L. E. C. A. **Fenômeno de Raynaud**, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

Lemos, L, C. **Prevalência de queixas de dores osteomusculares em motoristas de caminhão que trabalham em turnos irregulares**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

Magnusson M. L., Pope M. H., Hulshof C. T.J., Bovenzi, M. Development of a protocol for epidemiological studies of whole-body vibration and musculoskeletal disorders of the lower back. **Journal of Sound and Vibration**, 1998.

Mansfield N. J., Griffin M. J., Non-Linearities in apparent mass and transmissibility during exposure to whole-body vertical vibration. **Journal of Biomechanics**. pp,933-941, 2000.

MACEDO, Ricardo - **Manual de Higiene do Trabalho na Industria**. Editorial Fundação Calouste Gulbenkian. 2004.

Macedo C. S. G.; Battistella L. R. **Impacto da lombargia na qualidade de vida de motorista de ônibus**, Unipar, 2007.

Matsumoto Y., Griffin M. J. Movement of the upper-body of seated subjects exposed to vertical whole-body vibration at the principal resonance frequency. **Journal of Sound and Vibration**, pp, 743-762, 1998.

Moore, K., L. **“Anatomia Orientada para Clínica”**. Editora: Guanabara Koogan, 6ª edição, 2011.

NHO 09. **Avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro**. Norma brasileira, 2012

NR 15. **Norma regulamentadora 15 atividades e operações insalubres**. Norma brasileira, 1978

Quintas, J. P. R. **Metodologia para avaliação de ruído e vibração no corpo humano em navios de transporte de carga perigosas**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

Yamashita R. Y. **Avaliação das condições de trabalhadores e da exposição de operadores de máquinas de colheita florestal**, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

Walber, M. **Avaliação dos níveis de vibração existentes em passageiros de ônibus rodoviários intermunicipais, análise e modificação projetual**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

Wasserman, Donald E. “Vibration: Principles, Measurements, and Health Standards” **Seminars in peinatology**. vol 14, No 4 (August) 1990:pp 311-321,1990.

Wasserman, Donald E. “**Human aspects of occupational vibration**”. Elsevier Science Publishers B. V., U.S.A., 1987.

Zavarize S. F.; Wechsler S. M. **Lombalgia e qualidade de vida**, estudo da produção científica no Brasil, Pontifícia Universidade Católica, São Paulo, 2008.

APÊNDICE A

A.1 – Pistas especiais com semirreboque vazio.

Para a pista de pedra de rio, Figura 29, apenas o valor de aceleração (RMS) encontrado na região do piso e na região do assento está dentro do limite de exposição para 4 horas diárias. Na região das costas os resultados ficaram dentro do limite de exposição para 4 a 8 horas. Estes diferentes resultados podem ser visualizados na Figura 59.

Os valores de dose de vibração referentes a 8 horas diárias, para o motorista 1, foram $13,6 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $12,9 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $20,3 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso e para o motorista 2, foram $11,8 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $11,4 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $19,3 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso. Para esta pista, apenas o valor referente à região do piso está fora do limite de exposição.

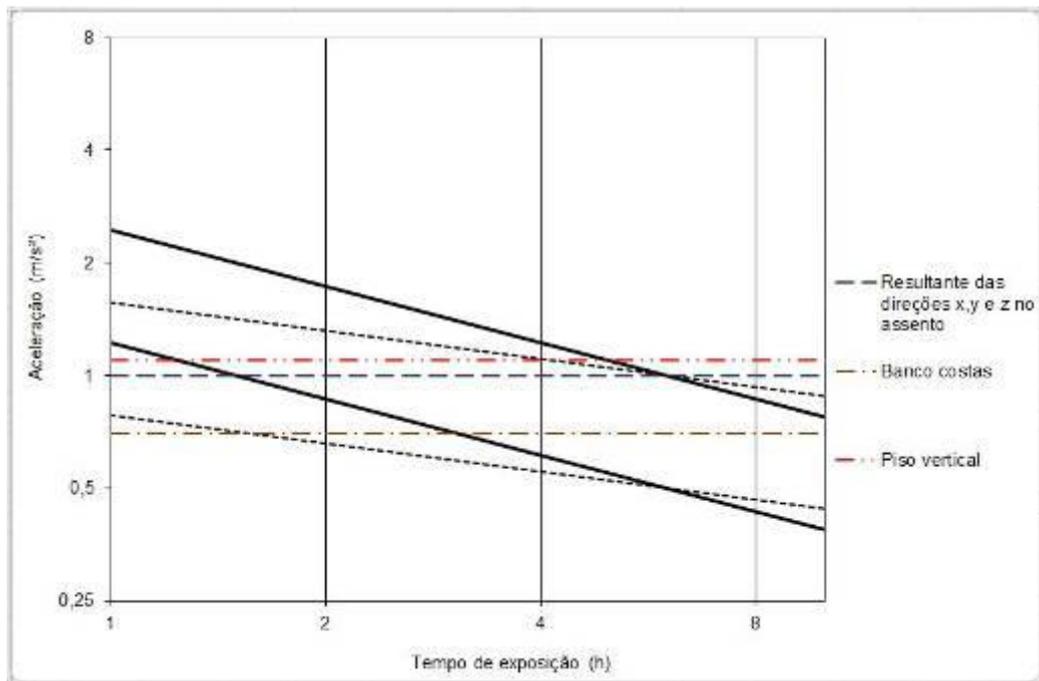


Figura 58 – Pista de pedra de rio.

Para a pista de paralelepípedo, Figura 29, todos os valores de aceleração (RMS) encontrados estão fora do limite de exposição para 4 e 8 horas diárias. Estes resultados podem ser visualizados na Figura 60.

Os valores de dose de vibração referentes a 8 horas diárias, para o motorista 1, foram $34,3 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $57,2 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $59,9 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso e para o motorista 2, foram $38,8 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $49,1 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $58,9 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso. Neste tipo de pista, pode-se verificar que os resultados de valores de dose de vibração (VDV) tiveram uma maior variação dos resultados de um motorista para outro, sendo que todos os valores estão acima do limite de exposição.

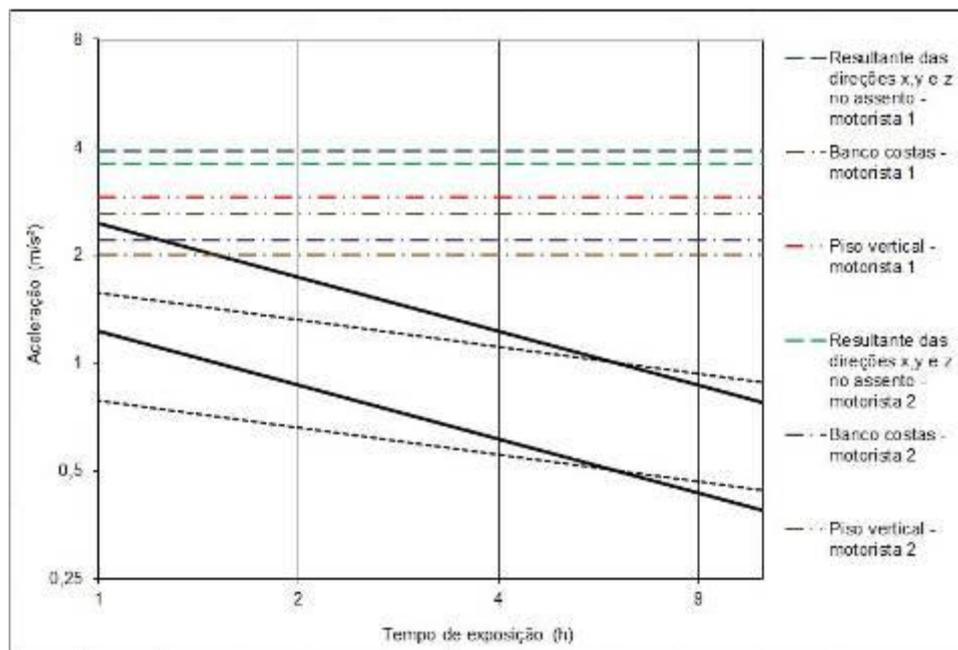


Figura 59 – Pista de paralelepípedo

Para a pista de torção (lombadas intercaladas), Figura 30, todos os valores de aceleração (RMS) encontrados ficaram fora do limite de exposição para 4 a 8 horas. Estes resultados podem ser visualizados na figura 61.

Os valores de dose de vibração referentes a 8 horas diárias, para o motorista 1, foram $18,9 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $27,2 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $30 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso e para o motorista 2, foram $21,2 \text{ m/s}^{1,75}$ nas costas, $38,7 \text{ m/s}^{1,75}$ no assento e $37,9 \text{ m/s}^{1,75}$ no piso. Nesta pista, pode-se verificar que todos os valores encontrados estão acima do limite de exposição.

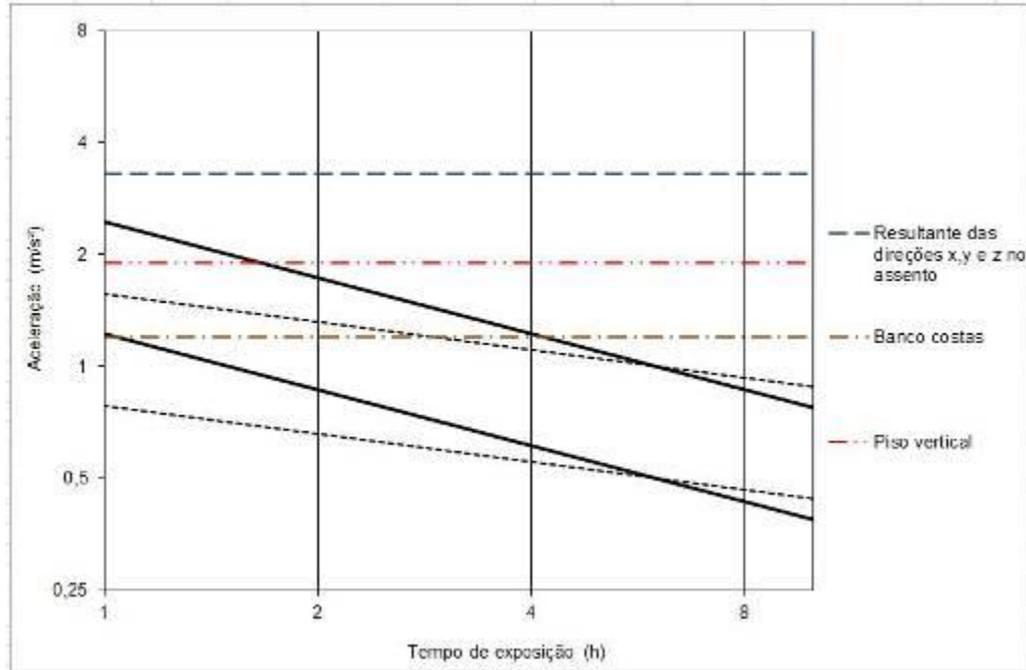


Figura 60 – Pistas de torção (lombadas intercaladas).