

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIOGRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MEDIÇÃO DA VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO SUPOSTA POR MOTORISTAS DE  
ÔNIBUS NO PERCURSO DE UMA LINHA URBANA EM PORTO ALEGRE

por

Israel Caberlon Maggioni

Monografia apresentada ao  
Departamento de Engenharia Mecânica da  
Escola de Engenharia da Universidade  
Federal do Rio Grande do Sul, como parte  
dos requisitos para obtenção do diploma de  
Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, 23 de novembro de 2015.

**MEDIÇÃO DA VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO SUPORTADA POR MOTORISTAS DE  
ÔNIBUS NO PERCURSO DE UMA LINHA URBANA EM PORTO ALEGRE**

por

Israel Caberlon Maggioni

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Alcy Rodolfo dos Santos Carrara  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Mecânica dos sólidos**

Orientador: Prof. Herbert Martins Gomes

Comissão de Avaliação:

Prof. Dra. Leticia Fleck Fadel Miguel

Prof. Dr. Jackson Manfredini Vassoler

Prof. Dr. Ignacio Iturrioz

Porto Alegre, 23 de novembro de 2015.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelo apoio e ajuda prestada, sobretudo no decorrer da elaboração deste trabalho e a meu orientador, Professor Herbert Martins Gomes por sua disponibilidade e pronta atenção durante todas as etapas do trabalho.

Também agradeço à empresa Carris, pelas permissões concedidas para a execução das medições necessárias.

MAGGIONI, I. C.: **Medição da vibração de corpo inteiro suportada por motoristas de ônibus no percurso de uma linha urbana em Porto Alegre**. 2015. 15f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

## RESUMO

A atividade laboral de motoristas de ônibus fica sujeita a uma exposição constante de vibração de corpo inteiro (VCI) e de vibração mão braço (VMB), excitações que em determinado grau podem representar risco ou até mesmo prejuízo à saúde. Situação particularmente acentuada no caso de VCI, devido à situação precária das vias urbanas, principalmente nas regiões periféricas da cidade. Neste trabalho será efetuada a medição da vibração de corpo inteiro numa linha de ônibus urbana de Porto Alegre, com trajeto que passe em área central e também periférica da cidade. Pretende-se avaliar se a exposição do motorista está dentro dos limites de tolerância postos pela mais recente versão da NR-15, de outubro de 2014. As medições necessárias para tal análise serão procedidas conforme as orientações da ISO 2631-1, com o uso do analisador de vibrações Quest VI-400PRO e os dados por este equipamento processados serão confrontados com os limites atuais da NR-15. Espera-se obter um prognóstico a respeito do nível do risco associado à exposição à vibração de corpo inteiro (VCI) relativo a um motorista de ônibus de uma linha de trajeto mediano de ônibus em Porto Alegre, Brasil. Os resultados demonstraram que os limites estabelecidos pela NR-15 não são ultrapassados no caso analisado, porém, os valores de vibração apresentados foram muito altos em todos os tipos de pavimentação verificados, acima do nível de ação determinado pela norma NHO 09 de 2013.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vibração de Corpo Inteiro (VCI), Vibração Corpo Humano, Motorista de Ônibus, ISO 2631, NR-15,

MAGGIONI, I. C.: **Whole body vibration measurement subjected by bus drivers in urban line sat Porto Alegre.** 2015. 15f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

## ABSTRACT

The work day journey activity of bus drivers is subject to constant exposure to whole-body vibration (WBV) and hand-arm vibration (HAV), excitations which to some degree may represent risk or even hazard to health. This is particularly marked in the case of WBV due to the precarious situation of urban roads at Porto Alegre, especially in countryside areas of the city. In this paper the measurement of whole body vibration will be performed in an urban bus line of Porto Alegre, with path that passes in central and also peripheral area of the city. It is intended to evaluate if the driver's exposure is within the threshold limits posed by the latest version of the NR-15, from October 2014. The measurement procedures required for this analysis will follow the guidelines of ISO 2631-1, using the vibration analyzer Quest VI-400PRO and the data processed by this equipment will be faced with the current limits of the NR-15. It is expected to get a prognosis regarding the level of risk associated with exposure to whole-body vibration (WBV) on a bus driver of a bus regular route line in Porto Alegre, Brazil. The results showed vibration under the norm limits to the case. But, the values were too high to every kind of floor verified, above the action level, determined by the NHO 09.

**KEYWORDS:** Whole Body Vibration (WBV), Human Vibration, Bus Driver, ISO 2631, NR-15.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Sistema Biomecânico simplificado corpo humano sob vibração vertical. ....	3
Figura 2.2 – Curva de ponderação por frequência $W_k$ e $W_d$ para vibração de corpo inteiro. ....	5
Figura 2.3 – Eixos basicêntricos do corpo humano em posição sentada para avaliação quanto à saúde. ....	6
Figura 3.1 - Medidor VI400-Pro e <i>seatpad</i> usados nas medições. ....	7
Figura 3.2 - <i>Seatpad</i> posicionado corretamente no assento para procedimento de medição ....	8
Figura 3.3 - Ônibus com o qual foram obtidas as medições ....	8
Figura 3.4 - Mapa com o traçado do trajeto da linha e os tipos de piso ....	9
Figura 3.5 - Pavimento rústico (A); Placas moldadas de concreto antigas (B); Placas de concreto moldado novas (C); Asfalto (D). ....	10
Figura 3.6- Gráfico de VDV e Aceleração rms apenas no eixo z para o trecho de placas moldadas novas ....	13
Figura A.1 – Certificado de Calibração do Equipamento VI-400 Pro. ....	16
Figura A.2 - Gráfico de Aceleração rms para o trecho de pavimentação rudimentar ....	17
Figura A.3 - Gráfico de Aceleração rms para o trecho de placas moldadas antigas ....	17
Figura A.4 - Gráfico de Aceleração rms para o trecho de placas moldadas novas ....	17
Figura A.5 - Gráfico de Aceleração rms para o trecho de asfalto. ....	18
Figura B.1 - Gráfico das zonas de risco à saúde proposto pela ISO 2631-1 de 1997 (aplicado para os dados computados para o trajeto de placas moldadas de concreto novas) ....	20

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.2 - Características do ônibus Volksbus 17-230. ....	8
Tabela 4.2 - Acelerações medidas e calculadas para o ônibus ligado e parado ....	11
Tabela 4.3 - Acelerações medidas e calculadas para o ônibus em circulação. ....	12
Tabela 4.4 - Acelerações medidas entre os tempos de 09:52:40 e 09:54:40. ....	13
Tabela 4.5.–Tempo de medição dos trechos e valores totais e normalizados da exposição ....	13
Tabela B.1 - tabela gerada por cálculo em excel para os valores de aceleração medidos no trecho de placas moldadas de concreto novas. ....	19

ÍNDICE	Pág.
AGRADECIMENTOS .....	iii
RESUMO .....	iv
ABSTRACT .....	v
LISTA DE TABELAS .....	vi
ÍNDICE .....	vii
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Motivação .....	1
1.2 Objetivos .....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	2
2.1 A vibração .....	2
2.2 Efeitos da vibração no corpo humano .....	2
2.3 Normas que pautam a análise de VCI .....	3
2.4 Procedimentos de Avaliação de VCI .....	4
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	7
3.1 Procedimentos e equipamentos utilizados .....	7
3.2 Modelo de ônibus em análise .....	8
3.3 Trajeto escolhido .....	9
3.4 Tipos de pavimentos .....	9
4 RESULTADOS .....	10
4.1 Avaliação sobre o risco à saúde da atividade dos motoristas .....	10
4.2 Veículo ligado e parado .....	11
4.3 Veículo em circulação .....	11
4.4 Composição de todos os trechos .....	13
5 CONCLUSÕES .....	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	15
ANEXO A .....	16
APÊNDICE A .....	17
APÊNDICE B .....	19

## 1 INTRODUÇÃO

A vibração é um aspecto do movimento presente em praticamente todas as atividades laborais em que há o emprego de ferramenta ou sistema mecânico que descreva um movimento. Tal ferramental é operado diretamente pelo trabalhador e entre estes há contato e consequente transmissão da vibração para os tecidos corporais. Essa vibração pode ser decomposta em duas modalidades, a Vibração Mão-Braço (VMB) e a Vibração de Corpo Inteiro (VCI). As duas formas podem representar riscos ao homem, dependendo da faixa e do período de exposição do ser humano a tais modulações vibratórias, que podem ser fontes de desconforto e também causa de problemas de saúde.

Esta problemática é uma realidade bastante evidente na atividade de motoristas de ônibus, os operadores do transporte público coletivo mais amplamente utilizado pela população e preconizado pela administração pública da cidade de Porto Alegre. Algo evidente pelos investimentos no setor e pelos projetos de ampliação deste sistema viário para os anos vindouros. Por estes motivos é tão importante um estudo mais aprofundado da vibração que atinge os motoristas de ônibus, principalmente nos aspectos de VCI, que representa uma das modalidades vibracionais mais relevantes na atividade de condução de veículo de transporte, principalmente os de grande porte.

Em razão da importância do efeito da excitação vibratória no quadro da saúde dos trabalhadores, houve em outubro de 2014 uma alteração na NR-15, com a inserção de um valor limítrofe para a exposição diária dos trabalhadores à vibração, limite que determina se a atividade exercida é ou não insalubre, aspecto que pode gerar a obrigação do empregador de pagar um acréscimo salarial ao empregado pela circunstância desfavorável em que desenvolve sua profissão. Esta exposição diária à vibração é função de alguns aspectos distintos, como o tipo do piso por onde trafega o ônibus, o tipo de amortecimento disponível no carro e no banco do motorista, o modelo de ônibus e também a forma como o condutor do ônibus o dirige.

### 1.1 Motivação

Diversas decisões de tribunais em todo o país têm dado ganho de causa às reclamações referentes a indicação de vibração de corpo inteiro em motoristas de ônibus como fator de insalubridade e consequente percepção de adicional de insalubridade. Foram decisões que não chegaram a transitar em julgado, cabendo ainda a possibilidade de recursos a instâncias superiores (Ferreira, 2015, Leiria, 2013, Santos Jr., 2003, CONJUR, 2014). As medições são feitas por perícias técnicas, que na maior parte das vezes utilizavam as indicações da NR-15 que remetem à ISO 2631, 1997. Entretanto, até outubro de 2014 não havia regulamentação do Ministério do Trabalho e Emprego (TEM) que estabelecesse limites técnicos de valor de aceleração assim como tempo de exposição que definisse claramente um patamar limítrofe de uma situação de perigo à saúde. Desta forma este trabalho se insere na tentativa de avaliar os valores de VCI e verificar sua adequação aos limites desta nova normativa da NR-15 de 2014, posta pelo anexo 8 e seguindo os procedimentos constantes na NHO-09 de 2013.

### 1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é avaliar se em algum tipo de condição o limite estipulado pela NR-15 é atingido na atividade ocupacional dos motoristas de ônibus de linha urbana de Porto Alegre, mostrando a existência de uma condição insalubre. Por este motivo as medições tomadas se deram junto ao modelo de ônibus mais antigo da frota regular da empresa detentora dos direitos de exploração de uma linha específica, durante viagens regulares desta, com o transporte de passageiros e mediante pilotagem média e padrão do condutor, o que retrata o pior caso possível, pelo amortecimento mais defasado do carro e do banco em que o motorista fica acomodado. Assim, a variável que se apresenta alternante é a mudança de piso durante os trechos do percurso, que no presente caso são segmentos de asfalto, placas moldadas de concreto antigas, placas moldadas de concreto instaladas recentemente e a pavimentação aqui denominada de “rudimentar”, composta de uma base de pedregulhos ou paralelepípedos cobertos por uma fina camada de revestimento asfáltico.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A vibração

Quando se aborda a questão da vibração é mister estabelecer uma definição da mesma para melhor compreender os parâmetros e as relações que sobre ela agem, assim, entende-se que vibração é qualquer movimentação que um corpo exerce em torno de um ponto fixo, que pode ser descrita pelo histórico de sua posição, velocidade ou da aceleração, que é a forma mais usual de mensurá-la. Desta maneira bem define Rao, 2011, um corpo é considerado em estado de vibração quando se encontra em movimento oscilatório em torno de um ponto de referência. Esta movimentação pode ser descrita pelo número de vezes que é completamente exercida dentro do intervalo de tempo de um segundo, esta é a frequência desenvolvida pelo corpo, medida na unidade de Hertz [Hz].

Neste trabalho a referência está centrada no corpo humano, mais propriamente, o do motorista, que está exposto a qualquer vibração transmitida pelo veículo em razão de um evento externo a ele, fruto da interface entre pneus e solo e também pelo movimento relativo gerado pelo motor do ônibus durante seu funcionamento. Para a análise dos valores de vibração é possível estabelecer duas relações gráficas que permitem uma avaliação técnico-científica, a primeira por meio da amplitude de vibração ao longo tempo, e a segunda através do cruzamento de amplitude de vibração e frequência, esta última é conhecida como espectro de frequência. Tal espectro pode ser discreto, advindo de sinais periódicos, ou então, pode ser um espectro contínuo, com seu gênese em sinais contínuos aleatórios ou transientes.

Outro parâmetro de fundamental importância dentro de um sinal vibratório é o valor *rms* (*root mean square*), também conhecido como valor eficaz, que permite verificar a média de energia contida no movimento oscilante, estando nesta medida de energia acumulada a mensuração do potencial lesivo da vibração. É em virtude da energia contida na onda que o movimento oscilatório gera danos aos tecidos humanos (Griffin, 1990), e este valor pode ser quantificado, estabelecendo o valor *rms* para uma função variável contínua  $a(t)$  no intervalo de tempo  $T_1 \leq t \leq T_2$ , onde:

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} [a(t)]^2 dt} \quad (2.1)$$

A atuação da vibração sobre os tecidos humanos está classificada, de acordo com suas características e devidas particularidades dentro da normatização da ISO 2631-1, de 1997. Esta classificação toma por base uma simplificação da estrutura física do corpo humano, resultando num sistema biomecânico, modelado como um sistema linear, estimado por meio de um equivalente amortecido massa-mola, a Figura 2.1 ilustra tal simplificação de sistemas corporais modelados por sistemas massa-mola. Na norma ISO são apresentadas faixas de frequência para as duas modalidades vibracionais, para VMB de 6,3 a 1250 Hz e para VCI, a que realmente interessa para este trabalho, uma extensão entre 0,1 e 80 Hz. Salientando que as Vibrações de Corpo Inteiro são as que incidem o corpo todo, e a faixa estabelecida pode ser dividida em dois intervalos, o primeiro, entre 0,1 e 0,5 Hz que são frequências geradoras de enjoo e o segundo intervalo entre 0,5 e 80 Hz, faixa para conforto, percepção e saúde, espectro em que reside o interesse deste trabalho, já que é no íterim da interferência na saúde do trabalhador que se encontra o escopo da caracterização de insalubridade.

### 2.2 Efeitos da vibração no corpo humano

A ação da vibração sobre o corpo humano e o reflexo sobre a saúde se dá através da integração de diversos fatores circunstanciais, relativos ao tipo de exposição ao movimento oscilatório e de características individuais das pessoas expostas. Alguns dos aspectos mais relevantes são a amplitude e o espectro de vibração, características do tipo de vibração, os demais aspectos dizem respeito à forma de exposição, pelo período diário em que o corpo fica

suscetível a mesma e à exposição pré-acumulada (Harris e Piersol, 2000). Embora os aspectos já listados sejam de grande valia para prever o quão danosa a vibração pode ser aos tecidos humanos há um fator muito singular e pessoal, a situação física e até mesmo genética de cada pessoa, o que pode tornar alguns mais suscetíveis a doenças ocasionadas pela exposição à vibração do que outros sujeitos a mesma situação vibratória.

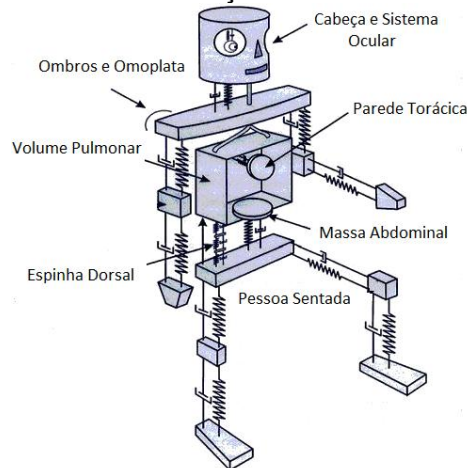


Figura 2.1 – Sistema Biomecânico simplificado corpo humano sob vibração vertical.  
(Fonte: adaptado de Brüel&Kjaer, 1989)

Uma situação agravante do efeito vibratório sobre o corpo humano é a referente ao fenômeno da ressonância, quando a excitação externa transmite aos tecidos frequências muito próximas ou iguais às frequências naturais das estruturas o movimento vem a ser amplificado, podendo ser a excitação de alta ou baixa amplitude. Mesmo que o corpo humano tenha um elevado índice de amortecimento, o efeito de ressonância ainda representa alto risco para a saúde, muito dificilmente será alcançado o colapso das estruturas corporais, porém o prejuízo a saúde é grande.

Para a exposição a vibrações verticais há o estabelecimento de três faixas de frequência que afetam pontos específicos dos sistemas de tecidos humanos, quando sob o efeito de frequências ressonantes. No intervalo entre 5 e 10 Hz o fenômeno da ressonância pode ser percebido na região do tórax e do abdômen, num período de frequência mais alta, de 20 a 30 Hz o conjunto afetado é a cabeça e as musculaturas de seu suporte, no pescoço e nos ombros, já a última faixa de frequências se encontra entre 30 e 60 Hz, com incidência de prejuízos ao sistema ocular (Chaffin et al.1999; Brüel & Kjaer, 2000; Griffin, 1990).

Justamente em função da ressonância é muito usual detectar problemas bastante condizentes com a faixa de exposição para vibração de corpo inteiro nos trabalhadores de transportes públicos de via terrestre. Os motoristas de ônibus, que são diariamente submetidos às vibrações dentro das faixas previamente elencadas têm grande propensão a apresentar problemas na coluna, com dores e desconfortos, principalmente na região lombar, pilar de sustentação da maior parte do peso corporal quando sentados para dirigir. Além desta constatação a literatura ainda cita a possibilidade de problemas de cansaço visual e redução acentuada da nitidez da visão, outras decorrências da exposição dos trabalhadores as frequências de ressonância.

### 2.3 Normas que pautam a análise de VCI

Para depurar e quantificar os efeitos da vibração de corpo inteiro sobre o corpo humano é imprescindível atentar para as normas que regulam e padronizam medições e análise de vibrações. Há inúmeras normas internacionais e também nacionais que tratam do tema, de forma que para o presente trabalho foram respeitadas as indicações e preceitos de normas ISO (International Organization for Standardization) uma Diretiva Europeia (European Directive 2002/44/CE) e normas brasileiras.

As normas ISO utilizadas foram: ISO 2631-1, 1997, que trata dos métodos adequados para determinar os valores relativos à vibração e conforto e saúde humana; ISO 2631-4, 2001, que aborda os aspectos de vibração sobre passageiros e tripulações presentes em veículos; ISO 2631-5 de 2004, que estabelece regulamentações para a avaliação de VCI para pessoas expostas à vibração quando sentadas em sistemas mecânicos em trânsito sobre superfícies rugosas.

A Diretiva Europeia consultada foi a European Directive 2002/44/CE, 2002, que pauta os valores limites de exposição, para um trabalhador na Europa, diante de vibrações de corpo inteiro e seu respectivo nível diário de exposição.

Dentro da normatização nacional foram usadas a norma reguladora NR-15, Anexo 8 (2014), que apresenta os limites de exposição diária para considerar uma atividade laboral como insalubre dentro do território Brasileiro; e por fim a Norma de Higiene Ocupacional, redigida pela FUNDACENTRO, NHO 09, 2013, que traça os critérios e procedimentos para a avaliação de VCI sobre trabalhadores.

Pela base da normatização, estabelecida expressamente no Anexo 8, os valores relativos à vibração de corpo inteiro que indicam existência de condição insalubre são os que alternativa ou concomitantemente superam os limites de exposição diária de  $1,1 \text{ m/s}^2$  de aceleração resultante de exposição normalizada ou  $21,0 \text{ m/s}^{1,75}$  de valor de dose de vibração resultante (VDVR).

#### 2.4 Procedimentos de Avaliação de VCI

Para executar medições de vibração e a devida interpretação dos dados recolhidos há uma determinada metodologia e procedimentos previstos em normas. Para o caso de vibração de corpo inteiro as normas balizadoras foram a ISO 2631, 1997, e a NR-15, 2014, através do Anexo 8, que indicada como guia procedimental o NHO 09, 2013, se valendo das definições e conceitos discorridos pela redação da FUNDACENTRO.

As duas normas trabalham sempre com a aceleração *rms* para quantificar e fazer as devidas comparações de aceleração. A única inconveniência de tal abordagem é a existência de possíveis efeitos de frequência, que são negligenciados pelos modelos de aquisição de dados por uso da aceleração *rms*, afinal, diferentes espectros de frequência podem gerar valores de leitura similares em parâmetros distintos, sendo que o efeito destas frequências em cada um dos três eixos de atuação será diferente. Em função desta distorção é preciso corrigir a leitura, e tal retificação deve ser feita com a aplicação das curvas de compensação para medições de movimentos oscilantes, com atribuição de predominância do efeito de uns eixos sobre outros, de acordo com a sensibilidade mais apurada do corpo humano para certos tipos de movimento.

A correção gera um novo valor, chamado de  $a_w$ , a frequência ponderada pelos pesos propostos pela norma de acordo com o tipo de exposição e para fim de saúde ou conforto. A equação (2) é a empregada para o cálculo de aceleração ponderada em  $\text{m/s}^2$ , onde  $a_i$  representa a aceleração *rms* e  $W_i$  é o fator de ponderação advindo da norma (Harris e Piersol, 2000; ISO 2631, 1997; Griffin, 1990):

$$a_{wi} = \sqrt{\sum_i [W_i \cdot a_i]^2} \quad (2.2)$$

A Figura 2.2 apresenta o traçado das curvas de ponderação por frequência necessárias para a determinação da vibração de corpo inteiro, os fatores  $W_k$  e  $W_d$ , as únicas aplicadas na verificação do nível de exposição relativo à saúde.

Diante da curva de ponderações e das faixas de vibração definidas pela norma ISO 2631-1, 1997, tem-se o estabelecimento de fatores de ponderação que corrigem a leitura da aceleração *rms* no eixo longitudinal z, o fator  $W_k$ , e nos eixos transversais x e y, o fator  $W_d$ , diante da análise de VCI na superfície de contato do assento com o motorista. Outra necessidade da medição da aceleração pelas formas diretas de aquisição é a estipulação do

fator multiplicador, denominado de K (ou de  $f_j$  da NHO-09, 2013), que tem valor tabelado na norma de acordo com o fator de ponderação, mas este fator K se relaciona com a forma como o corpo humano percebe a vibração recebida por diferentes partes do corpo, de acordo com o tríduo axial em que as excitações são distribuídas. Vale salientar que os valores de ponderação também se distinguem pela modalidade de afetação da vibração, se esta é para análise de conforto ou de saúde.

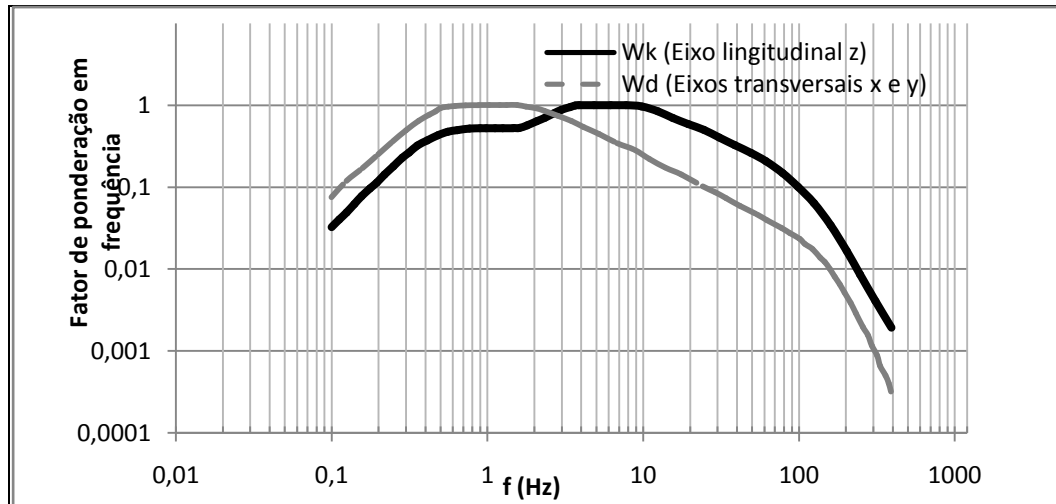


Figura 2.2 – Curva de ponderação por frequência  $W_k$  e  $W_d$  para vibração de corpo inteiro. (Fonte: NHO 09, 2013, adaptada de ISO 2631-1, 1997)

A norma ISO 2631-1 (1997) apresenta valores para os fatores de multiplicação e as curvas de ponderação que devem ser aplicados nas medições de vibração, neste trabalho, os parâmetros que definem as correções que devem ser aplicadas são: vibração de corpo inteiro (para assento e piso) e com fins de análise de saúde humana. Para os três eixos vibracionais adequados aos parâmetros de medição tem-se:

\*Para o eixo x:

Superfície do assento  $W_d$  e  $K_x$  de 1,4; Apoio dos pés  $W_k$  e  $K_x$  de 1,0;

\*Para o eixo y:

Superfície do assento  $W_d$  e  $K_y$  de 1,4; Apoio dos pés  $W_k$  e  $K_y$  de 1,0;

\*Para o eixo z:

Superfície do assento  $W_k$  e  $K_z$  de 1,0; Apoio dos pés  $W_k$  e  $K_z$  de 1,0;

Os mesmos valores são adotados pela NHO-09 (2014).

Assim, com a determinação dos dois fatores de correção estabelecidos é possível calcular um valor de aceleração total, denominada de  $a_v$ , dada em  $m/s^2$ :

$$a_v = \sqrt{k_x^2 \cdot a_{wx}^2 + k_y^2 \cdot a_{wy}^2 + k_z^2 \cdot a_{wz}^2} \quad (2.3)$$

Neste ponto há uma diferença entre as recomendações da ISO 2631-1 (1997) e da NR-15 (2014). A ISO especifica que a aceleração total pode ser avaliada pela equação anterior, caso as acelerações *rms* nas três direções tenham a mesma magnitude, caso contrário deve-se tomar a maior das acelerações *rms*. No procedimento da NHO-09 (2014), a variável correspondente é a aceleração média resultante ( $amr$ ) e está dito apenas que se deve fazer a soma com os fatores de correção.

Outra avaliação importante, que deve ser observada é a possibilidade de haver lapsos diversos de exposição à vibração, com períodos de exposição que não são iguais e também com diferentes magnitudes. Para estas situações é imprescindível a determinação da aceleração total equivalente,  $a_{ve}$ , tomando por base o período de tempo da exposição, simbolizada na equação (4) por  $T_i$ .

$$a_{ve} = \sqrt{\frac{\sum a_{vi}^2 \cdot T_i}{\sum T_i}} \quad (2.4)$$

Como a avaliação pertinente a insalubridade precisa levar em conta a carga de exposição diária, conforme determina o anexo 8 da NR-15, há necessidade de fazer uma extrapolação sobre a exposição que o trabalhador recebe diariamente para poder comparar com os valores previamente estabelecidos por norma, compatíveis com a jornada diária de 8 horas. Para esta verificação sobre um tempo de referência de jornada usa-se a expressão (2.5), a chamada aceleração resultante da exposição normalizada, onde  $T_0$  apresenta-se como duração de jornada de 8 horas,  $T$  como jornada efetiva do trabalhador e  $a_{ve}$  vem a ser a aceleração ponderada (Griffin, 1990; Harris e Piersol, 2000; ISO 2631-1, 1997).

$$A_{(8)} = a_{ve} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (2.5)$$

Outro aspecto de suma importância na avaliação da insalubridade é o estabelecimento do valor de dose de vibração resultante, também limitado pela norma. Para a determinação deste parâmetro aplica-se a Equação (6), aonde VDV representa o valor de dose de vibração representativa da exposição diária na composição dos eixos x, y e z.

$$VDVR = \left[ \sum_j (VDV_j)^4 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2.6)$$

A preocupação com a depuração dos dados experimentais referentes ao movimento oscilatório não se restringe ao equacionamento da aceleração equivalente, a norma ISO 2631 também prescreve a correta posição dos eixos de análise para a medição da vibração sobre o corpo. Conforme mostra a Figura 3, para a análise vibracional suportada por um motorista deve-se posicionar o equipamento de medição de forma que no eixo vertical tome-se a coordenada z, e nos eixos transversais os eixos x e y, onde, x varre as excitações na direção costas-fronte e y varre as excitações laterais. Tais posicionamentos são provenientes de um sistema de coordenadas basicêntrica, que adota como origem o ponto de apoio do corpo, a partir do qual a vibração é transmitida ao corpo.

Este sistema de orientação axial permanece o mesmo tanto para a tomada de medições transmitidas do assento para o tronco e cintura do motorista como para a avaliação da vibração transmitida do piso para os pés e pernas do motorista.

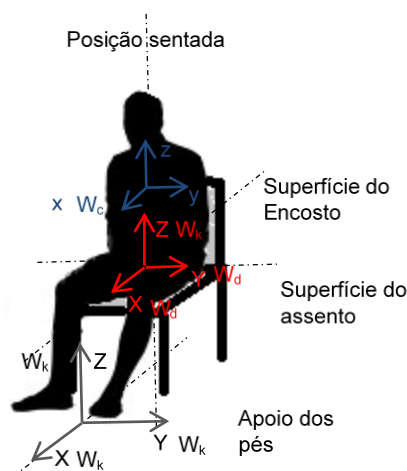


Figura 2.3 – Eixos basicêntricos do corpo humano em posição sentada para avaliação quanto à saúde.

(Fonte: VENDRAME, 2015. Adaptado)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Procedimentos e equipamentos utilizados

Para a determinação dos valores vibracionais efetivamente transmitidos ao corpo do motorista se utilizou acelerômetros, devidamente posicionados em uma placa de contato compatível com o equipamento de leitura empregado. No caso, a ferramenta usada para a leitura e armazenamento dos dados coletados foi o medidor e analisador portátil de vibrações Quest VI-400Pro (QUEST-TECHNOLOGY, 2005), Número de Série 12430, que pode ser visto na figura 3.1. Este aparelho tem a capacidade de interpretar as informações apresentadas por quatro canais de entrada distintos, porém, no presente experimento só foram utilizados três destes canais, para os estímulos recebidos no terno axial x, y e z.



Figura 3.1 - Medidor VI400-Pro e *seatpad* usados nas medições

Para gerar os dados de entrada necessários ao analisador utilizou-se um transdutor, que faz a conversão da energia mecânica gerada pela aceleração do corpo do motorista em sinais elétricos proporcionais, de forma que a excitação mecânica, percebida pelos acelerômetros, seja inteligível para o analisador. O transdutor aplicado foi um *seatpad*, que é um disco com a borda externa feita de um material flexível, para se adequar ao formato do banco e com um núcleo rígido, onde estão encapsulados os acelerômetros, de forma padronizada para conseguir fazer leitura de vibração tri-axial. Posicionou-se o *seatpad* na interface entre motorista e assento, onde há a transferência de vibração do ônibus para o motorista, com a orientação da plataforma devidamente correspondente com as exigências da norma ISO 2631-1 de 1997, conforme demonstra a ilustração da Figura 2.3; também foi observada a posição do alinhamento entre o núcleo do *seatpad* e a coluna do motorista.

Para proceder a angariação de todos os dados exigidos para uma análise científica é preciso configurar os equipamentos de medição para que seja possível interpretar de forma coerente as excitações recebidas pelos instrumentos. Para este processo fez-se o uso do software compatível com o ferramental, o *Quest Suite Professional II*, que permite a calibração do analisador, de acordo com as curvas de ponderação exigidas para a finalidade desejada da análise em questão e com o devido *set* dos fatores de multiplicação requeridos. Depois de devidamente preparados os aparelhos de medição e de armazenados os dados de campo ainda é preciso depurar todas as informações, o mesmo programa que permite a calibração apresenta ferramentas de pós-processamento, com a produção de gráficos com todas as informações necessárias para a avaliação da vibração. No Apêndice B se encontra uma tabela que exemplifica os cálculos feitos por meio de ferramenta computacional que gera resultados condizentes com os pós-processados do software para o trecho de placas moldadas de concreto novas e junto com a tabela está o gráfico proposto pela ISO 2631-1 de 1997 para as regiões de saúde traçada para tais valores.



Figura 3.2 - *Seatpad* posicionado corretamente no assento para procedimento de medição

### 3.2 Modelo de ônibus em análise

Para determinar se há ou não insalubridade na atividade laboral do motorista de ônibus em razão do nível de exposição à vibração é importante considerar que existe uma frota de carros em condições bastante distinta e que os motoristas não utilizam sempre o mesmo veículo. Por esta razão optou-se por tomar as medições em um dos carros da linha escolhida do modelo e do ano mais antigo ainda em rodagem, por representarem a pior situação com relação ao amortecimento, tanto do carro quanto do assento em que o motorista fica durante o trajeto. As medições foram feitas durante a operação normal do ônibus apresentado na Figura 3.3, com transporte de passageiros e nas velocidades condizentes com a realidade diária de condução, de acordo com o limite de velocidade estabelecido e pela situação do tráfego.



Figura 3.3 - Ônibus com o qual foram obtidas as medições

O veículo em questão, que atende aos requisitos esperados e que percorre a linha escolhida para verificação é um ônibus produzido pela Volkswagen, do modelo 17-230 e do ano de 2006. A empresa concessionária, detentora dos direitos de exploração da linha, forneceu alguns dos dados deste veículo:

Tabela 3.2 - Características do ônibus Volksbus 17-230

Tamanho do Chassi	Normal
Combustível	Diesel
Potência	210HP
Massa total sem passageiros	16 toneladas
Amortecimento	Molas semielípticas, amortecedores telescópicos de dupla ação, molas de borracha e barra estabilizadora
Caixa de transmissão	Automática

### 3.3 Trajeto escolhido

A partir do estabelecimento de uma situação crítica de vibração para o condutor diante de um veículo com dispositivos de amortecimento de vibrações menos efetivos, resta avaliar o desempenho deste gênero veicular diante da realidade viária de Porto Alegre, com uma grande diversidade de pavimentações ao longo de toda a cidade. Pela diferença de pisos existentes selecionou-se uma linha de ônibus de Porto Alegre com uma extensão que percorre áreas da periferia e também por uma zona central da cidade, trafegando pelos quatro tipos de piso mais usuais nas ruas porto alegrenses. Importante é salientar que dentro do perímetro urbano da cidade de Porto Alegre há uma preocupação de que os ônibus de linhas regulares não transitem em ruas com pavimentação de paralelepípedos ou pisos do mesmo gênero.

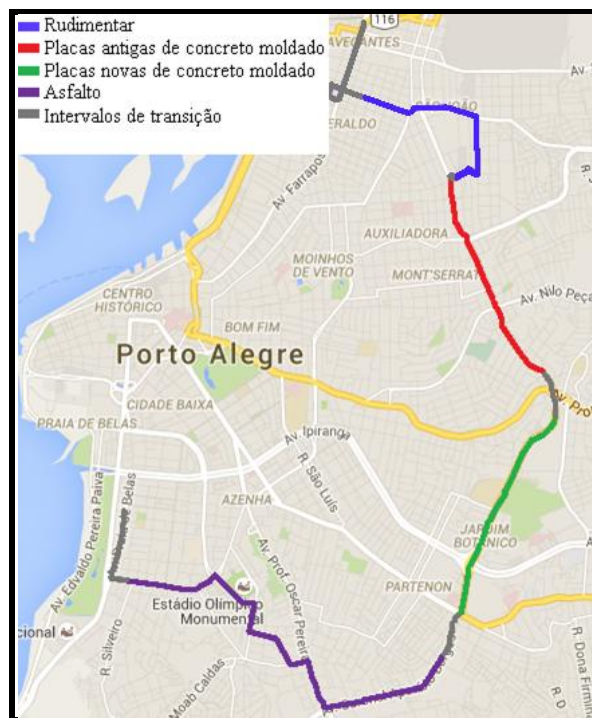


Figura 3.4 - Mapa com o traçado do trajeto da linha e os tipos de piso

O trajeto desta linha de ônibus escolhida se apresenta na Figura 3.4 e foi dividido em conformidade com o tipo predominante da pavimentação que apresenta cada região que atravessa, para que desta forma seja possível fazer uma comparação e estabelecer o piso mais crítico e verificar se em algum deles há o alcance dos valores relativos à insalubridade, estipulados pelo Anexo 8 da NR-15. A primeira região tem o piso que se definiu no presente trabalho como rudimentar, que apresenta uma base de paralelepípedos ou pedregulhos revestidos com uma camada de asfalto, o segundo trecho é composto por placas moldadas de concreto antigas; o terceiro trecho apresenta as placas moldadas de concreto novas e o último trecho apresenta apenas asfalto.

### 3.4 Tipos de pavimentos

Para fins de estudo, os quatro tipos de solos presentes nas vias rodoviárias foram classificados como asfalto, placas moldadas de concreto antigas, placas moldadas de concreto novas e piso rudimentar.

O piso asfáltico é considerado um tipo de pavimentação flexível, pois consegue ceder e ter uma relativa deformação quando é exposto a uma carga de compressão. O asfalto representa uma superfície de rodagem contínua e com uma interface de contato suave e lisa perante os pneus.



As placas moldadas de concreto se apresentam como um modelo de pavimentação mais rígido, um piso que cede menos que tem deformações menores diante da aplicação de uma carga compressiva. Estas placas são moldadas de forma padronizada, diretamente sobre a via, por isso é uma composição de módulos intercalados. No caso de Porto Alegre as placas moldadas de concreto podem se subdivididas em dois grupos, o das antigas e o das novas, sendo que as primeiras foram feitas com o uso de módulos mais curtos, com largura de dois metros e comprimento de dois metros. Estas placas foram as primeiras usadas em Porto Alegre e se encontram num estado de conservação ruim, com muitas rachaduras, desníveis e desgaste nas bordas. Já as placas novas foram instaladas mais recentemente e são maiores, com largura de dois metros e comprimento de três metros, além de terem sofrido a aplicação do *groove*, um tratamento sobre a superfície que gera um efeito de ranhuras, para melhorar a aderência dos pneus e facilitar o escoamento da água. Ambas as modalidades de placas moldadas de concreto são uma superfície de rodagem com interrupções frequentes, devido ao escalonamento dos módulos.

O piso rudimentar se trata de uma pavimentação primitiva, com uma base de pedregulhos ou paralelepípedos, sobre esta base há uma fina camada de revestimento asfáltico, sem o cuidado e preparo do solo, com uma cancha adequada para receber o revestimento, característica que gera muitas rachaduras e deformidades na camada de asfalto. Este tipo de piso apresenta uma relativa flexibilidade quando submetido à carga compressiva devido à camada de asfalto, porém há muita irregularidade na qualidade e na espessura desta camada. No trecho em análise do presente trabalho há intercalação de regiões de diferentes espessuras do revestimento asfáltico, com algumas pequenas zonas de asfalto regular.



Figura 3.5 - Pavimento rústico (A); Placas moldadas de concreto antigas (B); Placas de concreto moldado novas (C); Asfalto (D).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Avaliação sobre o risco à saúde da atividade dos motoristas

A seguir estão listados os valores medidos no assento do motorista durante o trânsito operacional do ônibus descrito no item 3.3 deste trabalho, em cinco situações distintas, a primeira com o veículo ligado, parado e em ponto morto, as outras quatro medições com o ônibus em seu deslocamento de trabalho diário em cada um dos quatro tipos de pisos existentes no trajeto da linha, conforme relatado no item 3.4.

Para cada uma das configurações propostas acima obtiveram-se os respectivos valores da aceleração *rms* ponderada pela frequência, para os três eixos do terno axial estipulado pela

ISO 2631-1, 1997 e também NHO-09, 2013. Estas acelerações *rms* têm suas leituras obtidas através dos acelerômetros e convencionalmente são chamadas de  $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$  e  $a_{wz}$  indicando que estão ponderadas pelas respectivas curvas. Por meio destas acelerações parciais calcula-se a vibração total  $a_v$ , pela aplicação da Equação (3), com o emprego dos valores medidos em campo e com os fatores de multiplicação adequados para avaliação da vibração de corpo inteiro quanto à saúde (pela NHO-09, 2013, esta soma vetorial deve sempre ser feita).

Com o valor de vibração total torna-se possível o cálculo da aceleração resultante da exposição normalizada, convencionada  $A_{(8)}$ , por intermédio da Equação (5), onde se apresenta a duração diária de exposição do trabalhador à vibração, para ser confrontada com o valor relativo a uma exposição de 8 horas diárias, o período da jornada de trabalho padrão. Para o caso da verificação da possível insalubridade na atividade laboral do motorista de ônibus da linha selecionada será adotada como exposição diária aquela que é exercida pela maior parte dos motoristas, de 8 horas e 48 minutos por dia, mediante trabalho em apenas cinco dias da semana. Desta forma será uma avaliação mais crítica e também realista da condição da vibração ocupacional, conforme determina a NR-15, 2014.

Para a averiguação da condição insalubre a norma ainda exige a verificação de outro parâmetro, o valor de dose de vibração resultante, definido como VDVR, obtido por meio da Equação (6) e se algum dos limites de VDVR ou  $a_v$  for excedido estará configurada a insalubridade.

#### 4.2 Veículo ligado e parado

A primeira leitura de dados refere-se ao estado do veículo ligado, parado e em ponto morto. Situação recorrente na jornada diária durante o embarque dos passageiros no terminal de partida. Nesta avaliação inicial não há a preocupação com o tipo de pavimento de rodagem, o interesse reside em estabelecer o nível de vibração que o simples funcionamento do motor transmite para o motorista. Estes dados representam a ação da estrutura do veículo em vibração sobre o corpo do condutor do ônibus, com os valores estipulados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Acelerações medidas e calculadas para o ônibus ligado e parado

$a_{wx}$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_{wy}$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_{wz}$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_v$ (m/s <sup>2</sup> )	$A_{(8)}$ (m/s <sup>2</sup> )	VDVR(m/s <sup>1,75</sup> )
0,4093	0,4955	0,3552	0,9674	1,0146	2,0698

Já neste momento é possível avaliar que o valor de aceleração resultante da exposição normalizada para o carro parado é alto, muito próximo ao valor limítrofe estipulado para a existência de condição insalubre. Tal valor se apresenta por ocasião das vibrações transmitidas nas direções horizontais x e y, que tem peso maior nos fatores multiplicadores quando é avaliada a VCI para saúde, enquanto a vibração absorvida verticalmente é muito inferior aos valores que se encontra durante o deslocamento.

Enquanto a aceleração ponderada é alta o valor de dose de vibração é bastante baixo, afinal, sem estar em deslocamento o ônibus não se expõem a choques ou impulsos, ações a que o VDVR é mais sensível.

#### 4.3 Veículo em circulação

As demais medições foram tomadas com o veículo em circulação no trajeto regular da linha ilustrada na Figura 7, e seus dados foram tomados isoladamente, conforme cada tipo de pavimento predominante no trecho. A Tabela 4.2 traz os valores medidos da aceleração *rms* ponderada pela frequência nos três eixos verificados, a partir das quais são calculadas as vibrações totais e as resultantes normalizadas, além do valor de dose de vibração resultante. Todos os valores estão dispostos de acordo com o tipo de pavimento do trecho em que foram obtidos.

Tabela 4.2 - Acelerações medidas e calculadas para o ônibus em circulação.

Piso	$a_{wx}$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_{wy}$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_{wz}$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_v$ (m/s <sup>2</sup> )	$A_{(8)}$ (m/s <sup>2</sup> )	VDVR(m/s <sup>1,75</sup> )
Rudimentar	0,3044	0,2032	0,8360	0,9720	1,0195	6,7535
Placas Antigas	0,2928	0,1881	0,8882	1,0131	1,0625	6,4946
Placas Novas	0,2812	0,1500	0,9409	1,0106	1,0606	7,3013
Asfalto	0,3240	0,2051	0,7727	0,9409	0,9868	7,2042

Diante dos valores estabelecidos é possível destacar quais são os quadros de exposição à vibração de corpo inteiro mais críticos. As piores situações se apresentam no tráfego em placas de concreto moldado, tanto nas antigas quanto nas novas, esta percepção reside nos valores de aceleração resultante da exposição normalizada, acima dos limites dos níveis de ação estipulados pela NHO 09 de 2013 (também chamada de VAE), o que não é evidenciado pelos valores de VDVR, abaixo da VAE elencada.

O valor de vibração durante a rodagem do ônibus sobre piso rudimentar foi o aspecto que se mostrou mais contrário a expectativa inicial, pois a base deste modelo de piso é bastante irregular tendo apenas em sua camada superior uma superfície de revestimento asfáltico, o que causa uma impressão de maiores instabilidade. Esperava-se fazer a aquisição das maiores vibrações, com as piores condições para o condutor justamente neste trecho rudimentar, porém não foi o verificado, o que provavelmente seja decorrência das velocidades desenvolvidas durante este trajeto, pelo emprego de velocidades muito mais baixas, devido às condições menos favoráveis da pista. Nos outros tipos de piso as velocidades desenvolvidas foram superiores e relativamente homogêneas umas em relação às outras. Assim, diante da mesma faixa de velocidades é possível perceber que a pavimentação de asfalto se apresenta como o melhor piso para a rodagem dos ônibus, com menores transmissões de vibração, oferecendo menos risco à saúde.

Pelos valores estabelecidos fica claro que as placas de concreto moldadas, tanto as novas quanto as antigas, têm os piores desempenhos e estes são muito parecidos. O que é possível distinguir entre os dois modelos de placa é o eixo principal de atuação da vibração, nas placas antigas, com muitas rachaduras e em pior estado, as excitações nos eixos horizontais são levemente superiores, enquanto no caso das placas novas as oscilações em x e y são menores, com valores bem superiores no eixo z.

Embora seja necessário considerar a vibração nos três eixos para fazer a correta leitura da vibração e das condições de insalubridade é interessante visualizar os gráficos com a aceleração *rms* ponderada no eixo z, já que  $a_{wx}$  e  $a_{wy}$  são muito menores e mais constantes ao longo dos trechos. No Apêndice I encontram-se os gráficos das acelerações *rms* de todos os trechos e na Figura 3.6 um gráfico com as medidas isoladas do eixo z dentro do trecho de medição executada sobre as placas moldadas de concreto novas, onde é visível a característica de trafegabilidade, demonstrando os perfis de vibração ao longo do percurso, e a influência da velocidade no valor de vibração vertical. Neste gráfico é possível observar claramente nas depressões mais prolongadas a passagem pelas seis paradas de ônibus existentes no trecho e as outras depressões mais curtas decorrem da diminuição de velocidade antes de curvas e de semáforos fechados.

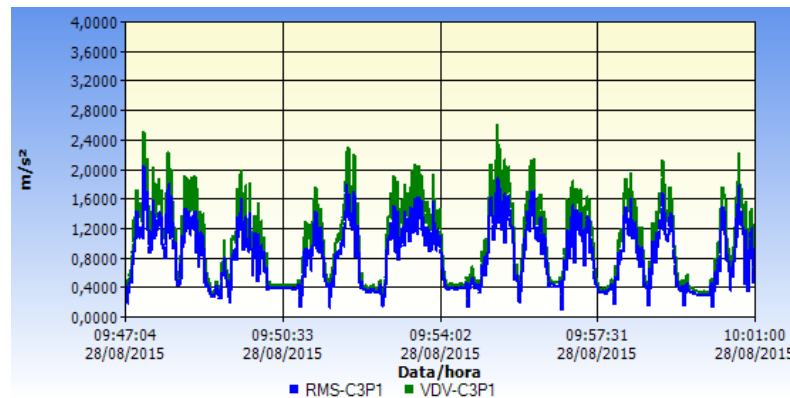


Figura 3.6- Gráfico de VDV e Aceleração rms apenas no eixo z para o trecho de placas moldadas novas

Diante desta possibilidade de análise mais limpa foi feita uma verificação à parte, adotando um intervalo dentro deste trecho pré-estabelecido, durante a passagem entre a segunda e a terceira parada de ônibus (entre os tempos de 09:52:40 e 09:54:40), onde há uma evolução mais homogênea da velocidade. Dentro deste período mais curto foram obtidos os valores de aceleração que seguem, na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Acelerações medidas entre os tempos de 09:52:40 e 09:54:40

$a_{wx}$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_{wy}$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_{wz}$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_v$ (m/s <sup>2</sup> )	$A_{(8)}$ (m/s <sup>2</sup> )	VDVR(m/s <sup>1,75</sup> )
0,2754	0,1755	1,1207	1,2104	1,2698	4,4798

Para este intervalo de tempo, onde o deslocamento é exercido mediante maiores velocidades o limite imposto pelo Anexo 8 da NR15 de 2014 para ser considerada uma condição insalubre é atingida, ultrapassando valor da aceleração resultante de exposição normalizada de 1,1 m/s<sup>2</sup>. Desta forma é notória a existência de uma região que apresenta a situação realística de exposição em condição insalubre, ainda que por apenas dois minutos, o que, de fato, não caracteriza a insalubridade, devido ao pequeno tempo de exposição.

#### 4.4 Composição de todos os trechos

Após ter sido proposta a avaliação individual e isolada de cada trecho conforme o tipo de pavimentação e até mesmo com a captura de um subintervalo para verificar as condições oferecidas ao motorista resta verificar como se estabelece o quadro integral do percurso da linha analisada. A mensuração integral de todos os lapsos distintos de exposição precisa ser estudada através da aceleração total calculada para cada um dos períodos e do tempo disposto na medição de cada um, pela aplicação da Equação (4).

A verificação do valor de dose de vibração resultante pode ser desprezada nesta avaliação, pois considera o nível de choques, que individualmente já se mostraram bastante baixos. Depois de calculado o valor total de aceleração para a integração dos trechos é necessário fazer a verificação da aceleração resultante de exposição normalizada deste valor. Tais dados estão na Tabela 4.4 e demonstram a não obtenção do limite para existência de insalubridade, mas apresenta valores superiores ao nível de ação previsto na NHO 09 de 2013.

Tabela 4.4.–Tempo de medição dos trechos e valores totais e normalizados da exposição

Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	$a_{ve}$ (m/s <sup>2</sup> )	$A_{(8)}$ (m/s <sup>2</sup> )
708,6 s	568,8 s	835,8 s	976,2 s	0,9807	1,0285

## 5 CONCLUSÕES

De acordo com os dados obtidos nas medições de vibração de corpo inteiro para fins de avaliação quanto à saúde de motoristas de ônibus é possível perceber que é presente em todo o período de trabalho uma faixa de acelerações consideravelmente alta, principalmente com relação à aceleração resultante da exposição normalizada. Assim, fica clara a necessidade de avaliar com maior cuidado as condições de trabalho destes motoristas de ônibus, para constatar se é atingido, em situações diferentes das aqui avaliadas, o valor proposto pela NR-15 de 2014 e também as recomendações de intervenção para as faixas de vibração existentes na NHO 09 e na ISO 2631-1.

Os valores de vibração averiguados para valor de dose de vibração resultante (VDVR) se mostraram aceitáveis diante das faixas estabelecidas como perigosas ou insalubres pela norma relativas à saúde NHO 09, alcançando os valores mais altos justamente nos pisos que permitem maiores velocidades, mas ainda assim em níveis insignificantes. Com relação à vibração diária de exposição ( $A_{(8)}$ ) os valores verificados foram bem altos, tendo todos ficado acima do nível de ação (VAE), entre 0,5 e 1,1 m/s<sup>2</sup>, e muito próximos ao limite superior de exposição.

Com base nos resultados medidos, diante da realidade de um dos veículos mais antigos que ainda detém permissão para operar em linhas regulares de Porto Alegre estabeleceu-se um elenco dos tipos de pavimentação mais desfavoráveis para o tráfego devido as vibrações transmitidas, e por consequente, mais propícias a configuração de condições de insalubridade para motoristas de ônibus. Neste diapasão verificou-se que o trajeto de placas moldadas de concreto antigas é o pior de todos, com o maior valor de aceleração normalizada e o trecho de placas moldadas de concreto novas representa o segundo pior tipo de piso. A pior colocação dos pisos de concreto provavelmente se explique pela possibilidade que oferecem de desenvolver maiores velocidades em conjunto com sua característica física de um piso muito rígido. Já os pisos rudimentar e asfáltico se apresentam nesta ordem como os melhores pavimentos, o segundo por sua característica de maior flexibilidade e o primeiro por impor uma cadência de tráfego em velocidades mais baixas.

Para a avaliação de insalubridade, conforme determinado pelo Anexo 8 da NR-15 a medição deve abranger os aspectos organizacionais e ambientais incidentes durante o exercício laboral do motorista, por isso a análise de insalubridade se deu sobre a composição de todos os trechos, descrito no item 4.4 deste trabalho e levando em conta o tempo da jornada de trabalho. Não se caracterizou a condição insalubre, pois o valor de aceleração resultante normalizada não ultrapassou o limite de exposição em 8h de 1,1 m/s<sup>2</sup>, porém, ficou muito próximo deste valor. Conforme determinam as duas normas supracitadas na percepção de valores acentuados, acima dos níveis de ação é preciso tomar medidas preventivas para amenizar as vibrações e a probabilidade destas causarem danos à saúde do trabalhador. Estudos relativos ao tipo de assento do motorista ou suspensão e condições de manutenção do ônibus podem guiar esta tomada das medidas preventivas.

Ainda que para o motorista da linha averiguada neste trabalho não haja condição insalubre foi demonstrado que há condições reais para o alcance de tal estado. E que em todas as formatações estabelecidas as faixas vibracionais se aproximam muito do limite seguro de exposição. Desta forma é aconselhável que as empresas de ônibus invistam em um detalhado mapeamento destas condições em outras linhas de ônibus que aqui, não foram objeto de estudo, assim como no melhoramento dos ônibus e na implementação de assentos com maior nível de amortecimento. A simples melhora da poltrona pode gerar grande redução de vibração para o motorista com um nível de investimento financeiro relativamente baixo. Tais medidas não devem ser tomadas apenas para evitar mais um encargo trabalhista que poderia ser solicitado diante da atestação da condição insalubre, mas também para gerar maior conforto e melhores condições para seus operários, o que além de resguardar a saúde melhoraria a prestação de seus serviços podendo gerar também um aumento do conforto para os passageiros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALBINOT, A. **“Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: um enfoque no conforto e na saúde”**. 2001. 281 f. Tese (Doutorado em engenharia). Escola de Engenharia- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2001.

Bruel and Kjaer, Primer: Human Vibration. Booklet. Ed. Bruel and Kajer, Denmark, 31p.1989.

Conjur. **“Motorista exposto à vibração do veículo tem direito a adicional de insalubridade”**. Revista Consultor Jurídico. <http://www.conjur.com.br/2014-jul-13/> Acessado em 13/07/2014.

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.

Ferreira, I. **“Nível de vibração dos ônibus ultrapassa limites de exposição definidos pela ISO”**. Agência USP de notícias. <http://www.usp.br/agen/repgs/2002/imprs/084.htm>. Acessado em 01/07/2015.

Griffin, M. J. **“Handbook of Human Vibration”**. Academic Press, London, 1990. ISBN: 0-12-303040-4.

Harris, C. M., Piersol, A. G. **“Shock and vibration Handbook”**. 6<sup>th</sup> Ed. McGraw-Hill, 1168p. 2000.

ISO 2631-1:1997. **“Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 1: General requirements”**. International Organization for Standardization, 2007.

Leira, M. L. **“Acórdão RO 0007151-73.2011.5.12.0001, insalubridade motorista vibração. Anexo 8 da NR-15”**. <http://s.conjur.com.br/dl/acordao-trt-sc-confirma-insalubridade.pdf>. Acessado em 04/07/2013.

NHO-09. **“Normas de Higiene Ocupacional. Procedimento Técnico - Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibração de Corpo Inteiro”**. Fundacentro. 64p. 2013. <http://www.fundacentro.gov.br/>. Acessado 01/07/2015.

NR-15. **“Norma Regulamentadora No.15. Atividades e operações insalubres - Anexo N°8 Vibrações”**.2014. [http://www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_15.pdf](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf).

Acessado em 08/10/2015.

NR-9. **“Norma regulamentador 9, Programa de Prevenção de Riscos Ambientais- Anexo N°1 Vibrações”**. [http://www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_9.pdf](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_9.pdf).2014. Acessado em 08/10/2015.


Quest-Technology. **“Real-time vibration Analyzers”**, VI-400PRO, Preliminary owner’s manual. 2005.

Rao, S. S. **“Mechanical Vibrations”**. 5<sup>th</sup> Ed. Prentice Hall. 1084p. 2011.

Santos Jr., E. A. S. **“De que adoecem e morrem os motoristas de ônibus: uma revisão da literatura”**. Ver. Bras. Med Trab., Belo Horizonte, V.1, No.2, p.138-147, 2003.

ZANOL, E. J. **“Avaliação dos níveis de vibração de corpo inteiro sofridos por motoristas de ônibus urbano em diferentes tipos de pistas”**. 2014. 92 f. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica). Escola de Engenharia- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2014.

## ANEXO A



## CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

**2973-2013**

**Solicitante do Serviço:**

Nome: Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
 Endereço: Av. Paulo Gama, 110  
 Bairro: Farroupilha  
 Cidade: Porto Alegre  
 CEP: 90.040-060

UF: RS

---

**Identificação do Item:**

Item: Monitor de Vibração  
 Fabricante: Quest Technologies / 3M  
 Modelo: VI-400 Pro  
 N.º de Série: 12430  
 Identificação: Não Informado

B.P.: 427059

---

**Dados da calibração:**

Data da Calibração: 14-jun-13  
 N.º do Processo: 1003  
 Procedimento de Calibração: PC-11 REV. 3

Item: 1

**Condições Ambientais:**

Temperatura: 20,8 °C  
 Umidade Relativa: 78 %

**Método de Medição:**

Os valores são obtidos através da excitação do Piezo por um Calibrador Padrão.

**Padrões e Instrumentação Utilizados:**

Padrão	Código	Certificado n.º	Emitente	Validade
Calibrador de Acelerometro	P-018	CRB1300277	Brüel & Kjaer - RBC	fevereiro-16

---

Especializada na comercialização e operação de instrumentos de avaliação

Rua Horácio de Castilho, 284  
 02125-030 Vila Maria Alta - São Paulo - SP - Brasil  
 PABX (55 11) 3488-9300  
 www.almont.com.br

mp. 022 Rev. 02 (08-2012) 1/3

Figura A.1 – Certificado de Calibração do Equipamento VI-400 Pro.

## APÊNDICE A

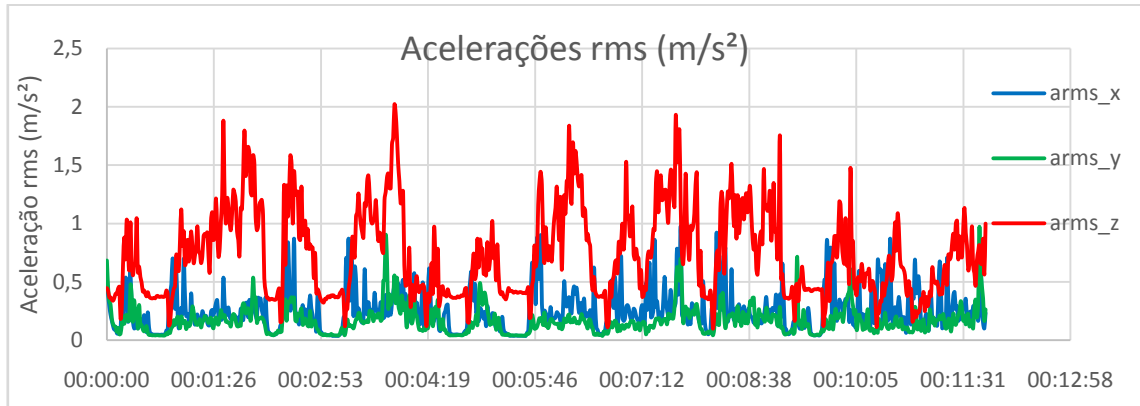


Figura A.2 - Gráfico de Aceleração rms para o trecho de pavimentação rudimentar

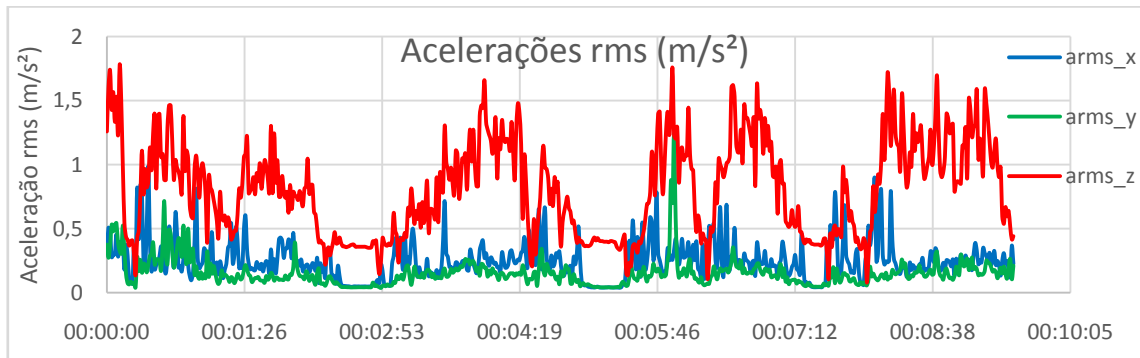


Figura A.3 - Gráfico de Aceleração rms para o trecho de placas moldadas antigas

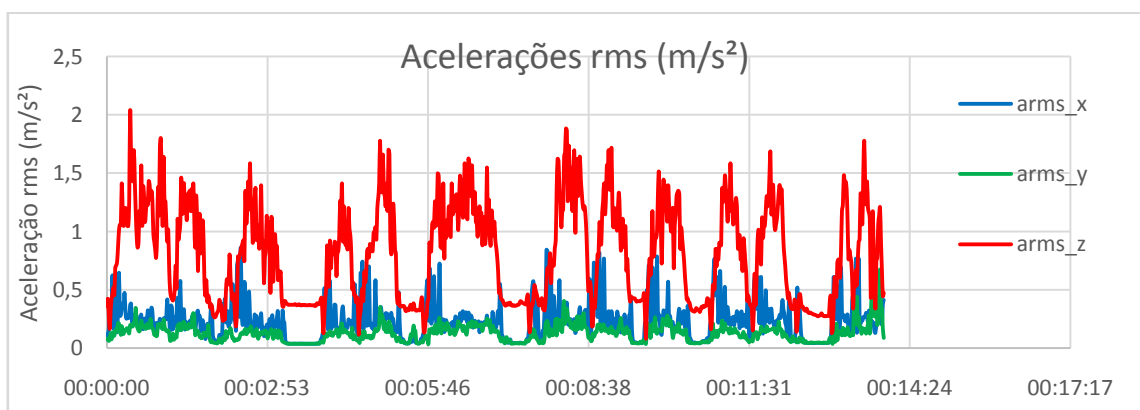


Figura A.4 - Gráfico de Aceleração rms para o trecho de placas moldadas novas



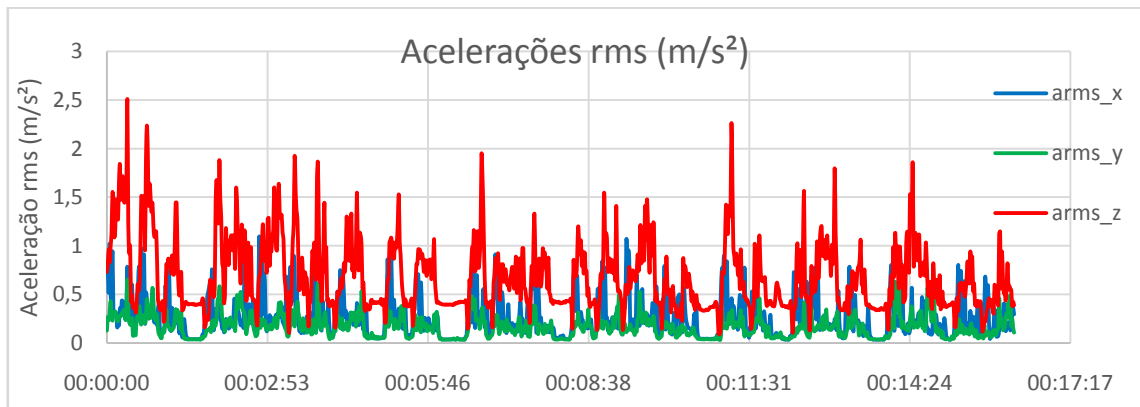


Figura A.5 - Gráfico de Aceleração rms para o trecho de asfalto

## APÊNDICE B

Tabela B.1 - tabela gerada por cálculo em excel para os valores de aceleração medidos no trecho de placas moldadas de concreto novas

TEMPO DE MEDIÇÃO	0,23	horas			
EIXOS	X	Y	Z	SOMA	Unidades
Lpk	2,1627	1,1482	6,3826	-	m/s <sup>2</sup>
P-P	0,0000	0,0000	0,0000	-	m/s <sup>2</sup>
RMS	0,2815	0,1501	0,9073	1,0113	m/s <sup>2</sup>
MTVV	0,0000	0,0000	0,0000	-	m/s <sup>2</sup>
VDV	2,5611	1,2590	7,186	7,2163	m/s <sup>(1.75)</sup>
CRF	7,683	7,649	7,035	-	
K-Factor	1,4	1,4	1,0	-	
Max rms			0,9073		m/s <sup>2</sup>
A(8), Max RMS			0,1723		m/s <sup>2</sup>
Max VDV			7,1858		m/s <sup>(1.75)</sup>
TEMPO DE EXPOSIÇÃO	8,80	horas			
	X	Y	Z	SOMA	
Tempo para Atingir VAE=	14,1670	49,8114	2,6724	2,1512	horas
Tempo para Atingir VLE=	74,9433	263,5024	14,1370	11,3798	horas
A(8) equivalente	0,4133	0,2204	0,9516	1,0606	m/s <sup>2</sup>
TEMPO DE EXPOSIÇÃO	0,23	horas	=TEMPO MEDIÇÃO		
	X	Y	Z	SOMA	
Tempo para Atingir VAE=	55,4601	194,9990	10,4618	8,4214	horas
Tempo para Atingir VLE=	293,3838	1031,5448	55,3429	44,5492	horas

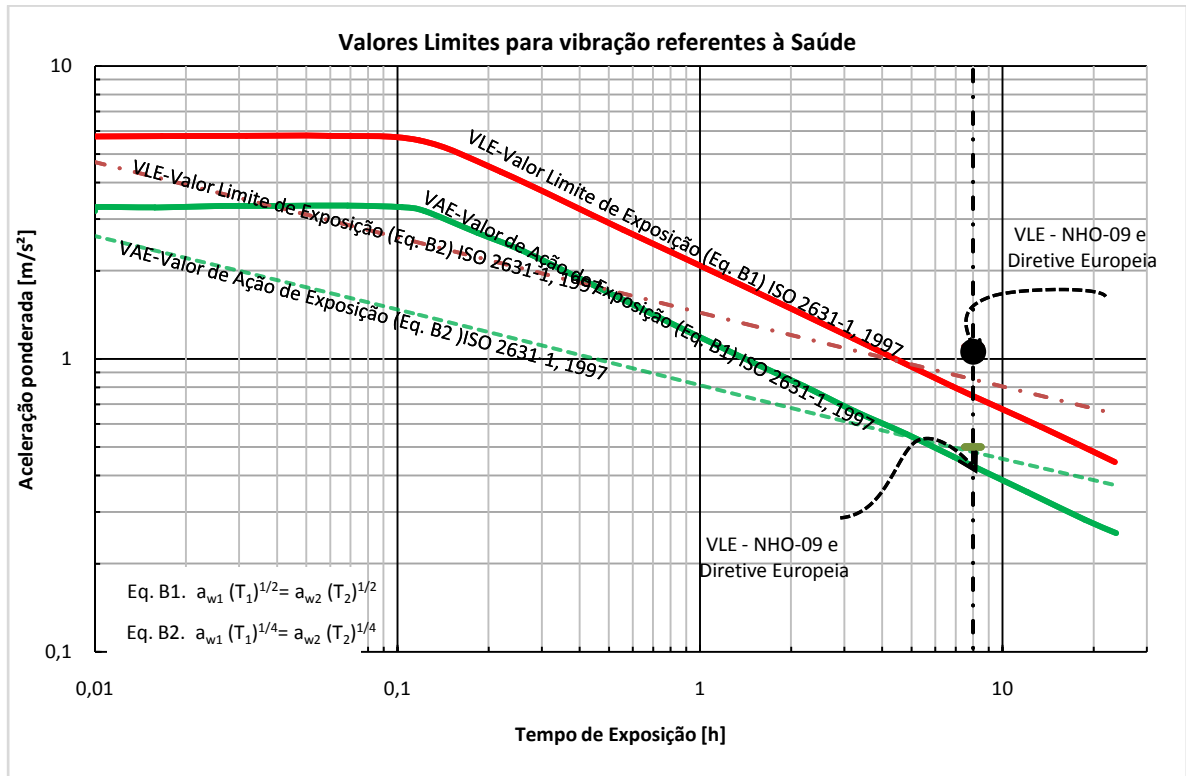


Figura B.1 - Gráfico das zonas de risco à saúde proposto pela ISO 2631-1 de 1997 (aplicado para os dados computados para o trajeto de placas moldadas de concreto novas)