

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO (VCI) EM USUÁRIOS DE
TRENS URBANOS EM PORTO ALEGRE E REGIÃO METROPOLITANA

por

Mário Fedatto Neto

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, junho de 2016.

AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO (VCI) EM USUÁRIOS DE
TRENS URBANOS EM PORTO ALEGRE E REGIÃO METROPOLITANA

por

Mário Fedatto Neto

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. Leticia Fleck Fadel Miguel

Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Prof. Edson Hikaro Aseka

Porto Alegre, junho de 2016.

*“Temos o destino que merecemos.
O nosso destino está de acordo com os nossos méritos”.*

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais, Jaime e Sirlei, por sempre me darem carinho, apoio, estrutura, uma boa educação e a possibilidade de fazer esse curso; à minha irmã, Fernanda, por me apoiar, auxiliar e divertir em todos os momentos. E agradeço, por participarem ativamente da parte prática deste trabalho de conclusão, as viagens de trem não seriam tão boas sem vocês.

Agradeço a Deus por me dar capacidade intelectual e emocional para cursar e, finalmente, chegar à conclusão deste curso.

Também agradeço aos meus tios, primos e amigos, pela ajuda e alegria no decorrer da Engenharia.

Agradeço ao Prof^o Herbert Martins Gomes pela grande ajuda e suporte na orientação no trabalho de conclusão do curso.

Aos professores, por transmitirem o conhecimento deles, aprimorando o crescimento e o aprendizado dos alunos.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por ser de alta qualidade, disponibilizar de bons professores, estrutura para aprendizado e uma lição pra vida inteira.

FEDATTO NETO, M. **Avaliação dos níveis de vibração de corpo inteiro (VCI) em usuários de trens urbanos em Porto Alegre e região metropolitana.** 2016. 15f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

RESUMO

Os trens urbanos e metrô são uma realidade brasileira e nas grandes capitais fazem parte no modal terrestre urbano. Sem dúvida, eles agregam bastante valor às possibilidades de mobilidade em grandes cidades tendo atualmente uma quantidade de usuários muito elevada. Problemas ou modificações em seu funcionamento afetam uma parcela considerável de seus utilizadores, como o que acontece na eventualidade de problemas técnicos ou greves gerais, diminuindo o índice de satisfação deste meio de transporte. Um aspecto que é delegado a segundo plano diz respeito às condições em que é feito o transporte, sendo uma temática recorrente a sua disponibilidade, lotação e segurança. Ultimamente a vibração e o ruído produzido por este meio de transporte inserido em ambiente urbano têm preocupado a qualidade de vida nos entornos e vizinhanças das linhas. Entretanto, o conforto térmico, acústico, ergonômico e vibracional também devem ser levados em conta do ponto de vista do usuário, visto que pode ser um bom argumento para campanhas que visem a troca da escolha do transporte individual pelo coletivo. Neste sentido, são avaliados os níveis de vibração de corpo inteiro nos trens urbanos de Porto Alegre (Trensurb) em algumas situações com vistas a quantificar estes níveis e eventualmente compará-los, seguindo orientações da norma ISO 2631 e a NR-15 quanto à critérios de saúde. É utilizado o analisador de vibrações Quest VI-400PRO. Com os dados obtidos com auxílio do equipamento, são obtidos prognósticos para que os futuros projetos de trens se beneficiem dos valores avaliados e medidos com este trabalho, além da avaliação dos limites de exposição à vibração na utilização deste transporte atualmente. Em geral, os níveis de vibração averiguados para valor de dose de vibração (VDV) se mostraram bastante baixos e aceitáveis diante das faixas estabelecidas como perigosas ou insalubres pelas normas relativas à saúde. Com relação à vibração diária de exposição, A(8), os valores verificados foram bem baixos, tendo as vibrações medidas no encosto, assento e piso em pontos no veículo ficado abaixo do nível de ação, entre 0,5 e 1,1 m/s², e muito longe ao limite de exposição.

PALAVRAS-CHAVE: Vibração de Corpo Inteiro, Vibração Corpo Humano, Trens, VCI, ISO 2631, NR-15, Exposição à Vibração.

FEDATTO NETO, M. **Whole body vibration levels of evaluation in commuter rail users in Porto Alegre and the metropolitan area.** 2016. 15f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ABSTRACT

Urban trains and subways are a Brazilian reality and in the big cities is part of the urban modal transportation. No doubt they add enough value to the possibilities of mobility in large cities now have a very high number of users. Problems or changes in their functioning affect a considerable portion of users and commuters, such as what happens in the event of technical problems or general strikes, reducing the level of satisfaction of this way of transportation. One aspect that is delegated to the background concerns the conditions in which transport is made, and a recurring theme the availability of transport, its capacity and safety. Lately, vibration and noise produced by this means of transport inserted in an urban environment are concerned about the quality of life in neighborhoods and environments of transportation lines. However, thermal comfort, acoustic, ergonomic and vibration should also be taken into account from the user's point of view, since it may be a good argument for campaigns aimed at changing the choice of individual transport to a collective one. In this sense, it is proposed to evaluate the whole body vibration levels in urban trains in Porto Alegre (Trensurb) in some situations in order to quantify these levels and eventually compare them, following the standard ISO 2631 and NR-15 concerning safety levels. The vibration analyzer Quest VI-400PRO is used in the measurements. The vibration data obtained with the help of the equipment allows the vibration prognosis for future rail projects that will benefit from the measured and assessed values with this work, in addition to the verification of exposure limits to vibration in this transport these days. Generally speaking, the investigated vibration levels for vibration dose value (VDV) proved quite low and acceptable when compared to the ranges established as dangerous or unhealthy by the standards concerning health effects. Regarding the daily vibration exposure, A(8), the values obtained were very low, and vibration measurements on the back, seat and floor at points in the vehicle were below the action level between 0.5 and 1.1 m/s^2 , and far from the exposure limit.

KEYWORDS: Whole Body Vibration, Human Body Vibration, Trains, VCI, ISO 2631, NR-15, Exposure to Vibration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Sistema Biomecânico simplificado corpo humano.	3
Figura 2.2 - Curva de ponderação por frequência W_k e W_d para vibração de corpo inteiro.	5
Figura 2.3 - Eixos e orientações de medição para posição sentada e de pé.	7
Figura 3.1 - Medidor VI400-Pro e <i>seatpad</i> utilizados nas medições.	7
Figura 3.2 - <i>Seatpad</i> posicionado corretamente no encosto e no assento, da esquerda para a direita, para procedimento de medição de vibração. Eixos coordenados indicam orientação final dos acelerômetros.	8
Figura 3.3 - Trens, (a) novo e (b) velho, respectivamente, nos quais foram obtidas as medições.	9
Figura 3.4 - Trajeto de mais de 40 km realizado pela Trensurb entre a cidade de Porto Alegre e Novo Hamburgo.	10
Figura A.1- Certificado de Calibração do Equipamento VI-400 Pro.	16
Figura A.2 - Gráfico de acelerações <i>rms</i> enquanto o aparelho foi instalado no assento, medição realizada no trem novo.	17
Figura A.3 - Gráfico de acelerações <i>rms</i> enquanto o aparelho foi instalado no assento, medição realizada no trem antigo.	17
Figura A.4 - Gráfico de acelerações <i>rms</i> enquanto o aparelho foi instalado no encosto, medição realizada no trem novo.	18
Figura A.5 - Gráfico de acelerações <i>rms</i> enquanto o aparelho foi instalado no encosto, medição realizada no trem antigo.	18
Figura A.6 - Gráfico de acelerações <i>rms</i> enquanto o aparelho foi instalado no piso, medição realizada no trem novo.	18
Figura A.7 - Gráfico de acelerações <i>rms</i> enquanto o aparelho foi instalado no piso, medição realizada no trem antigo.	19
Figura A.8 - Interior dos (a) antigos e (b) novos trens. Diferença da orientação das cadeiras, que são apenas laterais nos novos trens.	19
Figura A.9 - Valores limite para avaliação do nível de conforto especificado por outros autores.	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Curvas de ponderação e fatores multiplicativos para as medições feitas.	6
Tabela 4.1 - Acelerações medidas e calculadas para assento no trem novo.	11
Tabela 4.2 - Acelerações medidas e calculadas para assento no trem antigo.	12
Tabela 4.3 - Acelerações medidas e calculadas para encosto no trem antigo.	12
Tabela 4.4 - Acelerações medidas e calculadas para encosto no trem novo.	13
Tabela 4.5 - Acelerações medidas e calculadas para piso no trem novo.	13
Tabela 4.6 - Acelerações medidas e calculadas para piso no trem antigo.	14

ÍNDICE	Pág.
AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	vii
ÍNDICE	viii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 A vibração	2
2.2 Efeitos da vibração no corpo humano	3
2.3 Normas para análise de VCI	4
2.4 Procedimentos de Avaliação de VCI	4
3 MATERIAIS E MÉTODOS	7
3.1 Procedimentos e equipamentos utilizados	7
3.2 Modelos da Trensurb em análise	8
4 RESULTADOS	10
4.1 Avaliação sobre conforto e risco à saúde	10
4.2 Resultados para assento	11
4.3 Resultados para encosto do banco	12
4.4 Resultados para piso	13
5 CONCLUSÕES	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
ANEXO A	16
APÊNDICE A	17

1 INTRODUÇÃO

Algumas atividades do dia-a-dia expõem as pessoas a vibrações. O organismo possui modos de vibração naturais e quando essa vibração coincide com uma vibração recebida externamente, ocorre a ressonância. Essa energia quando absorvida pelo organismo pode provocar alterações nos tecidos e órgãos. A vibração recebida pelo corpo pode ser classificada em dois grandes grupos, a Vibração Mão-Braço (VMB) e a Vibração de Corpo Inteiro (VCI). As duas formas podem representar riscos ao ser humano, dependendo da faixa de intensidade 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.

Griffin, 1990 define que a agitação sofrida pelo corpo humano não deve ser esperada ter uma única, simples, ou facilmente previsível consequência. A vibração pode ser um incômodo, nauseante, estimulante ou insuportável, uma fonte de prazer ou a causa da dor. Um movimento oscilatório pode provocar irritação, desconforto, interferir com as atividades normais do dia a dia, prejudicar a saúde ou causar enjoo e depende de muitos fatores – incluindo as características do movimento, as características da pessoa exposta, as atividades da pessoa exposta e outros aspectos do ambiente (temperatura, umidade, ruído sonoro, etc). Tentar resumir o conhecimento apenas com a recomendação de evitar alguma frequência de vibração, ou através da definição de uma única curva que representa todas as respostas a todas as frequências do organismo humano, não reflete uma moderna compreensão dos efeitos de vibração sobre o corpo.

Estudos revelam que as vibrações de baixa frequência podem causar dores abdominais, náuseas, dores no peito, perda de equilíbrio, respiração curta e contrações musculares. A exposição de corpo inteiro e longa duração pode danificar o sistema nervoso central autônomo, e o resultado pode ser queixas de fadiga, irritação, cefaleia, problemas de coração como aumento da frequência cardíaca e até impotência no aparelho reprodutor masculino. A exposição a vibrações ocupacionais de curta duração também é prejudicial, provocando efeitos fisiológicos, como aumento do batimento cardíaco por causa da resposta do estresse geral ou aumento da intensidade da respiração.

Trens e metrô oferecem um ambiente com movimentos complexos em todas as direções, gerados pelos trilhos, veículo, piso, assento e encosto. Passageiros avaliam o quão confortável é a sua viagem não apenas baseado no movimento oferecido pelo vagão, e sim pela interação de um conjunto de fatores como: barulho, temperatura, umidade, qualidade do ar, odores, aspectos gerais de limpeza e conforto do tipo de assento.

1.1 Motivação

A Trensurb de Porto Alegre anunciou no mês de maio de 2014 a compra de 15 novos trens, e afirma que o usuário terá mais conforto e ampliação da oferta de locomoção. Devido às reclamações sobre os trens anteriores, e elogio dos trens novos, foi escolhido para tema desta monografia avaliar os atuais níveis de vibração destes veículos.

São escassos os estudos acadêmicos sobre a avaliação do nível de vibração para conforto em passageiros de trens e metrô no Brasil e no mundo. Tendo apenas a ISO 2631-4 como algo mais inserido no contexto, mas ainda muito dependente da ISO 2631-1 referente a vibrações em geral.

Este trabalho se insere na tentativa de avaliar e comparar valores de VCI e referente ao conforto, verificando sua posição dentre um leque de autores e normativas como: Fothergrill, 1972; Osborne e Clark, 1974; Jones e Saunders, 1974; Fothergrill e Griffin, 1977; British Standard 6841, 1987; ISO 2631, 1997. Este trabalho também pretende expressar resultados indicados pela recente norma regulamentadora NR-9, 2014, anexo 1, seguindo-se os procedimentos constantes na NHO-09, 2013 e NR-15, 2014.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é avaliar se os limites de exposição à vibração são respeitados para os usuários da Trensurb de Porto Alegre e região metropolitana. Também são comparados os valores colhidos com os critérios de limites de conforto segundo diversos autores e a norma ISO 2631, enquadrando-os em “muito confortável”, “confortável”, “levemente confortável”, “levemente desconfortável”, “desconfortável” e “muito desconfortável”.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A vibração

Quando se aborda a vibração é fundamental estabelecer uma definição da mesma para melhor compreender os parâmetros e as relações que estão envolvidas, 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 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 que está exposto a qualquer vibração transmitida pelo veículo em razão de um evento externo a ele, fruto da interação entre trilhos e roda, e o movimento relativo do motor de propulsão. 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, conhecida como espectro de frequência. Tal espectro representa o conteúdo de frequência dos sinais no tempo, sendo possível pela sua análise identificar quais componentes de frequências, presentes nos sinais, mais contribuem para o movimento oscilatório.

Outro parâmetro de suma importância é o valor *rms* (*root mean square*) de um sinal, também conhecido como valor eficaz, que permite verificar a energia média contida no movimento oscilatório, 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 $a(t)$ da aceleração medida 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, 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. Reforçando 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 avaliação do conforto, percepção e saúde, faixa em que temos interesse neste trabalho.

2.2 Efeitos da vibração no corpo humano

Os movimentos e as tensões mecânicas resultantes da aplicação de forças mecânicas para o corpo humano têm vários possíveis efeitos: (1) o movimento pode interferir diretamente na atividade física; (2) pode haver danos ou destruição mecânica; (3) pode haver efeitos secundários (incluindo fenômenos subjetivos) operando através de receptores biológicos e mecanismos de transferência, os quais produzem mudanças no organismo (Harris e Piersol, 2002). Respostas fisiológicas no sistema cardiovascular, respiratório, esquelético, endócrino e metabólico, e nos músculos e nervos, podem ser induzidas pela vibração. Com a frequência extremamente baixa de vibração, tal como ocorre em navios e veículos de transporte, pode causar cinetose (conhecida como doença do movimento).

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 à mesma e à exposição pré-acumulada (Harris e Piersol, 2002). Além de todos esses aspectos já citados em que se verifica o dano que a vibração pode causar ao tecido humano, há um fator pessoal, situação física e genética, que pode tornar alguns mais, ou menos, suscetíveis a doenças ocasionadas pela exposição à vibração do que outros na mesma situação.

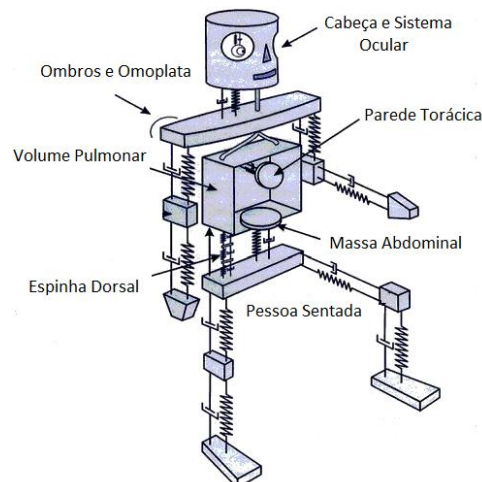


Figura 2.1 - Sistema Biomecânico simplificado corpo humano.
(Fonte: adaptado de Brüel&Kjaer, 1989)

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, numa faixa 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).

Em função da ressonância podem-se detectar problemas condizentes com a faixa de exposição para vibração de corpo inteiro nos trabalhadores de transportes públicos. Pessoas 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 disso, a literatura ainda cita a possibilidade de problemas de cansaço visual e redução acentuada da nitidez da visão.

No caso de trens e metrô urbanos, a principal causa da vibração transmitida aos passageiros e motoristas são oriundas da via, junções dos trilhos, motor, curvas, frenagens e acelerações. Parte das vibrações vindas da via são parcialmente absorvidos e atenuados pelo sistema de suspensão dos vagões, mas impactos e vibrações de baixa frequência dificilmente são atenuados. Parte da vibração é sentida pelos usuários em pé diretamente apoiados no piso do vagão e outra parte nas barras de apoio e assentos. Aspectos importantes relacionados ao posicionamento dos passageiros e motoristas em relação à posição no vagão podem também afetar o nível de vibração sentido, além da direção do assento em relação à direção de movimento principal e acolchoados encontrados ou dispositivos dissipativos e atenuadores de vibração encontrados em assentos especiais (motoristas).

2.3 Normas para análise de VCI

Para analisar e quantificar os efeitos da vibração de corpo inteiro sobre o corpo humano é necessário atentar para as normas que regulam e padronizam medições e análise de vibrações. Há normas internacionais e 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), a Diretiva Europeia (European Directive 2002/44/CE) e normas brasileiras (NR- Normas Regulamentadoras e NHO-Normas de Higiene Ocupacional).

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 trata de orientações para a avaliação dos efeitos da vibração e conforto em sistema de transporte sobre trilhos.

A Diretiva Europeia consultada foi a European Directive 2002/44/CE, 2002, que apresenta 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), a qual apresenta os limites de exposição diária para considerar uma atividade laboral como insalubre dentro do território Brasileiro; e a Norma de Higiene Ocupacional, redigida pela FUNDACENTRO, NHO 09, 2013, mostrando os critérios e procedimentos para a avaliação de VCI sobre trabalhadores. Pela base da normatização, estabelecida expressamente no Anexo 8, os valores relativos a 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

A guia, rodas, suspensão, estrutura do corpo do carro e acessórios interiores, todos contribuem para a experiência vibracional dos passageiros. Onde a contribuição para o conforto do assento é a primeira preocupação, é vital fazer as medições na interface assento/corpo. Esse é o ponto de contato direto entre a estrutura vertical e a pessoa, e tem a função de sustentar e guiar a pessoa e de transmitir o peso do mesmo para o próprio corpo (ISO 2631-4, 2001).

Para medir e interpretar os dados recolhidos há uma metodologia e alguns procedimentos previstos em normas. Para o caso de vibração de corpo inteiro (VCI) as normas analisadas foram a ISO 2631-1, 1997, ISO 2631-4, 2001 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 normas trabalham sempre com a aceleração *rms* para quantificar e comparar valores de aceleração. O problema que decorre 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*, pois, diferentes espectros de frequência podem gerar valores de leitura similares em parâmetros distintos de aceleração, sendo que o efeito das vibrações nestas frequências em cada um dos três eixos de atuação será diferente. Em função desta distorção é preciso corrigir a leitura 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 do corpo humano para diferentes tipos e orientações do movimento.

Essa correção gera um novo valor, a_w , a aceleração ponderada em frequência usando as curvas de pesos propostos pela norma de acordo com o tipo de exposição e para fim de saúde ou conforto. A equação (2.2) é a empregada para o cálculo de aceleração ponderada em m/s^2 , aonde representa a aceleração *rms* e W_i é o fator de ponderação recomendado e advindo da norma (Harris e Piersol, 2000; ISO 2631-1/1997; 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 , são as únicas aplicadas na verificação do nível de exposição relativo à saúde em VCI.

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 , para análise de VCI na superfície de contato do assento. Para conforto, recomenda-se o uso da curva W_b para qualquer eixo. Outra necessidade da medição da aceleração é a estipulação do fator multiplicador, denominado de K, 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 triedro axial em que as excitações são distribuídas. Os valores de ponderação também se distinguem pela modalidade de afetação da vibração, se esta é para análise de conforto ou de saúde.

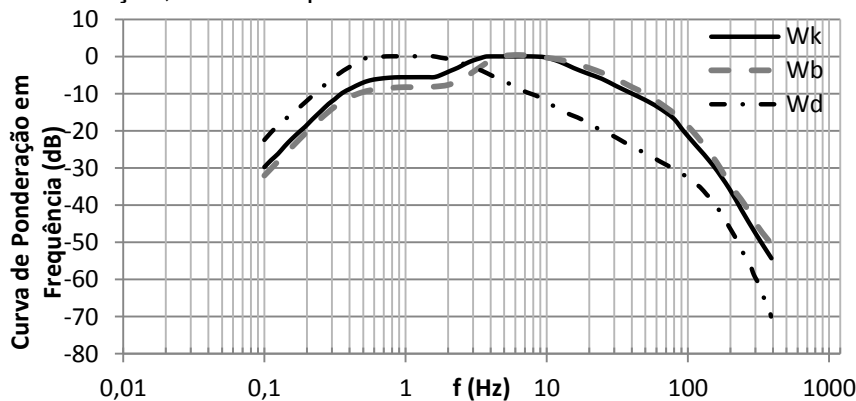


Figura 2.2 - Curva de ponderação por frequência W_k e W_d para vibração de corpo inteiro. (Fonte: NHO 09, 2013, adaptada de ISO 2631-1/1997)

A norma ISO 2631-1 de 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, encosto e piso) com fins de análise de saúde humana e para fins de avaliação do conforto. Para os três eixos vibracionais adequados aos parâmetros de medição, tem-se o indicado na Tabela 2.1. Os mesmos valores são recomendados pela NHO-09 (2014) e pela ISO 2631-4, 2001. Assim, com a determinação dos dois fatores de correção estabelecidos é possível avaliar um valor de aceleração total ponderada, a_v , em m/s^2 pela Equação (2.3):

Tabela 2.1 – Curvas de ponderação e fatores multiplicativos para as medições feitas.

Para o eixo x	Para o eixo y	Para o eixo z
Superfície do assento W_d e K_x de 1,4	Superfície do assento W_d e K_y de 1,4	Superfície do assento W_k e K_z de 1,0
Apoio dos pés W_k e K_x de 1,0	Apoio dos pés W_k e K_y de 1,0	Apoio dos pés W_k e K_z de 1,0
Encosto W_c e K_x de 1,0	Encosto W_d e K_y de 1,0	Encosto W_d e K_z de 1,0

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

Neste ponto há uma diferença entre as recomendações da ISO 2631-1, 1997 e da NR-15, 2014. A ISO diz 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 se deve fazer a soma com os fatores de correção.

Outra avaliação 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 deve-se determinar a aceleração total equivalente, a_{ve} , tomando por base o período de tempo da exposição, simbolizada na equação (2.4) 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 o tempo de exposição diária, conforme determina o anexo 8 da NR-15, 2014, 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 extrema importância é o estabelecimento do valor de dose de vibração resultante, também limitado pela norma. A definição de VDV é mais vantajosa e seu uso é indicado para casos onde os valores da aceleração tem variações bruscas (ou picos) em relação à variação *RMS* usual visto que ressalta a ocorrência de eventuais picos de aceleração, o que não é conseguido com o valor *RMS*. Para a determinação deste parâmetro aplica-se a Equação (2.6), onde VDVR representa o valor de dose de vibração representativa da exposição diária na composição dos eixos x, y e z.

$$VDV = \left[\int_{t_1}^{t_2} [a(t)]^4 dt \right]^{\frac{1}{4}} \quad \text{e} \quad VDVR = \left[\sum_j (VDV_j)^4 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2.6)$$

A preocupação com a depuração dos dados experimentais referentes ao movimento oscilatório não se restringe ao equacionamento da aceleração equivalente, a norma ISO 2631, 1997 também prescreve a correta posição dos eixos de análise para a medição da vibração sobre o corpo. Conforme mostra a Figura 2.3, para a análise vibracional 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. Tais posicionamentos são provenientes de um sistema de coordenadas basicêntrico, adotando a origem como 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 e piso, alterando para encosto devido à sua superfície ser em 90° com o plano do chão. Onde, nesse caso, o eixo x da pessoa se torna o eixo z do aparelho, o eixo y da pessoa se torna o eixo x do aparelho e o eixo z da pessoa se torna o eixo y do aparelho (Figura 2.3).

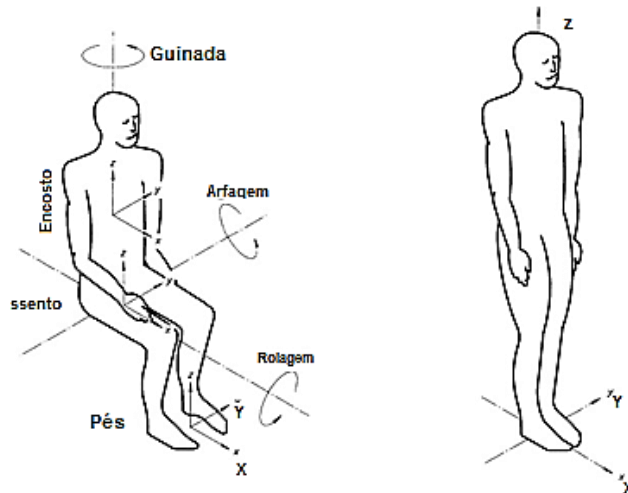


Figura 2.3 - Eixos e orientações de medição para posição sentada e de pé. (Fonte: Adaptado de ISO-2631-1, 1997).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Procedimentos e equipamentos utilizados

Para a determinação dos valores vibracionais efetivamente transmitidos ao corpo 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. 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 utilizados nas medições.

Para gerar os dados de entrada necessários ao analisador utiliza-se um acelerômetro transdutor de três eixos, que faz a conversão da energia mecânica gerada pela aceleração do corpo de testes 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 local de medição 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 pessoa e assento, pés e piso, e encosto e pessoa, aonde há a transferência de vibração do trem, com a orientação da plataforma devidamente correspondente com as exigências da norma ISO 2631-1, 1997, conforme demonstra a ilustração da Figura 3.2; também foi observada a posição do alinhamento entre o núcleo do *seatpad*.

Para proceder à aquisição 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. A Figura 3.2 indica o posicionamento do *seat pad* no banco para encosto e assento.

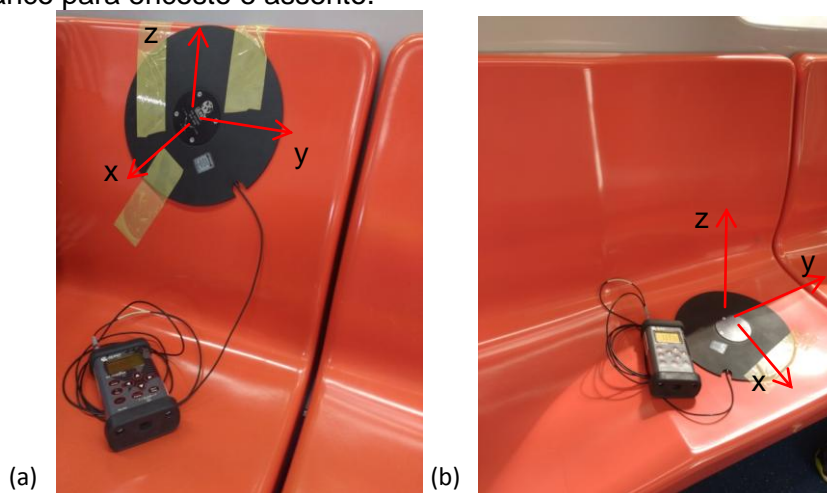


Figura 3.2 - *Seatpad* posicionado corretamente no encosto e no assento, da esquerda para a direita, para procedimento de medição de vibração. Eixos coordenados indicam orientação final dos acelerômetros.

3.2 Modelos da Trensurb em análise

Para determinar o nível de exposição à vibração é importante considerar que existe uma frota de trens, divididos em vagões do modelo novo e os antigos, como pode ser visto na figura 3.3. Por esta razão optou-se por tomar as medições em cada modelo de trem, novo e velho, para encosto, piso e assento. As medições foram feitas durante a operação normal do trem, com transporte de passageiros e nas velocidades condizentes com a realidade diária de condução, desde a primeira estação, Mercado Público em Porto Alegre, até a última estação, Novo Hamburgo, localizada na cidade de Novo Hamburgo.

A Trensurb (Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre S.A.) possui 22 estações, totalizando 43,8 km de extensão. Está constituído de duas linhas bidirecionais eletrificadas V1 e V2, sinalizadas, em bitola de 1,60 m, com faixa de domínio totalmente segregada, com um trecho de 31,7 km em superfície, totalmente bloqueado e sem cruzamento a nível, e outro trecho com 12,1 km em elevado, com parte inferior totalmente urbanizada. Transporta cerca de 230 mil pessoas por dia, totalizando mais de 80 km entre linhas principais, pátios e desvios.

A frota é composta por 25 Trens Unidades Elétricas (TUE's) série 100 - "trens antigos" - da linha 1, cada um com quatro carros, sendo dois carros motores MA e MB, nas pontas e dois carros reboques RA e RB, no meio. A composição básica é constituída de MA-RA-RB-MB, podendo ser operado em unidade simples, como também em até três unidades acopladas (12 carros). O trem é em aço inox, com 4 portas de cada lado, equidistantes, com 1.600 mm de largura e 1.900 mm de altura cada, com passagem do tipo "OPEN WIDE GANGWAY", atendendo as normas NBR 14021 (Transporte – Acessibilidade no sistema de trem urbano ou metropolitano, 2005) e UIC 561 (Means of Intercommunication for Coaches, 1991), com ótima iluminação interna, sistema de ventilação e exaustão, fornecidos por consórcio japonês liderado pela MITSUI & CO. tendo sido fabricados pelas empresas, NIPPON SHARIO SEIZO KAISHA LTDA., HITACHI LTDA. e KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES LTDA. A capacidade de passageiros sentados é de 228 e 853 em pé, totalizando 1.081 passageiros, na taxa de 5,4 pessoas em pé/m². Nas condições atuais, a capacidade máxima de oferta de serviço é de 21.600 passageiros/hora/sentido.



Figura 3.3 - Trens, (a) novo e (b) velho, respectivamente, nos quais foram obtidas as medições.

Já os 15 TUE's série 200 - "trens novos" - foram fornecidos pelo consórcio FrotaPoa, formado por Alstom e CAF. Têm gasto energético cerca de 30% inferior à série 100, sistema de ar condicionado automatizado, sistema de comunicação multimídia, iluminação interna com LED e sistemas de autodiagnóstico e monitoramento de falhas. Sua composição básica é similar e eles também podem operar acoplados. Um diferencial dos trens novos para os antigos está na orientação dos bancos que nos novos está apenas na lateral enquanto que nos antigos eles estão orientados tanto na lateral quanto na direção de tráfego do trem. A Figura A.8 indica esta diferença por fotos dos dois trens.

Iniciada a construção em 1980, ligando o centro da cidade de Porto Alegre às cidades ao norte da área metropolitana (Canoas, Esteio, Sapucaia do Sul, São Leopoldo e Novo Hamburgo), a escolha deste trajeto foi feita para poder desafogar o trânsito da BR-116, única opção antes da construção desta linha, já com sérios problemas de trânsito na época.

Inaugurada em 2 de março de 1985 entre estação do Mercado e Sapucaia, em 9 de dezembro de 1997 foi estendida até a Unisinos e em 20 de novembro de 2000 já possuía uma estação no centro de São Leopoldo. Finalmente em 30 de janeiro de 2014 a cidade de Novo Hamburgo é contemplada com 4 estações na cidade, facilitando o deslocamento de mais de 40 km até a capital.

Distância média entre estações é de aproximadamente 2100 m e a distância mínima é de 1500 m. O tempo nominal de parada nas estações é de 20s, sendo possíveis paradas mais longas ou curtas. Possuem plataformas de embarque e desembarque de 190 metros de

extensão, e são compatíveis com a operação de dois trens acoplados. A alimentação elétrica do trem é através de catenária em 3.300 Vcc, alimentada pelo conjunto de cinco subestações de tração com 3 cabines de seccionamento e paralelismo e 2 cabines de paralelismo.

Nas Figuras A.1 a A.7 são mostrados sinais típicos de aceleração *rms* medidos em cada um dos três eixos para o tempo de medição de um trecho completo de Porto Alegre a Novo Hamburgo onde claramente se veem valores de aceleração muito baixos em todos os eixos nos instantes das paradas numa quantidade igual à apresentada na Figura 3.4.



Figura 3.4 - Trajeto de mais de 40 km realizado pela Trensurb entre a cidade de Porto Alegre e Novo Hamburgo.

4 RESULTADOS

4.1 Avaliação sobre conforto e risco à saúde

A seguir estão listados os valores medidos no assento, encosto e piso do Trensurb durante o seu trânsito operacional de trabalho, em duas situações distintas, a primeira com o veículo do modelo novo, e com o trem de modelo antigo, em seu trajeto da normal, e total, da linha (estação Mercado Público – Porto Alegre, até estação Novo Hamburgo – Novo Hamburgo).

Para cada uma das configurações propostas acima se obteve 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 (2.3), 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 (2.5), aonde 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.

Um resumo rápido dos valores que serão avaliados é mostrado a seguir:

- Saúde (NR-15, 2014):
 - Valor Limite de Ação (Vibration Action Exposure): $VAE = 0,5 \text{ m/s}^2$
 - Limite de Exposição à Vibração (Vibration Limit Exposure): $VLE = 1,1 \text{ m/s}^2$
- Conforto (ISO 2361-1, 1997), medido em m/s^2 :
 - Confortável - $< 0,315$
 - Levemente confortável - $0,63$
 - Pouco desconfortável - $1,0$
 - Desconfortável - $1,6$
 - Muito desconfortável - $2,5$
 - Extremamente desconfortável - $> 2,5$

4.2 Resultados para assento

A primeira leitura de dados refere-se ao assento no qual o passageiro realiza o seu trajeto. A escolha na posição do assento medido foi aleatória. Fazendo a análise dos dados e os cálculos pertinentes, pode-se dizer que os valores indicados, para o assento do trem novo, tem-se um nível seguro de exposição à vibração quanto à saúde. Além do mais, para o valor *rms* total medido tem-se um nível de vibração que pode ser considerado “confortável” (soma *RMS* da Tabela 4.1 comparado aos níveis de conforto da ISO).

Tabela 4.1 - Acelerações medidas e calculadas para assento no trem novo.

TEMPO DE EXPOSIÇÃO	8,00	horas			
	X	Y	Z	SOMA	
Tempo para Atingir VAE=	146,3274	470,9387	125,2487	59,0266	horas
Tempo para Atingir VLE=	708,2247	2279,3432	606,2037	285,6886	horas
A(8) equivalente	0,1169	0,0652	0,1264	0,1841	m/s^2

TEMPO DE EXPOSIÇÃO	0,86	horas	=TEMPO MEDIÇÃO		
	X	Y	Z	SOMA	
Tempo para Atingir VAE=	169,6550	546,0158	145,2159	68,4366	horas
Tempo para Atingir VLE=	821,1301	2642,7167	702,8449	331,2332	horas

Hipóteses

i) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é igual ao TEMPO DE MEDIÇÃO

Para atingir VAE 68,44 horas
 Para atingir VLE 331,23 horas

Não atingiu VAE
 Não atingiu VLE

ii) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é 8h e o TEMPO DE MEDIÇÃO é representativo destas 8h

Para atingir VAE 59,03 horas
 Para atingir VLE 285,69 horas

Não atingiu VAE
 Não atingiu VLE

Conforto

Confortável

Fazendo agora a análise dos dados e realizando os cálculos pertinentes para os valores do trem antigo, observa-se que, nesse caso, se atinge o valor limite de ação em menos de 8h, em um tempo representativo, tornando, assim, a exposição em uma jornada de trabalho de um passageiro suscetível a tomada de ação para minimizar esta exposição. Ainda relacionando a soma *rms* da Tabela 4.2 com os valores de conforto da ISO, para esta condição está levemente confortável para o passageiro. Em comparação com o trem novo este valor é 2,5 vezes maior que no trem novo, que se mostrou neste quesito mais confortável que o antigo.

Tabela 4.2 - Acelerações medidas e calculadas para assento no trem antigo.

TEMPO DE EXPOSIÇÃO	8,00	horas			
	X	Y	Z	SOMA	
Tempo para Atingir VAE=	29,7713	17,1107	28,7921	7,8887	horas
Tempo para Atingir VLE=	144,0933	82,8158	139,3537	38,1812	horas
A(8) equivalente	0,2592	0,3419	0,2636	0,5035	m/s ²

TEMPO DE EXPOSIÇÃO	0,89	horas	=TEMPO MEDIÇÃO		
	X	Y	Z	SOMA	
Tempo para Atingir VAE=	33,3054	19,1419	32,2099	8,8251	horas
Tempo para Atingir VLE=	161,1982	92,6466	155,8960	42,7135	horas

Hipóteses

i) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é igual ao TEMPO DE MEDIÇÃO

Para atingir VAE 8,83 horas

Não atingiu VAE

Para atingir VLE 42,71 horas

Não atingiu VLE

ii) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é 8h e o TEMPO DE MEDIÇÃO é representativo destas 8h

Para atingir VAE 7,89 horas

Atingiu VAE

Para atingir VLE 38,18 horas

Não atingiu VLE

Conforto

Levemente Confortável

4.3 Resultados para encosto do banco

A segunda leitura de dados refere-se ao encosto do banco no qual o passageiro realiza o seu trajeto (Tabela 3.3). Pode-se dizer que, analisando os dados e calculando os valores para o assento do trem antigo, tem-se uma condição de segurança quanto à saúde e, comparando o valor da soma *RMS* da Tabela 4.3 com os valores de conforto da ISO, é classificado como nível confortável de exposição à vibração.

Tabela 4.3 - Acelerações medidas e calculadas para encosto no trem antigo.

TEMPO DE EXPOSIÇÃO	8,00	horas			
	X	Y	Z	SOMA	
Tempo para Atingir VAE=	75,8136	135,5597	46,9704	23,8908	horas
Tempo para Atingir VLE=	366,9377	656,1091	227,3366	115,6316	horas
A(8) equivalente	0,1624	0,1215	0,2063	0,2893	m/s ²

TEMPO DE EXPOSIÇÃO	0,88	horas	=TEMPO MEDIÇÃO		
	X	Y	Z	SOMA	
Tempo para Atingir VAE=	85,9077	153,6088	53,2242	27,0717	horas
Tempo para Atingir VLE=	415,7934	743,4664	257,6052	131,0273	horas

Hipóteses

i) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é igual ao TEMPO DE MEDIÇÃO

Para atingir VAE 27,07 horas

Não atingiu VAE

Para atingir VLE 131,03 horas

Não atingiu VLE

ii) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é 8h e o TEMPO DE MEDIÇÃO é representativo destas 8h

Para atingir VAE 23,89 horas

Não atingiu VAE

Para atingir VLE 115,63 horas

Não atingiu VLE

Conforto

Confortável

Tabela 4.4 - Acelerações medidas e calculadas para encosto no trem novo.

TEMPO DE EXPOSIÇÃO	8,00	horas			
	X	Y	Z	SOMA	
Tempo para Atingir VAE=	108,6674	48,6725	120,1757	26,2681	horas
Tempo para Atingir VLE=	525,9502	235,5751	581,6503	127,1375	horas
A(8) equivalente	0,1357	0,2027	0,1290	0,2759	m/s ²

TEMPO DE EXPOSIÇÃO	0,91	horas	=TEMPO MEDIÇÃO		
	X	Y	Z	SOMA	
Tempo para Atingir VAE=	119,4877	53,5190	132,1419	28,8837	horas
Tempo para Atingir VLE=	578,3203	259,0319	639,5666	139,7969	horas

Hipóteses

i) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é igual ao TEMPO DE MEDIÇÃO

Para atingir VAE 28,88 horas
 Para atingir VLE 139,80 horas

Não atingiu VAE
 Não atingiu VLE

ii) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é 8h e o TEMPO DE MEDIÇÃO é representativo destas 8h

Para atingir VAE 26,27 horas
 Para atingir VLE 127,14 horas

Não atingiu VAE
 Não atingiu VLE

Conforto

Confortável

Agora, para os valores do trem novo (Tabela 4.4), os valores indicados acima mostram que, para o encosto do trem novo, também se tem um nível confortável de exposição além de uma condição segura frente à vibração. Diferentemente para o assento, no caso do encosto ambos os trens (novo e antigo) apresentam níveis de aceleração similares, não havendo melhorias neste quesito para o trem novo.

4.4 Resultados para piso

A terceira e última leitura de dados refere-se ao piso que o usuário está em contato durante seu trajeto (Tabela 4.5 e Tabela 4.6).

Tabela 4.5 - Acelerações medidas e calculadas para piso no trem novo.

TEMPO DE EXPOSIÇÃO	8,00	horas			
	X	Y	Z	SOMA	
Tempo para Atingir VAE=	203,2198	468,0851	210,4561	84,6831	horas
Tempo para Atingir VLE=	983,5839	2265,5318	1018,6075	409,8663	horas
A(8) equivalente	0,0992	0,0654	0,0975	0,1537	m/s ²

TEMPO DE EXPOSIÇÃO	0,86	horas	=TEMPO MEDIÇÃO		
	X	Y	Z	SOMA	
Tempo para Atingir VAE=	235,3140	542,0091	243,6931	98,0570	horas
Tempo para Atingir VLE=	1138,9199	2623,3240	1179,4748	474,5959	horas

Hipóteses

i) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é igual ao TEMPO DE MEDIÇÃO

Para atingir VAE 98,06 horas
 Para atingir VLE 474,60 horas

Não atingiu VAE
 Não atingiu VLE

ii) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é 8h e o TEMPO DE MEDIÇÃO é representativo destas 8h

Para atingir VAE 84,68 horas
 Para atingir VLE 409,87 horas

Não atingiu VAE
 Não atingiu VLE

Conforto

Confortável

Isto significa que em termos de saúde não haverá problemas para o usuário caso o mesmo realize apenas uma viagem ou mesmo passe 8h dentro dos vagões.

Tabela 4.6 - Acelerações medidas e calculadas para piso no trem antigo.

TEMPO DE EXPOSIÇÃO	8,00	horas			
	X	Y	Z	SOMA	
Tempo para Atingir VAE=	207,9281	393,9730	146,4287	70,5375	horas
Tempo para Atingir VLE=	1006,3719	1906,8293	708,7150	341,4014	horas
A(8) equivalente	0,0981	0,0712	0,1169	0,1684	m/s ²

TEMPO DE EXPOSIÇÃO	0,89	horas	=TEMPO MEDIÇÃO		
	X	Y	Z	SOMA	
Tempo para Atingir VAE=	234,8733	445,0276	165,4043	79,6783	horas
Tempo para Atingir VLE=	1136,7866	2153,9334	800,5566	385,6432	horas

Hipóteses

i) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é igual ao TEMPO DE MEDIÇÃO

Para atingir VAE 79,68 horas
 Para atingir VLE 385,64 horas

Não atingiu VAE
 Não atingiu VLE

ii) Se o TEMPO DE EXPOSIÇÃO é 8h e o TEMPO DE MEDIÇÃO é representativo destas 8h

Para atingir VAE 70,54 horas
 Para atingir VLE 341,40 horas

Não atingiu VAE
 Não atingiu VLE

Conforto

Confortável

Finalmente, fazendo a análise dos dados e realizando os cálculos para os valores do trem antigo, pode-se dizer que em termos de saúde não haverá problemas para o usuário caso o mesmo realize apenas uma viagem ou mesmo passe 8h dentro dos vagões. Assim como no assento, no caso da vibração no piso quanto ao conforto, ambos os trens (novo e antigo) apresentam níveis de aceleração similares, sendo o caso do trem novo levemente melhor que o do trem antigo, considerados ambos como um nível confortável de exposição.

Alguns outros autores da literatura também definem seus limites de valores de aceleração que julgam adequados para conforto, e realizando um comparativo com esses limites chega-se também à conclusão que para as medidas feitas todas passam classificadas como “confortáveis”, valores que podem ser vistos na Figura A.9.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os dados obtidos nas medições de vibração de corpo inteiro para fins de avaliação de conforto, o Trensurb está com níveis muito bons, mesmo nas medições realizadas no trem antigo. Tendo apenas uma avaliação de levemente confortável para este tipo de veículo do modelo antigo, porém dificilmente será atingido o tempo de quase 8h dentro do vagão, o qual atingiria o valor limite de ação nesse tempo.

Os valores de vibração averiguados para valor de dose de vibração (VDV) se mostraram bastante baixos e aceitáveis diante das faixas estabelecidas como perigosas ou insalubres pelas normas relativas à saúde. Com relação à vibração diária de exposição ($A_{(8)}$) os valores verificados foram bem baixos, tendo todos ficado abaixo do nível de ação, entre 0,5 e 1,1 m/s², e muito longe ao limite de exposição.

Infelizmente não há uma fonte maior de pesquisa específica sobre nível de conforto e saúde para passageiros em veículos sobre trilhos, o que deveria ser algo mais pesquisado já

que é um transporte mundialmente difundido, não só para fins acadêmicos, mas também para a melhoria da qualidade do transporte para os usuários diários deste modal.

Contudo, o trabalho realizado pode aferir que atualmente os passageiros da Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre S.A. estão confortáveis em suas viagens no quesito vibração, não correndo nenhum risco para sua saúde, podendo desfrutar de um transporte de qualidade, rápido e barato.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

Harris, C. M., Piersol, A. G. “**Shock and vibration Handbook**”. 5th Ed. McGraw-Hill, 1456p. 2002. ISBN: 0-07-137081-1.

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.

ISO 2631-4:2001. “**Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 4: Guidelines for the evaluation of the effects of vibration and rotational motion on passenger and crew comfort in fixed-guideway transport systems**”. International Organization for Standardization, 2007.

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/biblioteca/normas-de-higiene-ocupacional/publicacao/detalhe/2013/4/nho-09-procedimento-tecnico-avaliacao-da-exposicao-ocupacional-a-vibracao-de-corpo-inteiro>. Acessado 30/04/2016.

NR-09. “**Norma Regulamentadora No.09. Programa de prevenções de riscos ambientais - Anexo N°1 Vibrações**”. 2014. <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr9.htm>. Acessado 26/04/2016.

NR-15. “**Norma Regulamentadora No.15. Atividades e operações insalubres - Anexo N°8 Vibrações**”. 2014. <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr15.htm> . Acessado 24/04/2016.

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

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

ANEXO A

almont
BRASIL

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° de Série: 12430
Identificação: Não informado B.P.: 427059

Dados da calibração:

Data da Calibração: 14-jun-13
N° do Processo: 1003 Item: 1
Procedimento de Calibração: PC-11 REV. 3

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°	Emitente	Validade
Calibrador de Acelerometro	P-018	CRB1300277	Brüel & Kjær - RBC	fevereiro-16

Especialista 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

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

APÊNDICE A

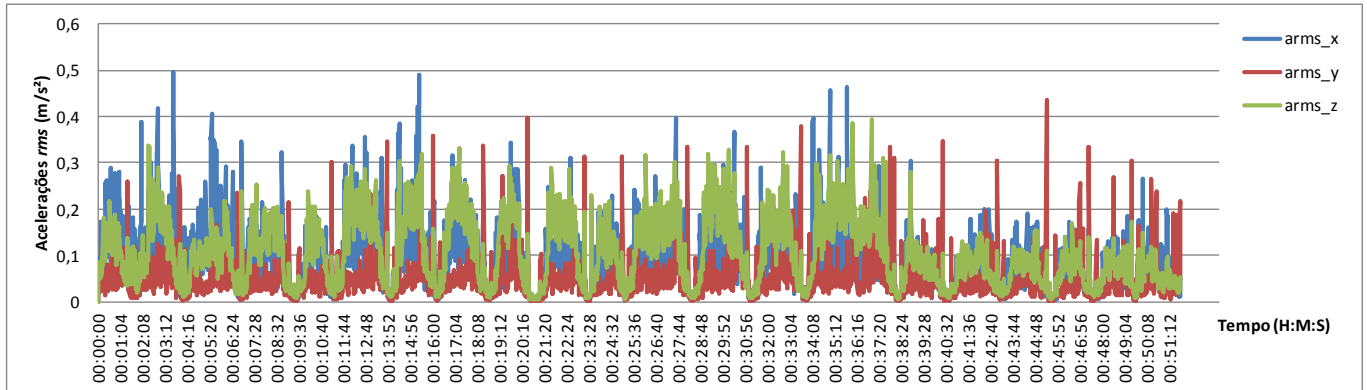


Figura A.2 - Gráfico de acelerações *rms* enquanto o aparelho foi instalado no assento, medição realizada no trem novo.

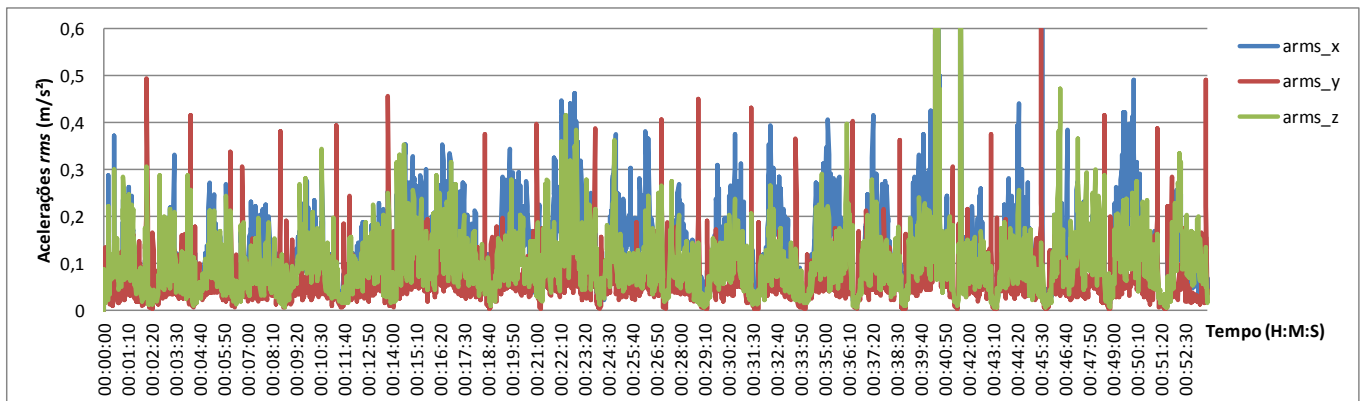


Figura A.3 - Gráfico de acelerações *rms* enquanto o aparelho foi instalado no assento, medição realizada no trem antigo.

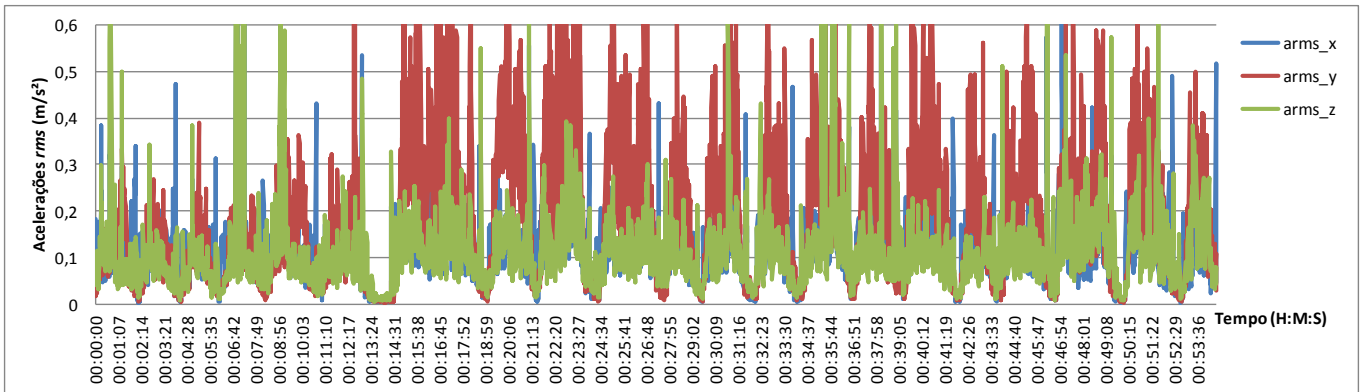


Figura A.4 - Gráfico de acelerações *rms* enquanto o aparelho foi instalado no encosto, medição realizada no trem novo.

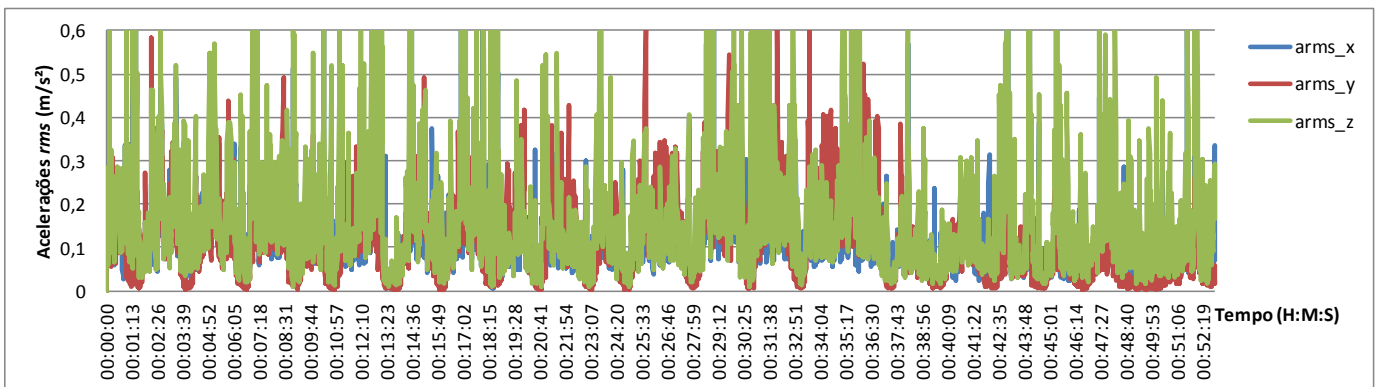


Figura A.5 - Gráfico de acelerações *rms* enquanto o aparelho foi instalado no encosto, medição realizada no trem antigo.

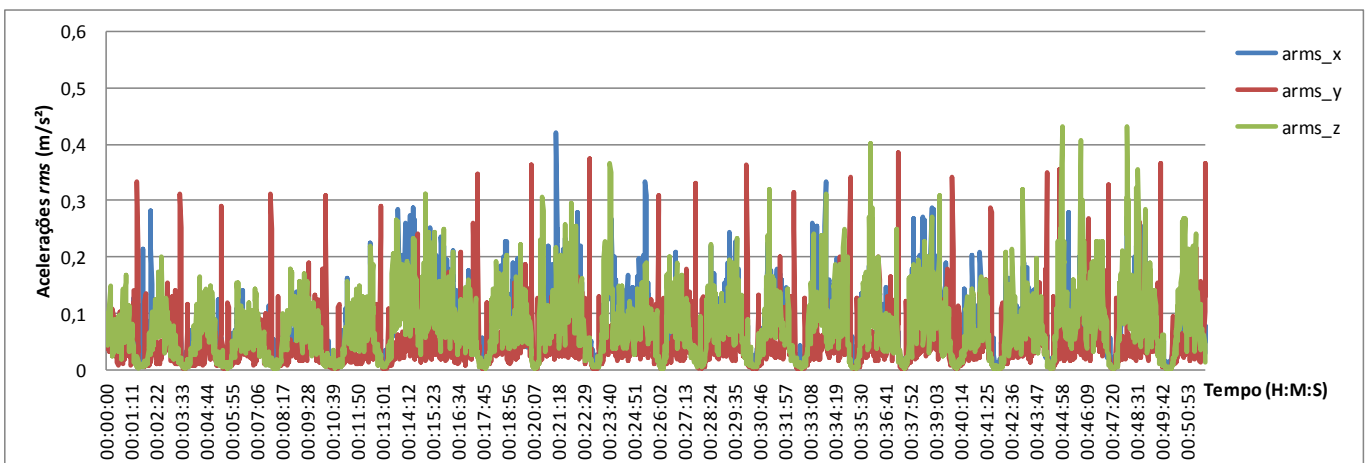


Figura A.6 - Gráfico de acelerações *rms* enquanto o aparelho foi instalado no piso, medição realizada no trem novo.

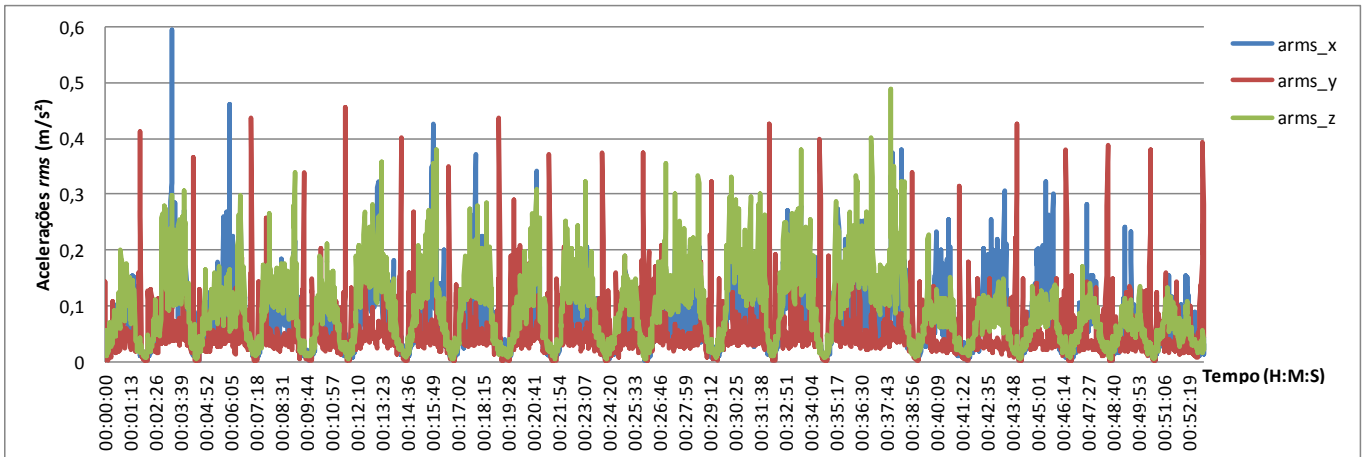


Figura A.7 - Gráfico de acelerações rms enquanto o aparelho foi instalado no piso, medição realizada no trem antigo.

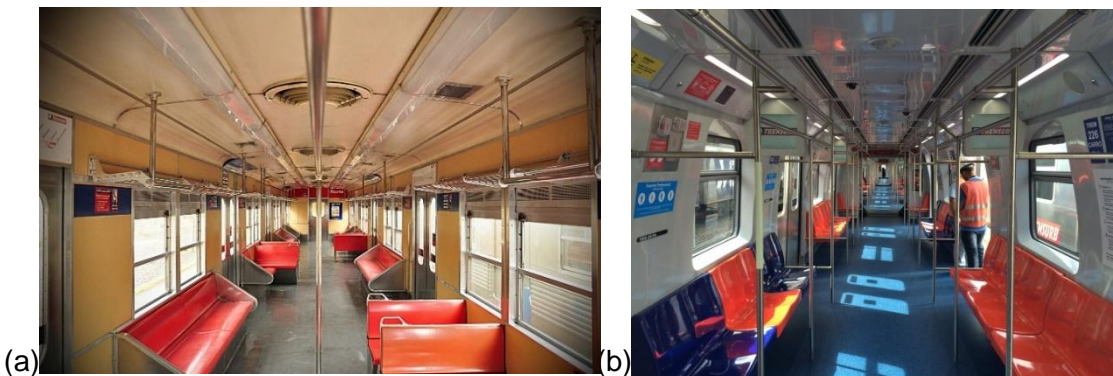


Figura A.8 - Interior dos (a) antigos e (b) novos trens. Diferença da orientação das cadeiras, que são apenas laterais nos novos trens.

Fothergill, 1972	
Muito desagradável	2,5 m/s ²
Desagradável	1,7 m/s ²
Med. desagradável	1,1 m/s ²
Não desagradável	0,7 m/s ²
Perceptível	0,3 m/s ²

Fothergill e Griffin , 1977	
Muito desconfortável	2,7 m/s ²
Desconfortável	1,8 m/s ²
Med. desconfortável	1,1 m/s ²
Perceptível, mas não desconfortável	0,4 m/s ²

Oborne e Clarke,1974	
Muito Desconfortável >	2,3 m/s ²
Desconfortável	2,3 m/s ²
Levemente desconfortável	1,2 m/s ²
Levemente confortável	0,5 m/s ²
Confortável	0,23 m/s ²
Muito confortável <	0,23 m/s ²

Jones e Saunders, 1974	
Muito desagradável	3,7 m/s ²
Muito desconfortável	2,2 m/s ²
Desconfortável	1,2 m/s ²
Med. desconfortável	0,7 m/s ²
Não desconfortável	0,33 m/s ²

Figura A.9 - Valores limite para avaliação do nível de conforto especificado por outros autores.