

Avaliação dos níveis de vibração em usuários de veículo leve sobre trilhos em Porto Alegre

Andre Bonato Germani¹
Juan Pablo Raggio Quintas²
Herbert Martins Gomes³

Resumo

Veículos e outros meios de transporte podem gerar vibrações que, dependendo da intensidade e tempo de exposição, ocasionam desconforto ou doenças ocupacionais. O aeromóvel é uma nova alternativa de transporte que surge para trajetos curtos apresentando custos menores por passageiro transportado (APM – *Automated People Mover*). Uma avaliação dos níveis de vibração é feita com base em normas nacionais e internacionais referentes aos riscos à saúde assim como limites indicativos para conforto. Medições no veículo em condições normais de uso são feitas em diferentes posições no seu interior com o objetivo de quantificar esse comportamento. Resultados referentes aos níveis de vibração e o risco à saúde são apresentados, assim como gráficos de transmissibilidade assento-piso do modelo A100 para três posições distintas. Em geral, a transmissibilidade dos assentos é bastante prejudicada em função de serem em fibra de vidro sem acolchoados. Uma Análise de Variância (ANOVA) para o conforto, relacionado à posição do passageiro, indica que há posições mais confortáveis entre os truques e perto do centro de gravidade, do que outras posições no interior do veículo (em cima dos rodados).

Palavras-chave: ISO 2631. NR-15. Exposição à vibração.

Abstract

Vehicles and other means of transport can generate vibrations that, depending on the intensity and time of exposure, cause discomfort or occupational diseases. The aeromovel is a new alternative of transport that appears for short journeys presenting lower costs per passenger carried (APM - Automated People Mover). An evaluation of vibration levels is made based on national and international standards regarding health risks, as well as indicative limits for comfort. Measurements in the vehicle under regular conditions of use are performed at different positions inside the vehicle, in order to quantify this behaviour. Results regarding vibration levels and health risk are presented, as well as floor-seat transmissibility graphs of the A100 model for three different positions. In general, the transmissibility of the seats is greatly deteriorated since they are made with fiberglass without padding. An Analysis of Variance (ANOVA) for comfort, related to the position of the passenger, indicates that there are more comfortable positions between the trucks and near the center of gravity, than others positions inside the vehicle.

Keywords: ISO 2631. NR-15. Vibration exposure.

1 Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: abgermani@gmail.com

2 Doutor em Engenharia Mecânica pela UFRGS. Professor do Departamento em Engenharia Mecânica (DEMEC) na UFRGS. E-mail: pablo@mecanica.ufrgs.br

3 Doutor em Engenharia Civil pela UFRGS. Professor Associado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PROMECC) na UFRGS. E-mail: herbert@mecanica.ufrgs.br

Artigo recebido em 10.04.2018 e aceito em 12.07.2018.

1 Introdução

Trens urbanos são cada vez mais utilizados em grandes cidades e conglomerados. As principais vantagens de se utilizar esse meio de transportes, ligando o centro urbano à região metropolitana, é a rapidez no deslocamento, a capacidade de levar maior quantidade de pessoas, ocupando menos espaço físico, baixo índice de poluição e a segurança presente nesses equipamentos. O sistema aeromóvel em questão coloca-se como um trem em uma via elevada com propulsão pneumática instalada fora do carro. Em termos gerais, é um sistema que possui diversas vantagens em relação a sistemas tradicionais, por exemplo, elétrico ou a diesel, dentre os quais ressaltam-se: o fato da via elevada ser esbelta e de baixo custo de implantação, operação e manutenção, baixo consumo energético (32W/passageiro) (FAGUNDES, 2014), fácil inserção e integração da via na malha urbana. Além disso, as estações são compactas, o veículo é leve com utilização de roda de trilhos, há baixa relação entre peso próprio do veículo e o peso dos passageiros transportados, propulsão pneumática com motores e propulsores estacionários externos ao veículo, via segregada com operação 100% automatizada e conformidade com normas técnicas internacionais.

A caracterização do transporte ferroviário é feita através de diversos critérios, dentre eles o número de carros, modalidade, capacidade da linha em passageiros, no mesmo sentido por hora, distância média entre estações e intervalo por veículo nas horas de pico, segundo a Confederação Nacional do Transporte (2016). O aeromóvel, tema abordado no presente trabalho, é classificado segundo a Confederação Nacional do Transporte (2016) como APM (*Automated People Mover*) designado para sistemas de transporte automático de passageiros comumente implantados em circuitos fechados de pequena extensão, tais como terminais de aeroportos e parques temáticos. São veículos, geralmente de baixa capacidade (5000 a 15000 passageiros, no mesmo sentido por hora) e sem condutor, operam com elevada frequência (60 a 180 segundos, ou seja, 1 a 3 minutos), em oferta contínua ou quase contínua e com segregação total.

O aeromóvel, sob a responsabilidade da Trensurb, teve o início da sua operação assistida em 2013 e, da operação comercial, em 2014. Ele possui duas estações e dois veículos com capacidades para 150 e 300 passageiros. A única linha em operação interliga à estação aeroporto, do trem metropolitano, ao terminal 1, do Aeroporto Internacional Salgado Filho, com uma extensão de

aproximadamente 1,0 km. Distingue-se dos seus congêneres pelo tipo de propulsão utilizada. Os veículos, sem condutor e não motorizados, são impelidos por propulsão pneumática ou aerodinâmica. O aeromóvel é apoiado em rodas de aço sobre trilhos, fixados em uma plataforma elevada. Um duto, no interior da plataforma, é percorrido por ar soprado por ventiladores industriais de grande capacidade de vazão volumétrica (70000 m³/h, fabricante Somax). Sob o veículo, estão fixadas aletas, contidas no duto, que são pressionadas pelo ar e impulsionam o veículo. Por não ter motor embarcado, tem menos peso próprio e, por conseguinte, um acréscimo de eficiência energética por passageiro transportado. O sistema de transporte de passageiros sobre trilhos de Porto Alegre (trem metropolitano e aeromóvel) conta com 43,9 km de extensão, sendo 42,9 km para o trem metropolitano e 1,0 km para o aeromóvel. O sistema como um todo é composto por duas linhas e vinte e três (23) estações, um terminal para o trem metropolitano, um terminal para o aeromóvel e uma estação integrando os dois sistemas (Estação Aeroporto). A linha do aeromóvel, por ser elevada, também é segregada. Existe a previsão de construção de duas novas linhas, também integradas ao trem metropolitano, no município de Canoas (RS).

Um dos poucos trabalhos encontrados na literatura nacional que trata da avaliação da vibração em veículos guiados sobre trilhos é o trabalho de Fedatto Neto e Gomes (2017), o qual avaliou a vibração nos vagões do trem de superfície (TRENSURB) em Porto Alegre, quanto à vibração de corpo inteiro em um trajeto de ida e volta de Porto Alegre até Novo Hamburgo.

Dessa forma, neste artigo, medições de vibração vertical, lateral e longitudinal, em algumas posições no interior do veículo aeromóvel, são investigadas. As magnitudes medidas são comparadas com valores indicativos de normas e referências, com o intuito de avaliar o conforto e a transmissibilidade do assento dos passageiros.

2 Desenvolvimento

2.1 Modelo do aeromóvel utilizado

No meio urbano, existe uma diversidade de modalidades e classificações para os sistemas de transporte de passageiros sobre trilhos, conforme a CNT. Ainda, conforme a CNT, pode-se classificar pela capacidade de transporte, pelos níveis de direito de tráfego (segregação em relação ao tráfego de pedestres e veículos), pela inserção no

território (zonas centrais ou suburbanas), pelo traçado (subterrâneo, em superfície ou elevado), pelo espaçamento entre estações, velocidade comercial, capacidade dos carros, capacidade da linha e tecnologia de tração. Segundo o órgão, encontramos as modalidades de trens, sendo o trem

metropolitano, o metrô, o monotrilho, o veículo leve sobre trilhos (VLT) e o *Automated People Mover* (APM), que é o aeromóvel, equipamento avaliado para esta pesquisa. Na tabela 1, os diferentes tipos classificados pela CNT com as respectivas características são mostrados.

Tabela 1 – Classificação pela CNT (2016) por modalidade de transporte

Modalidade	Número de carros por composição	Capacidade da composição (passageiros)	Capacidade da linha (passageiros por sentido por hora)	Distância média entre estações (m)	Intervalo entre veículos na hora de pico (<i>headway</i>) (s)
Trem metropolitano	8 a 12	2000	40000 a 80000	1500 a 2500	120 a 300
Metrô	4 a 10	720 a 2500	40000 a 80000	700 a 1200	90 a 180
Monotrilho	-	-	20000 a 48000	500 a 1000	180 a 480
Veículo Leve sobre Trilhos (VLT)	1 a 4	100 a 720	7000 a 24000	500 a 800	600 a 840
<i>Automated People Mover</i> (APM)	1	-	5000 a 15000	-	60 a 180

Fonte: Confederação Nacional do Transporte (2016).

2.2 Equipamentos utilizados

Há uma série de parâmetros importantes na avaliação dos sinais de vibrações, tais como valor de pico, valor pico a pico, fatores de forma de crista e valor *rms* (KADERLI; GOMES, 2015). De acordo com Griffin (1990) e Harris e Piersol (2002), o valor de maior importância é o valor *rms* (*root mean square*), o qual possibilita avaliar a média de energia contida no movimento oscilatório, mostrando assim os danos provocados pelo efeito da vibração. Os valores vibracionais transmitidos ao corpo humano foram obtidos, através de acelerômetros fixados em um *seat pad* (QUEST TECHNOLOGIES, 2005), como indicado na figura 1, o qual trata de um disco semirrígido de material flexível que não altera as propriedades dinâmicas dos elementos a serem medidos. O aparelho Quest VI-400Pro (QUEST TECHNOLOGIES, 2005), número de série 12430 foi utilizado para as leituras e armazenamentos dos dados obtidos no veículo e, posteriormente analisados em uma planilha no Microsoft Excel 2007.

Contou-se também com o software QuestSuite Professional II, para que os dados fossem processados e as corretas curvas de ponderação aplicadas, bem como a definição dos eixos coordenados, e outros parâmetros necessários.

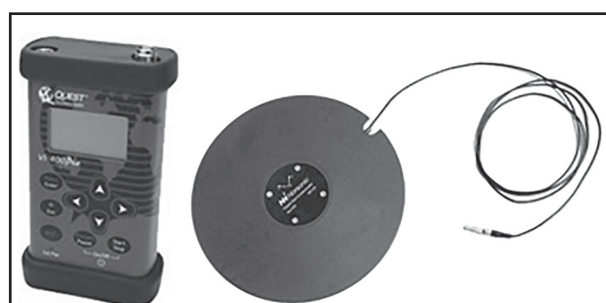


Figura 1 - Medidor VI400-Pro e *seat pad* utilizados nas medições
Fonte: Os autores (2018).

2.3 Procedimento de instrumentação adotado

O *seat pad*, transdutor utilizado, foi posicionado na interface entre o usuário e o assento, pés e piso do trem, onde se localiza a transferência de vibração do veículo até o ocupante, seguindo a correspondente orientação estabelecida e indicada pela norma ISO 2631-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007a) e ISO 2631-4 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007b). Através do software utilizado, QuestSuite Professional II (QUEST TECHNOLOGIES, 2005), a configuração do analisador correspondente foi realizada, de acordo com as curvas de ponderação

adequadas para o tipo de situação desejada da análise realizada e com os fatores de multiplicação definidos para a mesma.

Após as medições em um computador, descarregaram-se os dados. Para análise de transmissibilidade, foi usado outro *seat pad* construído e apresentado por FAGUNDES E GOMES (2017), através do qual se obtiveram as curvas de transmissibilidade em cada um dos eixos coordenados entre o piso e o assento, bem como a posterior avaliação dos índices de conforto. Na figura 2, há a demonstração do posicionamento do *seat pad* com os correspondentes eixos e suas respectivas orientações. Conforme Fagundes e Gomes (2017), para se realizar quantitativamente e de modo mais confiável as medições que atestem a eficácia de um assento, calcula-se o índice SEAT, o qual permite obter a razão entre a aceleração de saída (assento), em relação à aceleração de entrada (piso), em uma determinada

direção, na faixa de frequência ensaiada. A avaliação pode ser feita, avaliando-se as respectivas integrais das densidades espectrais (PSD) no assento, divididas pelo respectivo valor medido no piso.

2.4 Trajeto e pontos medidos

O trajeto do aeromóvel se dá através de uma linha que liga o terminal de embarque do aeroporto (terminal 1) à Estação Aeroporto do trem metropolitano de Porto Alegre. Na figura 3, encontra-se a indicação do mesmo. Os pontos medidos foram escolhidos de forma a abranger o universo do passageiro no aeromóvel. Escolheram-se pontos em cada uma das partes do trem (frente, centro e traseira), bem como em lados opostos de modo a obter maior compreensão da vibração transmitida ao veículo. Os pontos citados podem ser vistos na figura 4.



Figura 2 - Locais de medição e posicionamento dos sensores
Fonte: Os autores (2018)

O trajeto (figura 3) possui pouco mais de 800 metros de comprimento e é cumprido em um período em torno de três minutos, dependendo das condições do controle do veículo de uma estação a outra, pois o mesmo pode sofrer interrupções do sinal transmitido

via ondas de rádio e automaticamente acionar os freios de emergência, até que a comunicação seja reestabelecida para iniciar o percurso novamente. Foram realizadas medições, considerando ida e volta do carro. As figuras 4 e 5 indicam o interior do aeromóvel.



Figura 3 - Trajeto medido no trabalho
Fonte: Os autores (2018).

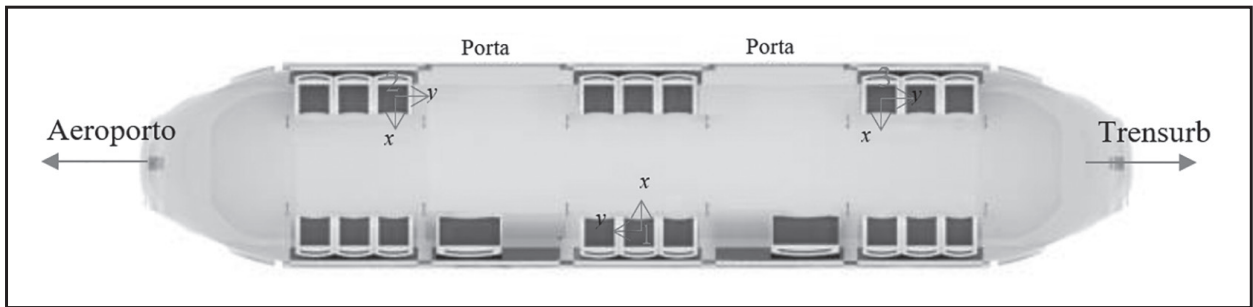


Figura 4 - Vista superior dos assentos no modelo A100 e posições de medição
Fonte: Os autores (2018).



Figura 5 - Interior do aeromóvel
Fonte: Os autores (2018).

3 Resultados

3.1 Avaliação da exposição à vibração com um *seat pad*

Foram realizadas medições em três (3) pontos distintos dentro do veículo para trajetos de

ida e volta com o equipamento comercial Quest Vi 400-Pro. Como esse equipamento só permite a medição em apenas um (1) ponto (3 eixos), a análise fica restrita à análise de valores *rms* medidos. Apesar do aparelho permitir avaliar o conteúdo de frequências das vibrações, dados em escala

de terços de oitavas, foge ao escopo deste trabalho avaliar tais frequências com esse aparelho, uma vez que as mesmas serão tratadas com o sistema composto por dois *seat pads*. Na figura 6 e figura 7, encontram-se leituras típicas gravadas para a posição um (1) do assento, percorrendo o sentido estação do Trensurb para a Estação do Aeroporto e o percurso inverso (ida e vinda). As medições nas outras posições são indicadas nas figuras 8, 9, 10, 11. Na figura 12, são apresentados os valores limites para vibração referentes à saúde, segundo recomendações da Norma ISO 2631-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007a).

Percebe-se claramente picos de vibração na direção lateral do aeromóvel (figura 6 e 7) no meio do trajeto que corresponde à situação em que o veículo se encontra, em velocidade máxima de 40 km/h. Nas figuras 8 a 11, percebe-se que a componente lateral (x) é importante. Próximo às paradas, há aumento de aceleração na direção longitudinal (y) referente às paradas e acelerações para chegada e partidas, respectivamente. Avaliou-se as vibrações, quanto aos riscos à saúde e aplicou-se as recomendações da Norma ISO 2631-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007a). Como resultado, obteve-se o gráfico indicativo da figura 12.

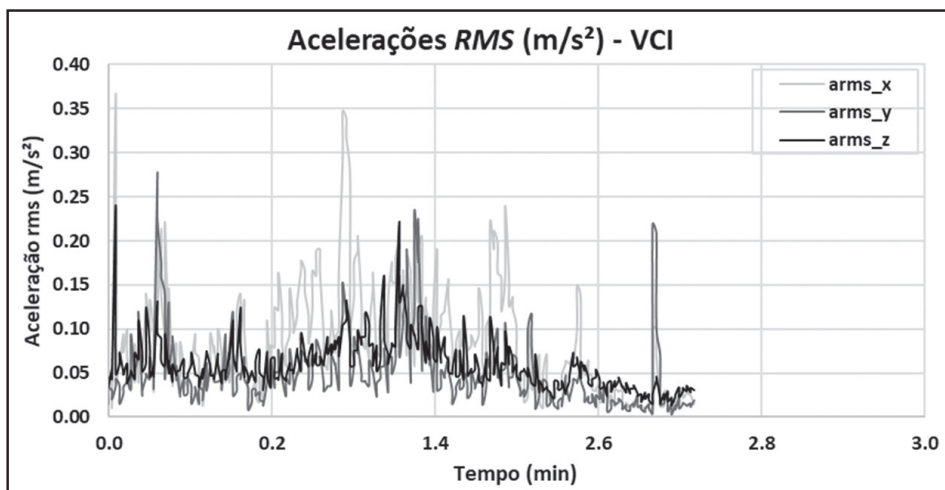


Figura 6 - Gráfico de acelerações *rms* posição um (1) (Ida)
Fonte: Os autores (2018).

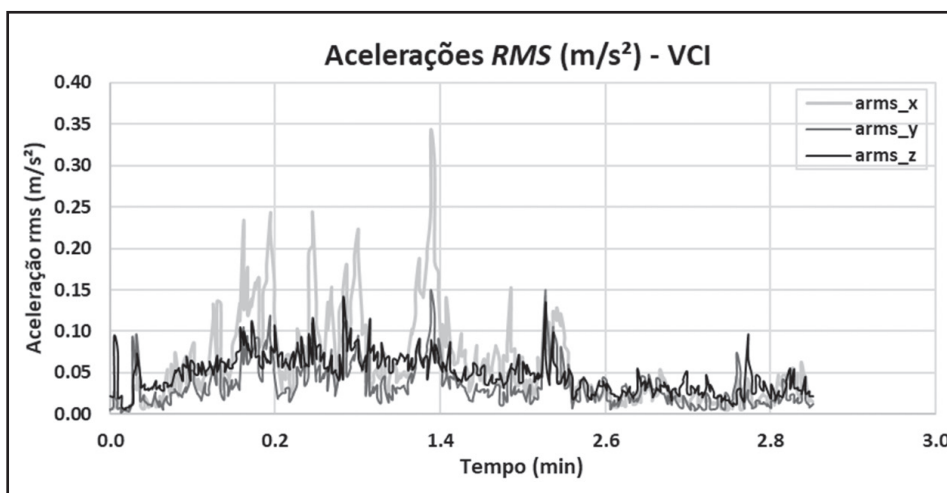


Figura 7 - Gráfico de acelerações *rms* posição um (1) (Volta)
Fonte: Os autores (2018).

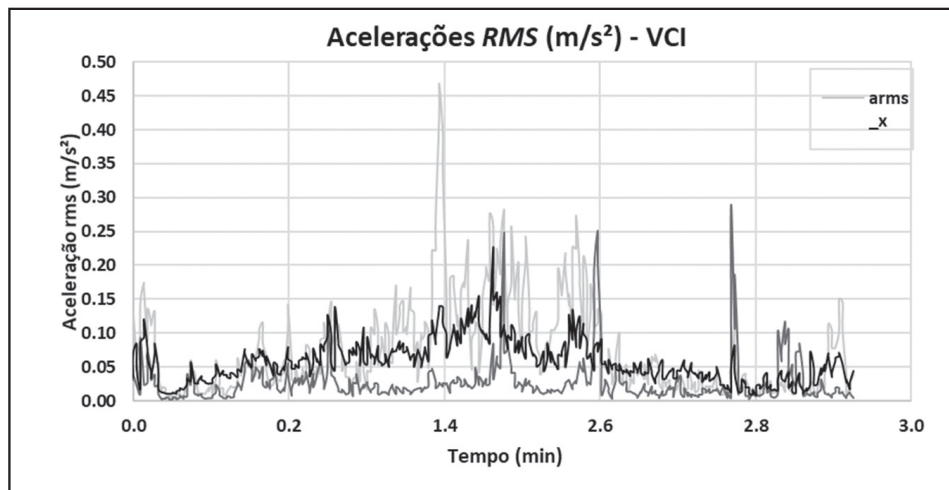


Figura 8 - Gráfico de acelerações *rms* posição dois (2) (Ida)
Fonte: Os autores (2018).

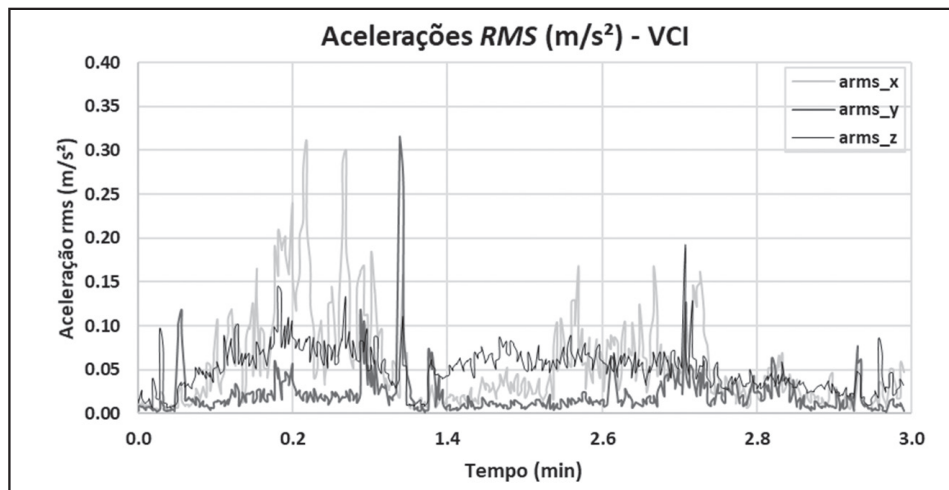


Figura 9 - Gráfico de acelerações *rms* posição dois (2) (Vinda)
Fonte: Os autores (2018).

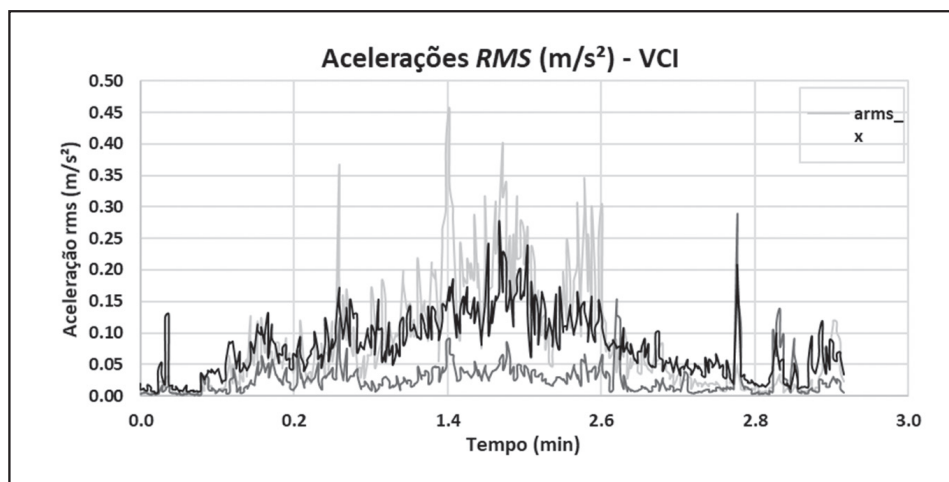


Figura 10 - Gráfico de acelerações *rms* posição três (3) (Ida)
Fonte: Os autores (2018).

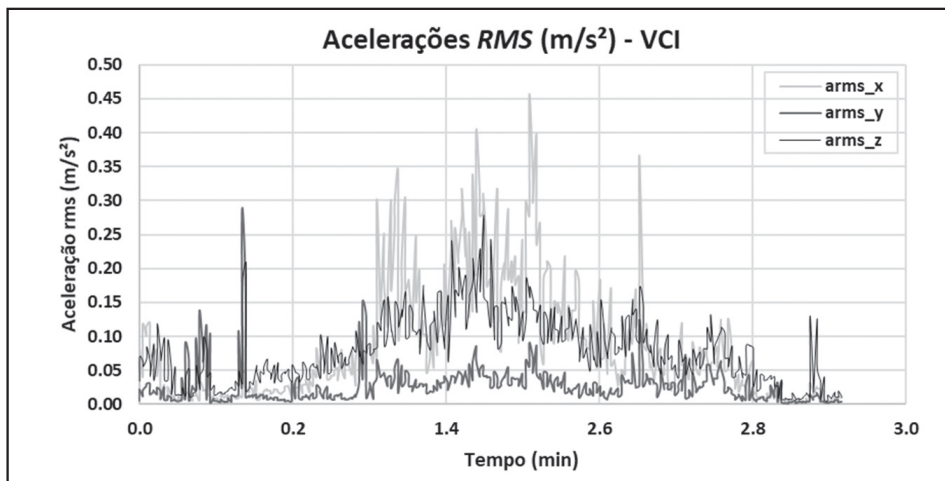


Figura 11 - Gráfico de acelerações rms posição três (3) (Vinda)
 Fonte: Os autores (2018).

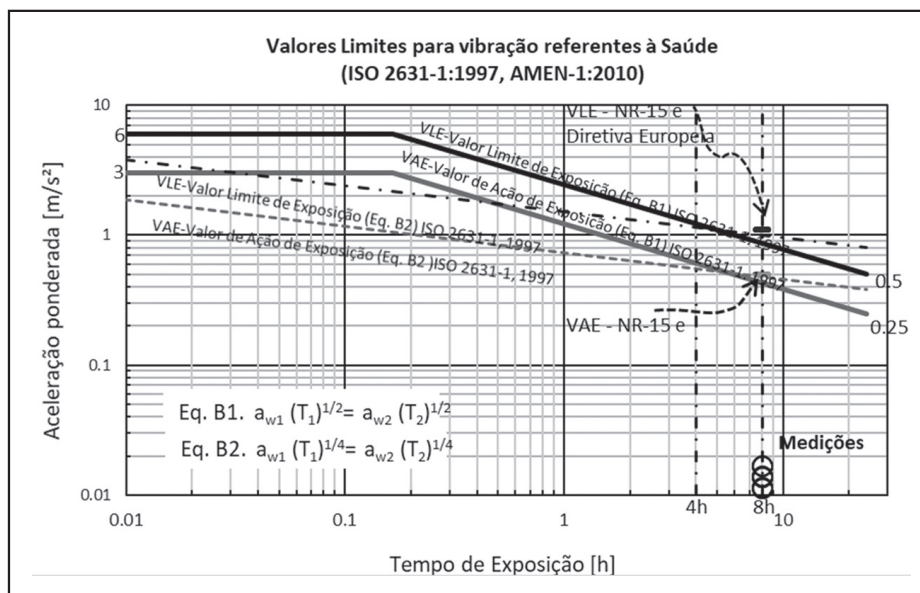


Figura 12 - Valores limites para vibração referentes à Saúde para todas as medições. Círculos representam as medições
 Fonte: Adaptado de International Organization for Standardization (2007a).

Percebe-se claramente que os níveis de vibração medidos estão muito abaixo do limite de ação de qualquer das normas ISO 2631-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007a), Diretiva Europeia 2002/44/EC (EUROPEAN PARLIAMENT, 2002) ou NR-15 (GUIA TRABALHISTA, 2014). Como os níveis de vibração são baixos (nível para avaliação do conforto) e muito próximos entre si, resolveu-se fazer uma análise de variância (ANOVA) com um (1) fator e três (3) tratamentos para verificar se os valores medidos de aceleração rms combinados nos três eixos (soma vetorial) são afetados pela posição de medição. Em outras palavras, pretende-se avaliar

se é possível afirmar que há posição mais confortável que outra dentro do vagão. A tabela 2 indica os resultados obtidos para um nível de significância de 95%, feitas na ferramenta de análise estatística ANOVA do Excel. Como se percebe, o valor-P resultante foi de 0 e o valor de $F > F_{crit}$, indicando que os três valores médios provêm de amostras distintas. Em outras palavras, pode-se dizer que o tratamento (posição de medição) afetou o valor da aceleração medida, indicando, nesse caso, que a posição três (3) foi a que gerou mais vibração, quando comparada com a posição dois (2), estando a posição um (1) também em um nível de vibração semelhante a da posição dois (2).

Tabela 2 - Análise ANOVA de um (1) fator para as acelerações combinadas nos três (3) eixos

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Posição 1	620	68,014	0,109	0,00465
Posição 2	620	66,883	0,107	0,00486
Posição 3	620	89,992	0,145	0,00947

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,547	2	0,27374	43,232	0	3,000
Dentro dos grupos	11,758	1857	0,00633			
Total	12,305	1859				

Fonte: Os autores (2018).

Foi-se um pouco além e comparou-se os resultados de aceleração combinada com valores indicativos de normas e artigos, quanto ao conforto. Nas figuras 13 e 14, são indicados

comparativos das vibrações de cada uma das medições, juntamente com classificações de conforto, propostas por normas e/ou pesquisadores da área.

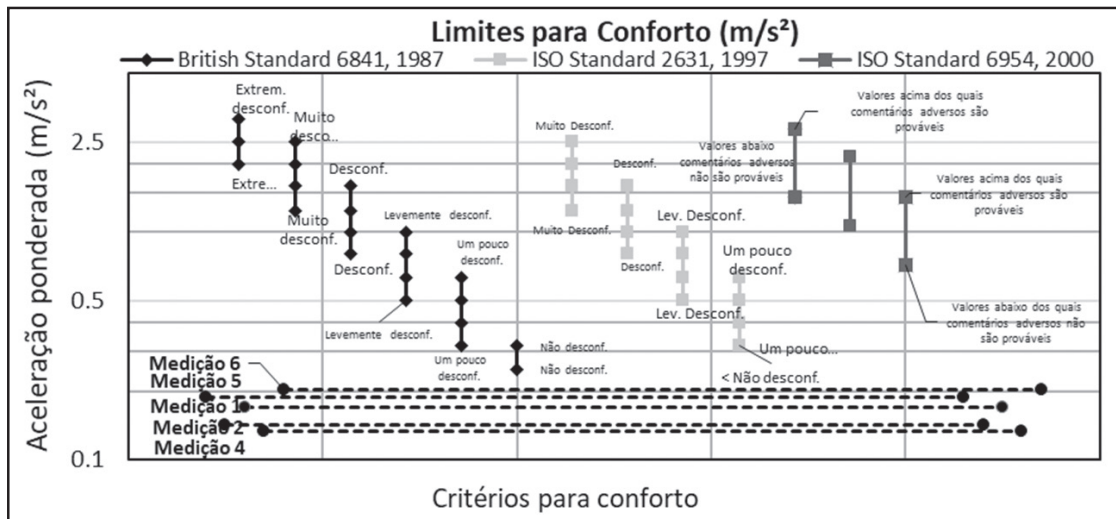


Figura 13 - Comparativos de níveis de conforto aceitáveis para as medições conduzidas
Fonte: Adaptado de Griffin (1990).

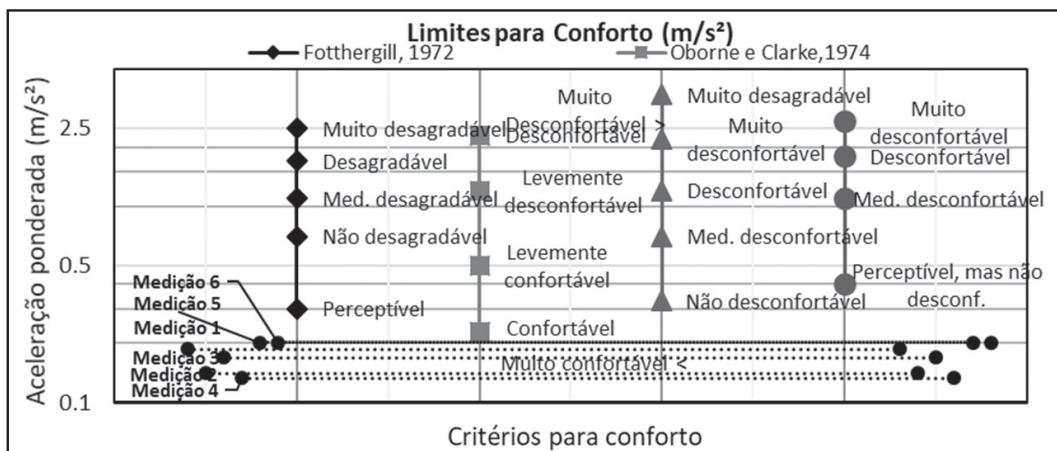


Figura 14 - Critérios para conforto
Fonte: Adaptado de Griffin (1990).

3.2 Avaliação da transmissibilidade com dois (2) *seat pads*

Avaliou-se a vibração, utilizando-se dois (2) *seat pads* no banco e no piso, durante um trajeto de ida do aeromóvel na posição central da lateral esquerda (semelhante à posição um (1)). A figura 15 indica o posicionamento desses dois dispositivos no banco.

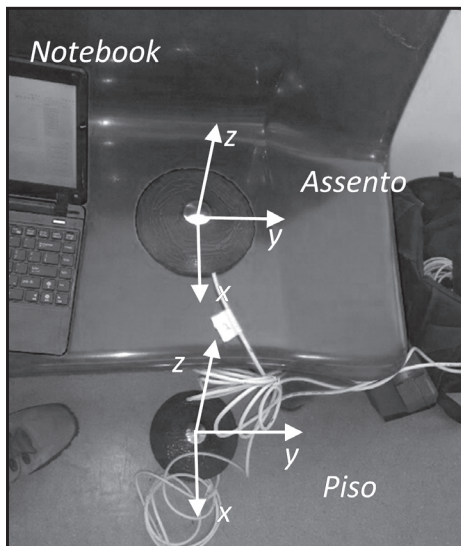


Figura 15 - *Seat pad* posicionado no assento e piso do banco central do aeromóvel. Eixos coordenados indicam orientação final dos acelerômetros
Fonte: Os autores (2018).

Percebe-se, na figura 15, o tipo de banco em fibra de vidro. O objetivo dessa medição é avaliar conteúdo de frequências das vibrações nessa situação e posição, assim como poder avaliar a transmissibilidade e os índices SEAT (*Seat Effectiveness Acceleration Transmissibility*), que podem dar indicação sobre o conforto dos assentos. A figura 16 indica os sinais medidos, durante o trajeto e os respectivos espectros de frequências. Observa-se que em ambos os *seat pads* é possível verificar que a maior vibração ocorre na direção x, ou seja, lateral ao vagão do aeromóvel, correspondente ao balanço lateral característicos de veículos guiados sobre trilhos. Essas oscilações ficaram em torno de 0,66 Hz.

A figura 17(a) indica os valores SEAT, avaliados para as três direções no banco naquela posição. Os valores para todas as direções ficaram altos, especificamente para as direções y (longitudinal do vagão) e z (vertical), indicando inclusive que há amplificação da vibração nessas direções (5,8% e 1,11% em valores *rms*). Fato esperado num banco que é completamente rígido de fibra de vidro. Na direção x (lateral), há uma atenuação de 13,12% em valores *rms*.

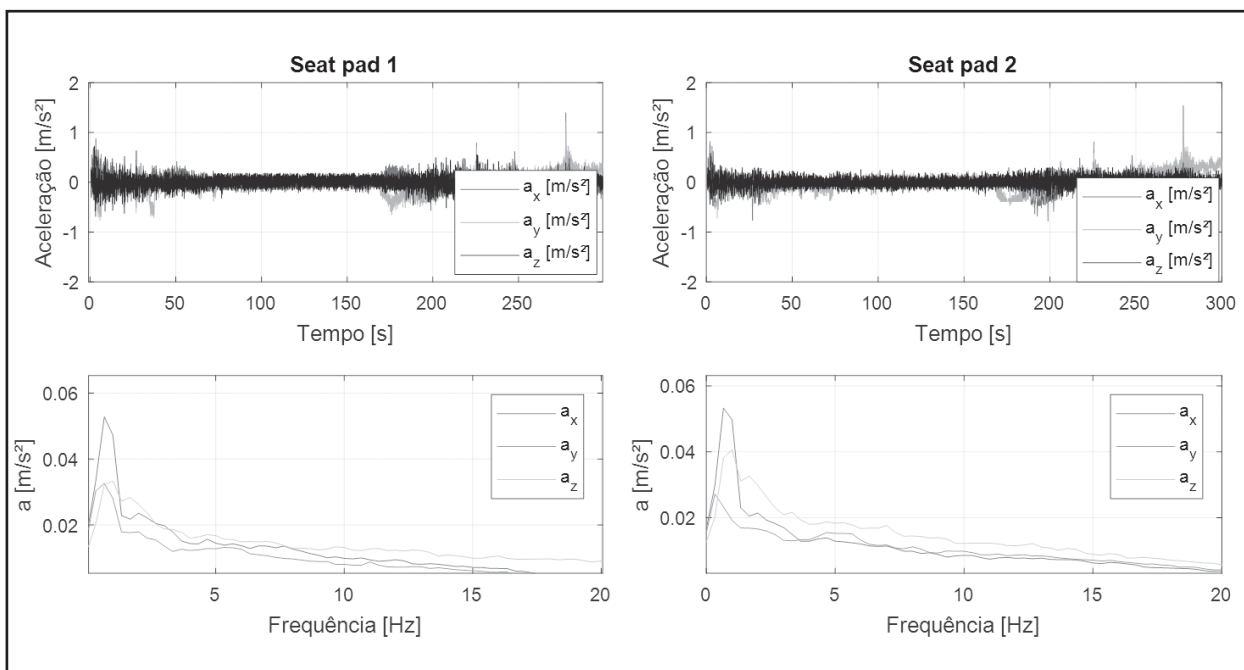


Figura 16 - Sinais de aceleração medidos pelos dois *seat pads* e os respectivos espectros de frequência
Fonte: Os autores (2018).

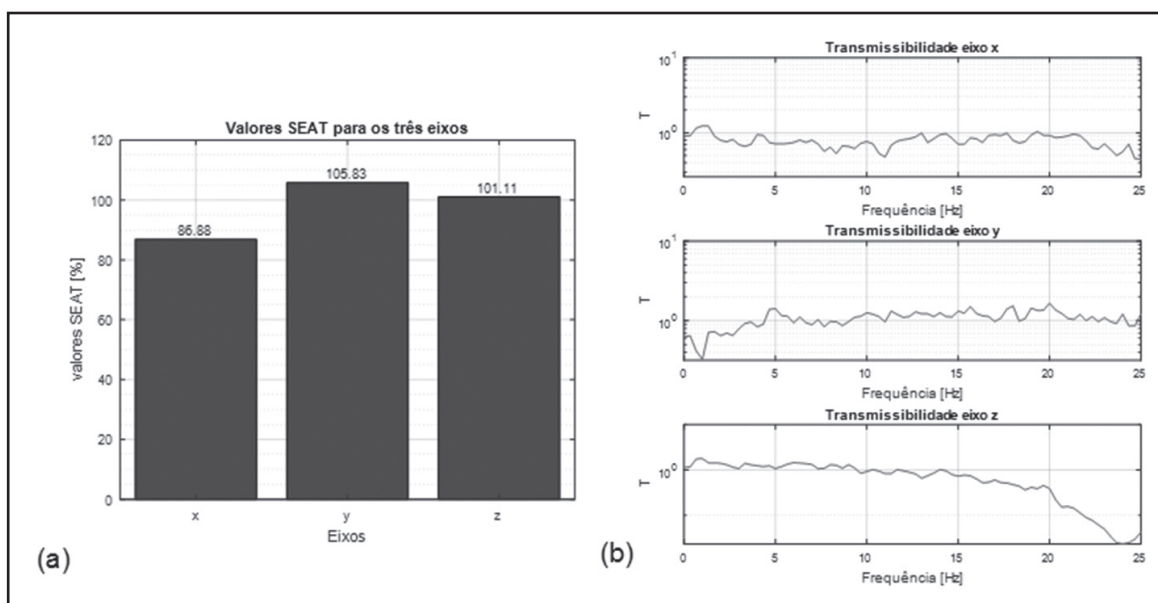


Figura 17 - (a) Valores do índice SEAT para cada um dos três (3) eixos na posição um (1) e (b) Transmissibilidades de aceleração
Fonte: Os autores (2018).

Em termos de transmissibilidade, o gráfico da figura 17(b) dá uma indicação desse comportamento referente a uma medição de trecho completo de ida e volta à estação do aeroporto. No eixo x, há uma leve amplificação na faixa de 0-2,5 Hz, mas em grande parte do espectro até 25 Hz, a transmissibilidade é menor que um (1). Para o eixo y, há atenuações até 5 Hz, mas que, em seguida, tornam-se amplificações (menores que dois (2)). Para o eixo z, até 10 Hz, há uma leve amplificação (transmissibilidade levemente maior que 1), mas logo, em seguida, há atenuações consideráveis (0,8 a 0,5). A maior atenuação no eixo z, presume-se que seja devido à flexão do banco de fibra de vidro nessa direção.

4 Conclusões

De acordo com os dados obtidos nas medições de vibração de corpo inteiro, para fins de avaliação de conforto, o aeromóvel mostrou-se confortável para os diversos autores e valores indicativos de Normas. Assim, para fins de avaliação de conforto, pode-se concluir que o Sistema Aeromóvel se encontra dentro de todos os limites propostos, inclusive apresenta um nível de conforto, segundo a norma ISO-2631-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007a) classificado como levemente confortável, com picos de acelerações entre $0,315 \text{ m/s}^2$ e $0,63 \text{ m/s}^2$. Desconsiderados os picos, o veículo poderia inclusive ser classificado como confortável com acelerações inferiores a $0,315 \text{ m/s}^2$.

No que diz respeito à saúde, o veículo se encontra muito abaixo dos limites propostos pelo gráfico (VAE e VLE), não caracterizando qualquer risco para usuário e operador, caso o tivesse a bordo. Os níveis de aceleração, medidos entre $0,01 \text{ m/s}^2$ a $0,02 \text{ m/s}^2$, são bastante baixos nesse tipo de veículo, quando comparado com trem urbano, principalmente devido à baixa velocidade e devido à relativa planicidade da via de tráfego do aeromóvel.

As vibrações, segundo a ISO 2631-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007a), não apresentam, em nenhum dos locais avaliados, risco à saúde dos ocupantes do aeromóvel.

O tipo de banco em fibra de vidro favoreceu aos altos valores de índice SEAT, para a direção vertical e lateral dos ocupantes. O tratamento desse banco é uma solução de baixo custo possível de ser implementada para melhorar ainda mais a qualidade do conforto, durante do trajeto da viagem. Havendo a necessidade de melhoria no projeto, relativo às vibrações, observa-se que um ponto a ser levado em consideração seria a alteração dos bancos, principalmente no que diz respeito ao eixo x (balanço lateral), o qual apresenta as maiores acelerações do sistema, o que de fato é característico em veículos rodoviários, segundo Reis (2015).

Pela análise de variância ANOVA, há locais mais confortáveis dentro do aeromóvel. Essas informações são relevantes para futuros projetos, visando o conforto dos passageiros. Deve-se salientar

também que a posição no carro determina diferenças na vibração sentida pelo usuário e, através da análise de ANOVA, pode se comprovar dentro de um intervalo de confiança de 95% que a posição mais sujeita a vibrações se encontra na dianteira do carro e é chamada de posição três (3). Possivelmente, a presença de conjuntos mecânicos e de um compressor de ar, ausentes em outras regiões do carro, contribuem para o aumento da vibração no local.

Devido à geometria, construção e projeto dos bancos, as vibrações são acentuadas em dois eixos (y e z) e atenuadas no eixo x (eixo de maior vibração, devido ao balanço lateral). Para futuros projetos, sugere-se a revisão da posição dos bancos que, possivelmente, devido ao braço de alavanca, apresentam uma intensidade maior de vibração. E ainda, podem ser avaliadas outras grandezas, relativas ao conforto geral dos passageiros como: conforto acústico, térmico e ergonômico e que não foram avaliados neste trabalho.

Referências

- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Transporte metroviário de passageiros**. 2016. Disponível em: <[http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/2016%20CNT%20Pesquisa%20Metroferrovi%C3%A1ria%20\(web\).pdf](http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/2016%20CNT%20Pesquisa%20Metroferrovi%C3%A1ria%20(web).pdf)>. Acesso em: 1º out. 2017.
- EUROPEAN PARLIAMENT. Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration) (sixteenth individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) - Joint Statement by the European Parliament and the Council. **Official Journal of the European Communities**, v. 45, n. 177, p. 13-19, 2002.
- FAGUNDES, E. **Ligação Trensurb - Aeroporto Salgado Filho**. 2014. Disponível em: <<http://www.aeamesp.org.br/biblioteca/stm/20smtf1411Tt285ap.pdf>>. Acesso em: 3 maio 2018.
- FAGUNDES, J. S.; GOMES, H. M. Evaluation of the floor-seat transmissibility (SEAT) in riding vehicles and verification of vibration levels regarding health and comfort in WBV. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, 24., 2017. Curitiba. **Proceedings...** Rio de Janeiro: ABCM, 2017.
- FEDATTO NETO, M.; GOMES, H. M. Análise de níveis de vibração em usuários de trens urbanos. **Revista Liberato**, v. 18, n. 29, p. 276-296, 2017.
- GRIFFIN, M. J. **Handbook of human vibration**. London: Academic, 1990.
- GUIA TRABALHISTA. **NR 15: atividades e operações insalubres: Anexo n. 8 Vibrações**. 2014. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr15.html>>. Acesso em: 24 abr. 2016.
- HARRIS, C. M.; PIERSOL, A. G. **Harris's shock and vibration handbook**. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2002. 1456 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2631-1:1997: mechanical vibration and shock: evaluation of human exposure to whole body vibration: part 1: general requirements**. Geneva, 2007a.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **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**. Geneva, 2007b.
- KADERLI, F.; GOMES, H. M. Vibration analysis based on health and comfort levels on ride vehicles. **International Journal of Vehicle Noise and Vibration**, v. 11, p. 238-254, 2015.
- QUEST TECHNOLOGIES. **VI-400PRO: real-time vibration analyzers, preliminary owner's manual**. Oconomowoc, 2005.
- REIS, C. M. **Análise do conforto em embarcações do modal aquaviário no transporte coletivo de passageiros em Porto Alegre**. 15 f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.