



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia Automotiva

**Quantificação da Vibração em motoristas e
passageiros em veículos automotivos de
passeio.**

Autor: Lais Lilian Lopes Ramos
Orientador: Prof^a. Dr^a. Maria Alzira de Araújo Nunes

Brasília, DF
28 de Novembro de 2018



Lais Lilian Lopes Ramos

**Quantificação da Vibração em motoristas e passageiros
em veículos automotivos de passeio.**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof^a. Dr^a. Maria Alzira de Araújo Nunes

Brasília, DF

28 de Novembro de 2018

Lais Lilian Lopes Ramos

Quantificação da Vibração em motoristas e passageiros em veículos automotivos de passeio./ Lais Lilian Lopes Ramos. – Brasília, DF, 28 de Novembro de 2018-

71 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Maria Alzira de Araújo Nunes

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 28 de Novembro de 2018.

1. vibração veicular. 2. engenharia automotiva. I. Prof^a. Dr^a. Maria Alzira de Araújo Nunes. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Quantificação da Vibração em motoristas e passageiros em veículos automotivos de passeio.

CDU 02:141:005.6

Lais Lilian Lopes Ramos

Quantificação da Vibração em motoristas e passageiros em veículos automotivos de passeio.

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotivada Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 28 de Novembro de 2018:

**Prof^a. Dr^a. Maria Alzira de Araújo
Nunes**
Orientador

Prof^a. Dr^a. Rita de Cássia Silva
Convidado 1

**Prof. Dr. André Murilo de Almeida
Pinto**
Convidado 2

Brasília, DF
28 de Novembro de 2018

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, e também pela oportunidade e compreensão, agradeço aos queridos que sempre estiveram ao meu lado, a minha família: pais Odilon Samuel e Darci Lopes e irmãos, ao Leandro Alves por me ajudar na edição deste trabalho e ajuda nas medições, ao Macário Soares da Cruz Junior também na ajuda das medições dos veículos a Laila Bernardes pelo apoio e companheirismo. E por fim, a Universidade de Brasília por proporcionar o conhecimento e material possível para realização deste trabalho.

Um agradecimento especial a professora Maria Alzira de Araújo Nunes por me permitir realizar este trabalho em sua orientação.

Resumo

O aumento do tempo que o brasileiro passa no trânsito, [Estadão \(2016\)](#) aliado ao avanço e benefícios, ([BRASILIENSE, 2018](#)), do uso de aplicativos de transporte privado como: Uber, Televo, Cabify entre outros, podem acarretar em um acesso mais fácil a locomoção por veículos de passeio, os quais são considerados fonte de vibração para seus passageiros e motoristas que podem ser danosas a saúde física e mental. Atento a estes fatos o presente trabalho aplica normas internacionais ISO 2631-1, 5349-1 e normas nacionais NHO 09 E NHO 10 para o estudo das vibrações de corpo inteiro (VCI) e conjunto mão-braço (VBM), analisou-se quatro casos de exposição dispostos em : caso 1A (VCI), caso 1B(VBM), caso 2 e caso 3. Foram medidos experimentalmente as vibrações em cinco posições diferentes são elas: motorista, passageiro frontal, passageiro traseiro direito e passageiro traseiro esquerdo em três modelos diferentes de veículos. Os resultados foram discutidos através de comparações entre os casos e localização da posição ou das posições em que os usuários destes veículos estão mais expostos ou menos expostos a níveis de vibração, foram utilizadas as normas NHO 09 e NHO 10 para análise dos níveis de exposição à vibração, pois estas apresentam tabelas que estipulam valores de aceleração de exposição normalizadas aceitáveis, acima do nível de ação, zona de incerteza e acima do limite de exposição. Os dados são apresentados em tabelas e gráficos que auxiliam na visualização dos valores observados de aceleração.

Palavras-chave: Vibração Corpor Inteiro, VCI, Vibração Mão e Braço, VBM, vibração veicular.

Abstract

The increase in the time spent by the Brazilian in traffic combined with the advancement and benefits of the use of private transportation applications such as Uber, Televo, Cabify and others, may lead to easier access to vehicles which are considered a source of vibration for their passengers and drivers that can be harmful to physical and mental health. Attention to these facts, the present work applies ISO 2631-1, 5349-1 and national standards NHO 09 e NHO 10 for the study of the whole body vibrations (VCI) and hand-arm assembly (VBM), case 1A (VCI), case 1B (VBM), case 2 and case 3. The vibrations were measured experimentally in five different positions: driver, front passenger, right rear passenger and left rear passenger in three different models of vehicles. The results were discussed through comparisons between the cases and location of the position or positions in which the users of these vehicles are more exposed or less exposed to vibration levels, the NHO 09 and NHO 10 standards were used to analyze the levels of exposure to vibration because they have tables that provide acceptable normalized acceleration values like : above the action level, uncertainty zone and above the exposure limit. The data are presented in tables and graphs that help in the visualization of the observed values of acceleration.

Key-words: Whole Body Vibration, WBV, Hand and Arm Vibration, HAV, vehicular vibration

Lista de ilustrações

Figura 1 – Variação de posições de cada indivíduo (NAWAYSEH; GRIFFIN, 2005) . . .	21
Figura 2 – Arranjo geral do assento de bancada, apoio para os pés e encosto. (TOWARD; GRIFFIN, 2009)	22
Figura 3 – Posição indivíduos e local onde foram fixados sensores. (Xu et al. (2016))	23
Figura 4 – Fixação do acelerômetro no assento e medição do ângulo do encosto. (Moore e Nunes (2016)	24
Figura 5 – Disposição experimental do agitador elétrico e indivíduo no experi- mento. (Marchetti et al. (2017))	25
Figura 6 – Desenho final em CAD da bancada. (Moore (2017))	26
Figura 7 – Posicionamento do sensor no assento e bancada completa com partici- pante. (Moore (2017))	27
Figura 8 – Sensor HVM 100 no <i>Seat Pad</i> e sua fixação no assento do condutor. (Lopes (2012))	28
Figura 9 – Modelo não linear utilizado do veículo e modelo corpo humano. (Sezgin e Arslan (2012)).	29
Figura 10 – Modelo não linear utilizado do veículo e modelo corpo humano. (Sezgin e Arslan (2012)).	29
Figura 11 – Locais onde foram fixados acelerômetro no <i>Seat Pad</i> e HVM 100. (Mo- ore e Nunes (2015))	30
Figura 12 – Disposição dos equipamentos utilizados. (Silva e Nunes (2016))	31
Figura 13 – Posicionamento do sensor no assento (BARONE; MONGELLI; TASSITANI, 2016)	32
Figura 14 – Posição dos sensores (NETO; GOMES, 2017)	32
Figura 15 – Bancada de simulação e posição dos participantes (PARK et al., 2017). . .	33
Figura 16 – Bancada de simulação e posição dos participantes (PARK et al., 2017). . .	34
Figura 17 – Motor e fontes de vibração	35
Figura 18 – Eixo ligado ao motor.	36
Figura 19 – Sistema de suspensão veicular.	37
Figura 20 – Pneu e seus componentes.	37
Figura 21 – Fontes de vibrações de sistema de acessórios (a) Alternador, (b) Eletro- Ventilador e (c) Grupo de alimentação de combustível. (FONTE: NVH – Fiat automóveis S.A).	37
Figura 22 – Principais componente do sistema de exaustão	38
Figura 23 – Condutor de motocicleta exposto a vibração conjunto mão e braço	39
Figura 24 – Condutor de veículo exposto a vibração conjunto mão e braço e vibra- ção de corpo inteiro	40

Figura 25 – Frequência naturais corpo humano. (PARDAL, 2015)	40
Figura 26 – Direções do sistema de coordenadas para vibrações mecânicas em seres humanos. (ISO2631-1:1997).	42
Figura 27 – Direções do sistema de coordenadas para vibrações mecânicas conjunto mão-braço (ISO, 2001).	42
Figura 28 – Curva fator de ponderação (Frequências vs Fator de ponderação)- ISO 2631 (ISO, 1997).	43
Figura 29 – Curva fator de ponderação em frequência par vibração transmitida a mãos e braços Wh (ISO, 2005)	46
Figura 30 – Human Vibration Meter (GROM, 2018) e (KJAER, 2018)	48
Figura 31 – Acelerômetro triaxial (Larson Davis)	48
Figura 32 – Triaxial Seat Pad Sensor, Modelo SEN027-CBL (KJAER, 2018)	49
Figura 33 – Adaptador tipo “T”. (Larson Davis)	49
Figura 34 – - Exemplo de calibração de acelerômetro, na foto estão presente HVM 100 e Calibrador de acelerômetros (GROM, 2018)	49
Figura 35 – Posições de medição do veículo.	51
Figura 36 – Ponto inicial do trajeto. (Fonte: Google Mapas, acesso 1 junho 2018)	52
Figura 37 – Trajeto total. (Fonte: Google Mapas, acesso 1 junho 2018)	53
Figura 38 – Pontos críticos do trajeto. (Fonte: Google Mapas, acesso 1 junho 2018)	53
Figura 39 – Posições para análise de vibrações (autoria própria).	54
Figura 40 – Captura de tela software BLAZE.	54
Figura 41 – Posições analisadas no caso 1A	55
Figura 42 – Posição analisada no caso 1B	56
Figura 43 – Posição analisada no caso 2 e 3 (autoria própria).	56
Figura 44 – Trajeto para local de trabalho (Fonte: Google Mapas, acesso 1 junho 2018).	57
Figura 45 – Gráfico de aceleração resultante.	59
Figura 46 – Gráfico da aceleração pelo tempo em todas as posições (P1, P2, P3 e P4).	61
Figura 47 – Gráfico da aceleração pelo tempo de medição, apresentando os maiores picos. Fonte: autor	61
Figura 48 – Fotos referentes aos ponto 4 na imagem superior e 5 imagem inferior	62
Figura 49 – Foto referente ao possível local de ocorrência dos picos 6 e 7.	62
Figura 50 – Gráfico aceleração resultante e exposição, posição P5.	63
Figura 51 – Gráfico aceleração pelo tempo do percurso.	64

Lista de tabelas

Tabela 1 – Limites de exposição, critério de julgamento e tomada de decisão (FUN-DACENTRO,2012).	42
Tabela 2 – Critérios para julgamento e tomada de decisão conjunto mão e braços. (FUNDACENTRO 2012)	46
Tabela 3 – Ficha técnica modelo 1.	50
Tabela 4 – Ficha técnica modelo 2.	50
Tabela 5 – Ficha técnica modelo 3.	50
Tabela 6 – Manutenção e balanceamento dos modelos.	51
Tabela 7 – Aceleração resultante de exposição (<i>are</i>).	59
Tabela 8 – Acelereção resultante de exposição (<i>aren</i>).	62
Tabela 9 – Equações e incógnitas para resolução do caso 2.	64
Tabela 10 – Acelereção resultante de exposição normalizada (<i>aren</i>).	64
Tabela 11 – Equações e incógnitas para resolução do caso 3.	65
Tabela 12 – Acelereção resultante de exposição normalizada (<i>aren</i>).	65

Lista de abreviaturas e siglas

SUV	<i>Sport Utility Vehicle</i>
HVM 100	<i>Human Vibration Measurement 100</i>
BRT	<i>Bus Rapid Transit</i>
IC	<i>Índice de Conforto</i>
VCI	<i>Vibração de corpo inteiro</i>
VBM	<i>Vibração mão e braço</i>
NHO	<i>Normas de Higiene Ocupacional</i>
NR	<i>Norma Regulamentadora</i>
rms	<i>Root mean square</i>
VDV	<i>Valor de Dose de Vibração</i>
IMC	<i>Índice de massa corporal</i>
rms	<i>Root mean square</i>
arep	<i>Aceleração resultante de exposição parcial</i>
are	<i>Aceleração resultante de exposição</i>
aren	<i>Aceleração resultante de exposição normalizada</i>
P1	<i>Posição do motorista</i>
P2	<i>Posição do passageiro banco da frente</i>
P3	<i>Posição do passageiro banco traseiro lado direito</i>
P4	<i>Posição do passageiro banco traseiro lado esquerdo</i>
P5	<i>Posição da mão ao volante</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Contextualização	19
1.2	Justificativa	19
1.3	Objetivo	20
1.3.1	Objetivo Geral	20
1.3.2	Objetivo Específico	20
1.4	Metodologia	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	Vibração no corpo humano	21
2.2	Vibração veicular	27
3	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	35
3.1	Vibração veicular	35
3.2	Perfil de pista	38
3.3	Vibração de corpo inteiro (VCI) e Vibração mão e braço (VBM)	39
3.4	Normas	40
4	METODOLOGIA	47
4.1	Instrumentação utilizada e parâmetros de análise	47
4.2	Modelo dos veículos escolhidos	50
4.3	Indivíduo do teste	51
4.4	Definição do trajeto	52
4.5	Metodologia de medição	54
4.6	Procedimento experimental	54
4.6.1	Caso 1A: VCI	55
4.6.2	Caso 1B: VBM	56
4.6.3	Caso 2	56
4.6.4	Caso 3	57
5	RESULTADOS	59
5.1	Caso 1A: VCI	59
5.2	Caso 1B: VBM	62
5.3	Caso 2	64
5.4	Caso 3	65
6	CONCLUSÃO	67

REFERÊNCIAS 69

1 Introdução

1.1 Contextualização

O brasileiro vem passando cada vez mais tempo no trânsito em grandes cidade, como por exemplo em São Paulo segundo, [Estadão \(2016\)](#), cerca de 3 horas e seis minutos. Fato este que levou a população a buscar meios de transporte mais rápidos e diretos como veículos de passeio. Um dos métodos de locomoção mais utilizado em grande centros são os aplicativos privados de transporte como Uber, Cabify, Televo entre outros. os quais são serviços de motorista para curtas ou longas viagens, tendo como objetivo de conforto e economia aos seus usuários, segundo [Brasiliense \(2018\)](#) os aplicativos de transporte podem ser mais baratos que os carros próprios para a população de Brasília, isto aliado a legalização destes aplicativos, G1 2018, pode acarretar um aumento no número de usuários e de motoristas cadastrados. O veículo de passeio é conhecido como fonte de poluição sonora e liberação de gases tóxicos ao meio ambiente, mas, este também pode ser considerado uma fonte de vibração a seus passageiros e condutores as quais podem acarretar danos físicos e mentais.

Neste sentido um estudo de vibração de corpo inteiro (VCI) e conjunto mão-braços (VBM) a que estão expostos motoristas e passageiros de veículos de passeio é o foco deste trabalho, para tal estudo mediu-se a vibração em três modelos diferentes de veículos e foram considerados quatro casos de exposição sendo um caso para VCI, VBM, motoristas de transporte privado e trabalhador indo ao serviço e voltando para sua residência. Para medição e análise de dados empregou-se o uso de normas internacionais ISO 2631-1 e 5349-1 e normas nacionais NHO 09 e NHO 10.

1.2 Justificativa

Quando o corpo humano é submetido a vibrações, essas podem provocar diferentes efeitos danosos a saúde como: dor de cabeça, baixa concentração, aumento da pressão sanguínea, dores abdominais, entre outros. Com o avanço dos aplicativos de transporte mais usuários teriam acesso aos veículos de passeio, o que poderia levar á um maior uso destes e pouco se sabe sobre a quais níveis de exposição à vibração os passageiros desses veículos estão expostos, fato este que abre margem para o estudo deste trabalho.

1.3 Objetivo

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo a quantificação da vibração de corpo inteiro e no conjunto mãos e braços em motoristas e passageiros de veículos de passeio. Para isto a análise das medições foram divididas em quatro casos diferentes, são eles: caso 1A (VCI), 1B (VBM), caso 2 e caso 4.

1.3.2 Objetivo Específico

- Revisões bibliográficas sobre vibração no corpo humano e seus efeitos.
- Realizar medições segundo as normas NHO 09 e NHO 10.
- Avaliação dos dados obtidos experimentalmente.
- Comparar resultados obtidos através dos critérios estabelecidos para análise referente a cada caso.
- Comparar e discutir os resultados das vibrações VCI e VBM relacionado a cada caso.

1.4 Metodologia

O estudo será desenvolvido através de obtenção de dados experimentais suas análises referentes as normas internacionais ISO 2631-1 (ISO, 1997), ISO 5349-1 (ISO, 2001) e nacionais NHO 09 (FUNDACENTRO, 2013a), NHO 10 (FUNDACENTRO, 2013b).

Neste trabalho as medições de vibração serão realizadas nos assentos dos passageiros, sendo considerada quatro posições o motorista, passageiro banco da frente e passageiros banco traseiro do lado esquerdo e direito. Para os passageiros serão realizadas somente medições nos assentos, já na posição do motorista a vibração será medida no assento e nas mãos que seguram o volante.

Durante a realização de um percurso, item 4.4, foram obtidos dados de acelerações através do equipamento HVM 100 e sensores Seat Pad e acelerômetro tri-axial, as quais foram analisadas segundo formulação das normas NHO 09 e NHO 10, especificadas no item 3.4. Os resultados finais da aceleração resultante de exposição normalizada (aren) foram utilizadas para comparação entre as posições medidas e casos apresentados.

2 Revisão bibliográfica

Este capítulo destina-se a apresentar a revisão bibliográfica que apoia o desenvolvimento deste trabalho, dividido em duas seções. A seção 2.1 trata de trabalhos científicos que estudam a vibração no corpo humano, seja em indivíduos sentados, seja de pé, e segmento mão-braço. Já a seção 2.2 trata sobre vibrações veiculares com enfoque ,a vibrações em assentos automotivos em carros *sport*, tratores, SUV, entre outros modelos.

2.1 Vibração no corpo humano

A fim de entender o efeito da vibração relacionada ao encosto e apoio para os pés, [Nawayseh e Griffin \(2005\)](#) desenvolveram um estudo o qual foi realizado com 12 indivíduos os quais foram expostos a vibrações verticais aleatórias, com um espectro de frequência entre 0.25 a 20 Hz. Cada indivíduo permanecia em diferentes posições, conforme mostrado na figura 1, por 60 segundos.

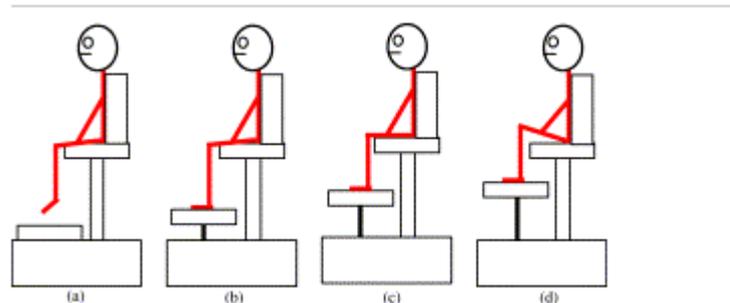


Figura 1 – Variação de posições de cada indivíduo ([NAWAYSEH; GRIFFIN, 2005](#))

As posições descritas na figura 1 são: (a) pés suspensos, (b) pés apoiados com o máximo de contato da coxa com o assento, (c) contato médio da coxa com o assento e (d) contato mínimo da coxa com o assento de bancada. Foram utilizados dois sensores para obtenção dos dados, um tri-axial, que foi posicionado no encosto, e um sensor de eixo único, que foi posicionado no assento para a primeira sessão. Já na segunda sessão, os posicionamentos dos sensores foram invertidos.

Os resultados obtidos foram analisados observando as forças estáticas no encosto, sua resposta na direção vertical observando, a massa somente do encosto, a resposta na direção lateral do assento e do encosto e, por fim, a correlação entre cada posição determinada na figura 1. Os autores concluíram que além das forças verticais no assento, existe a ocorrência de altas variações de frequência na direção posterior e anterior do assento e também no encosto.

Toward e Griffin (2009) desenvolveram um estudo sobre o efeito da espuma e do encosto rígido no assento de bancada que suporta o corpo dos participantes. As massas de 12 participantes foram medidas na superfície do assento com encosto, onde foi posicionado um vibrador vertical eletro-hidráulico local. Também foram posicionadas almofadas com 50mm, 100mm, 150mm de espessura e uma estrutura rígida.

No experimento, os participantes se sentaram com os pés em um apoio com inclinação de 35° . Este ângulo foi escolhido por simular um assento de um automóvel na posição do motorista. Cada indivíduo foi instruído a ajustar o encosto do banco, sua posição em relação a distância do volante, para uma melhor simulação de sua postura ao dirigir. Na figura 2 é possível ver a disposição do assento experimental utilizado.

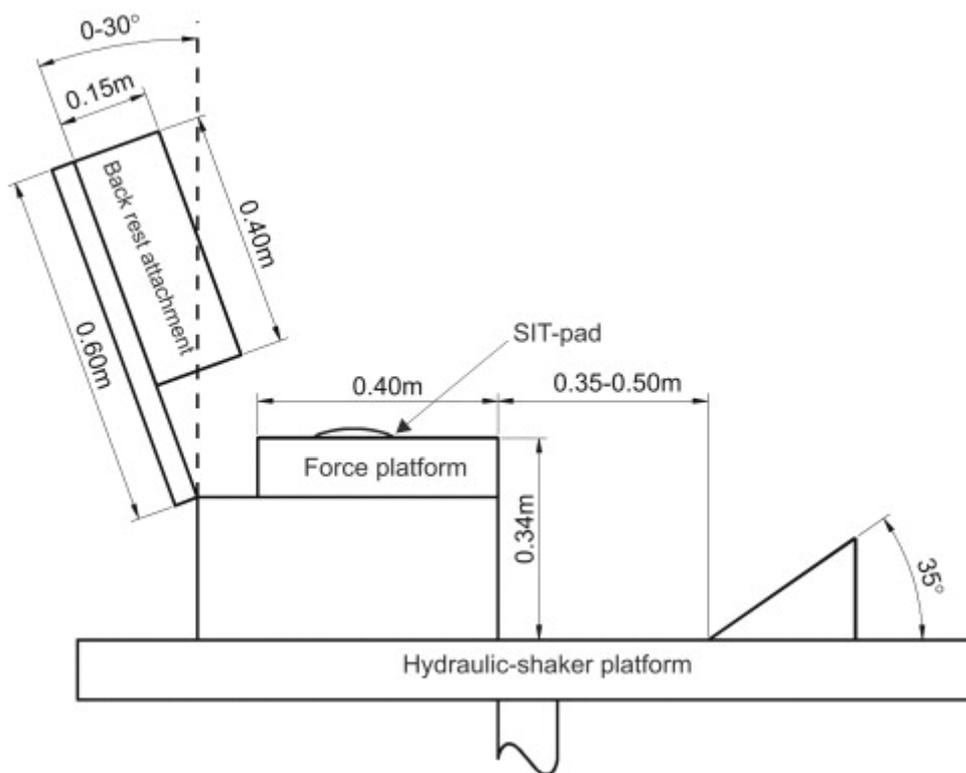


Figura 2 – Arranjo geral do assento de bancada, apoio para os pés e encosto. (TOWARD; GRIFFIN, 2009)

Para a medição foram aplicadas três condições para posição do encosto e tipo de espuma, estas foram: encosto vertical, ângulo de inclinação, variando de 0° a 30° com incremento de 5° , encosto de espuma rígida com 100mm de espessura e encosto de espuma de 50mm a 150mm com inclinação de 0° a 30° com incrementos de 10° . Cada indivíduo foi exposto a 23 condições em uma sessão com duração de 1h.

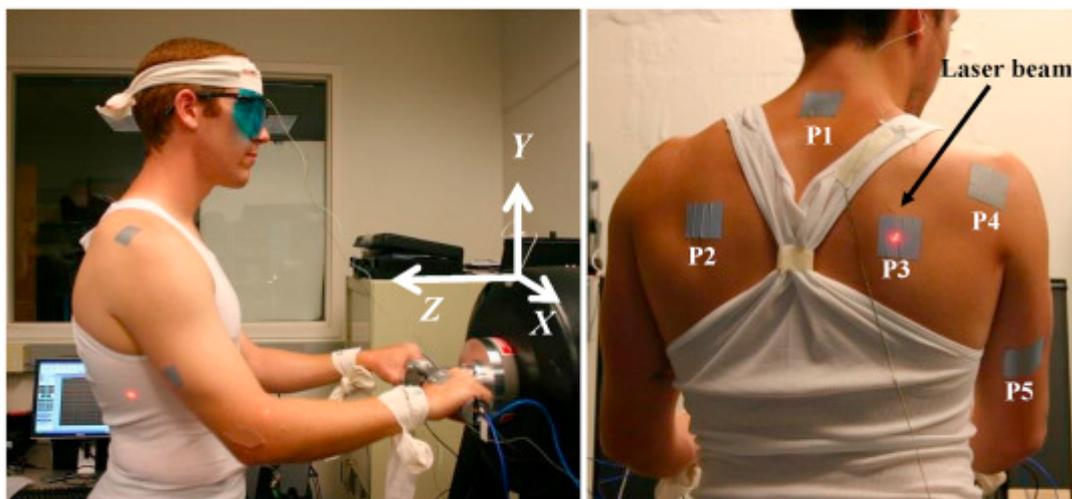
Os autores analisaram os resultados do efeito de encosto rígido, o efeito da inclinação do encosto com 100mm de espessura e os efeitos de diferentes espessuras de espuma e inclinações. Chegou-se à conclusão que o contato com o encosto rígido ou de espuma reduz a força suportada pelo assento da bancada e que ao reclinar o encosto, a proporção

de forças de apoio no assento diminui. Por outro lado, a frequência de ressonância da massa é pouco afetada pelo contato com diferentes tipos de encosto. E, por fim, concluiu-se também que o maior efeito sob o peso medido no assento quando o encosto de espuma estava inclinado a 30° .

Os artigos de [Nawayseh e Griffin \(2005\)](#) e [Toward e Griffin \(2009\)](#) são importantes pois observam que a posição de cada indivíduo sobre o assento e diferentes tipos de encosto podem ocasionar diferentes leituras de vibrações no corpo humano.

Além disso, a fim de entender a transmissibilidade de vibração do conjunto mão-braço para a parte posterior do corpo, o estudo de [Xu et al. \(2016\)](#) analisa esta transmissão de vibração para as costas, ombro, pescoço e cabeça por meio de um procedimento experimental realizado com 8 indivíduos posicionados de pé com o braço levemente estendido segurando uma alça de um shaker.

Em cada mão foi posicionado um acelerômetro tri-axial para medir a aceleração de entrada, nas alças foram adicionados um par de sensores de força para medir a pressão imposta por cada pessoa na alça e, por fim, o vibrômetro a laser foi posicionado apontando para 5 pontos diferentes marcados por fitas cinzas, como é mostrado na figura 3.



(a)

Figura 3 – Posição indivíduos e local onde foram fixados sensores. ([Xu et al. \(2016\)](#))

Durante a parte de processamento dos dados, [Xu et al. \(2016\)](#) observaram separadamente a transmissibilidade medidas em diferentes locais, efeito da força aplicada na alça no ato de puxá-la, efeito da postura do braço em 20° e 120° e a magnitude de vibração transmitida.

A conclusão do estudo é de que a vibração transmitida através dos membros superiores, mão e braço, diminui com o aumento da distância da fonte e também a aplicação de

diferentes graus de força e de posição do braço afetaram a transmissibilidade da vibração.

Já, [Moore e Nunes \(2016\)](#) desenvolveram um estudo a fim de observar os efeitos dos principais parâmetros de ajuste do banco do condutor quando a vibração de corpo inteiro (VCI) é analisada.

Para a parte experimental os autores utilizaram o planejamento fatorial 2^3 , com 5 repetições investigando os seguintes fatores: posição horizontal do assento, inclinação do encosto, regulagem de altura do assento. O veículo utilizado foi um modelo sedan ano 2009 que percorreu uma distância de 11,8 km a uma velocidade média de 70 km/h, os instrumentos utilizados foram um acelerômetro triaxial no seat pad um HVM 100.

É apresentado na figura 4 a fixação do sensor no assento e como foi medida a inclinação do encosto.

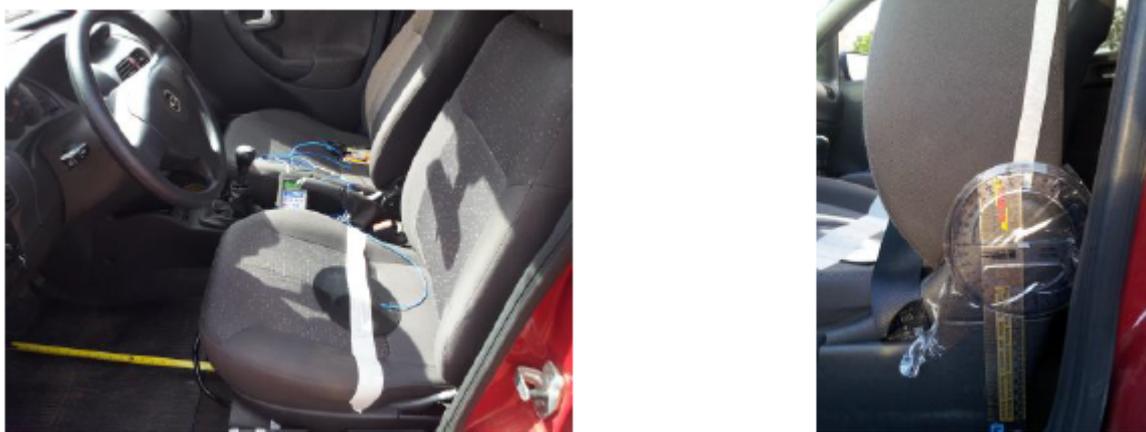


Figura 4 – Fixação do acelerômetro no assento e medição do ângulo do encosto. ([Moore e Nunes \(2016\)](#))

Os dados obtidos foram analisados nos softwares Matlab 2012® e Minitab17® a fim de obter os valores de aceleração média para aplicar os conceitos de estimativa de erro e interpretação de uma análise de variância (ANOVA). Assim os autores puderam concluir que nenhum efeito se mostrou realmente significativo para essa abordagem de estudo, porém, o que mais se aproximou de ser notado foi a relação entre a altura do assento e a inclinação do encosto.

Outro trabalho que observa a transmissibilidade de vibração no conjunto mão-braço é [Marchetti et al. \(2017\)](#). Mais especificamente, observaram a vibração no cotovelo e ao longo do antebraço em função da força de pressão aplicada pelas mãos. Utilizou-se um agitador elétrico que aplicava uma vibração de 6 a 500 Hz sob uma alça, como é mostrado na figura 5.

Para os testes, foram utilizados 15 mulheres e 19 homens, os quais não apresentavam nenhum problema muscular. Durante o experimento, cada voluntário mantinha uma inclinação de 90° e exercia sob a alça uma quantidade de força ao empurrar e puxar a

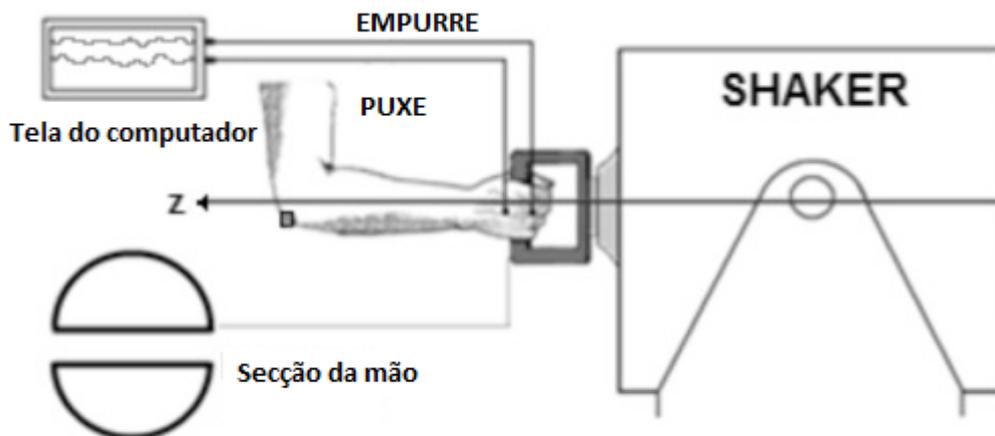


Figura 5 – Disposição experimental do agitador elétrico e indivíduo no experimento. (Marchetti et al. (2017))

alavanca.

Os resultados do experimento foram analisados por meio do software MATLAB, obtendo-se a velocidade do cotovelo, aceleração e transmissibilidade. Os autores concluíram que a força de pressão é um alto fator de resposta de vibração no cotovelo, e encontraram duas frequências de ressonância para o conjunto, a primeira de 8Hz, e a segunda em uma faixa de 23Hz a 24Hz.

A transmissibilidade é um assunto importante, pois é necessário entender até onde no corpo humano as vibrações do conjunto mão e braço se expandem. Assim pode-se relacionar as vibrações com aquelas recebidas pelo assento.

Ademais, Moore (2017) desenvolveu uma bancada de teste experimental para estudo sobre vibração de corpo inteiro em assento automotivo que atendesse um requisito da NHO 09 (FUNDACENTRO, 2013a), que se refere a vibrações com aceleração resultante normalizada acima de $0,5 m/s^2$. A bancada consiste em um banco posicionado sobre uma superfície plana, horizontal, apoiada por molas e excitada por um shaker eletromecânico.

O trabalho foi dividido em duas etapas. Primeiramente, o autor determinou os bancos, sendo utilizados dois modelos. Depois, determinou os parâmetros de rigidez e amortecimentos de ambos e a dimensão superficial da plataforma que fora medida de três modelos diferentes de ônibus. Este valor foi utilizado para determinar os valores mínimos de largura e comprimento da plataforma.

Para a segunda etapa, o autor determinou os materiais que seriam utilizados para a construção da bancada, para isto foram realizadas simulações estáticas e dinâmicas, realizadas por meio do software Catia V5R19®. Para o dimensionamento das molas e seus cursores, também foram utilizadas simulação no software Matlab®.

O processo de montagem da bancada chegou ao fim quando foram posicionados os apoios para os pés com inclinação de 25° e adição do volante a bancada. É mostrado na figura 6 o modelo final no software Catia V5R19®.

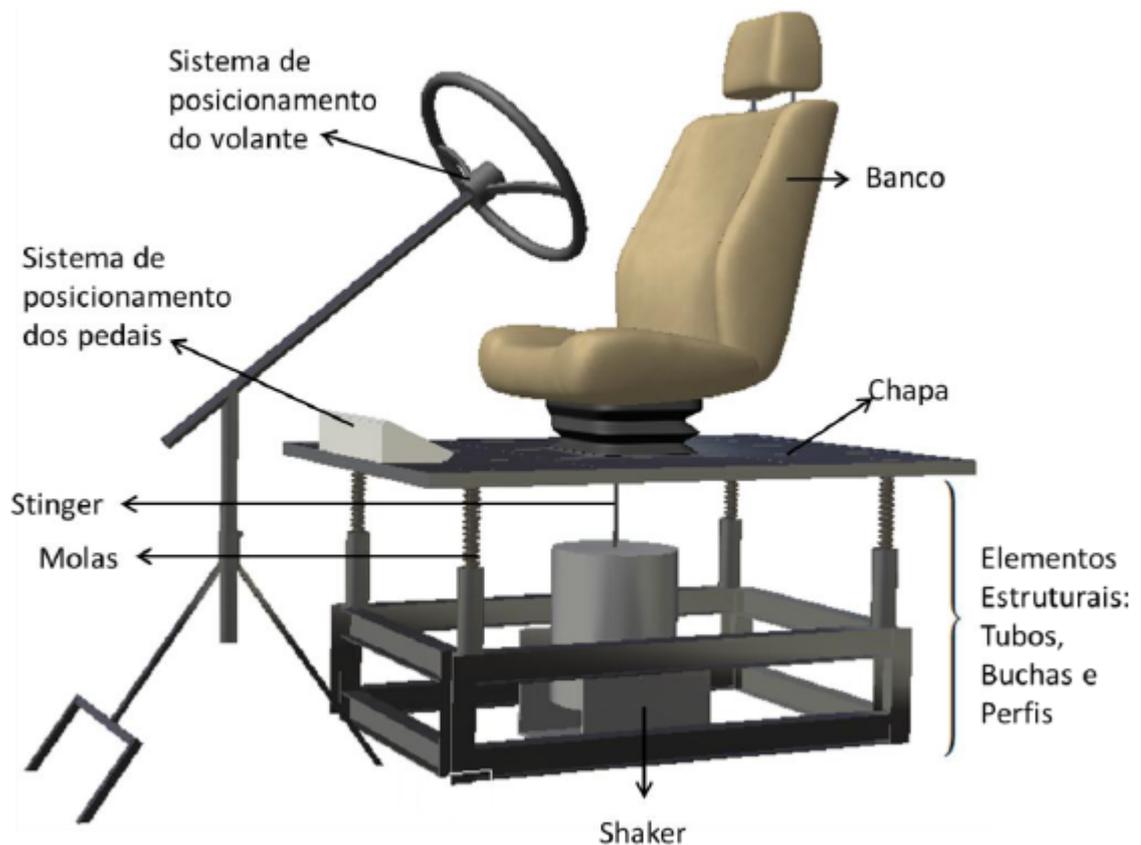


Figura 6 – Desenho final em CAD da bancada. (Moore (2017))

Após este processo, foi feita simulação no software *Catia V5R19®* para validar o dimensionamento segundo requisitos da NHO 09 (FUNDACENTRO, 2013a). A estrutura simulada foi simplificada para 2 graus de liberdade. Ao fim, o modelo se mostrou satisfatório, segundo Moore (2017).

A partir daí, o autor construiu uma bancada física para realizar processo experimental *in situ*. Os instrumentos utilizados foram um HVM 100 (*Human Vibration Measurement 100*), acelerômetro triaxial, *Seat Pad*, condicionadores de sinal, amplificador de sinal, placa de aquisição e gerador de sinal.

Foram realizados 3 experimentos a fim de verificar sob quais condições a amplitude do gerador de sinal e qual os ganhos do amplificador são necessários para proporcionar as condições técnicas da NHO 09 (FUNDACENTRO, 2013a). A Figura 7 apresenta onde foram posicionados o *Seat Pad* e a bancada com o participante.



Figura 7 – Posicionamento do sensor no assento e bancada completa com participante. (Moore (2017))

Para o primeiro experimento, o *seat pad* foi posicionado no assento automotivo e conectado ao HVM 100. O teste foi realizado por 2 minutos. Após isto, foi adicionado um ocupante pesando 75kg. A amplitude do gerador de sinal e ganho do amplificador foram mantidos. Além disso, o *seat pad* foi substituído por um acelerômetro triaxial. Já para o segundo experimento, Moore mediu a vibração em três pontos na plataforma, no assento e no shaker. A amplitude do gerador de sinais e o ganho do amplificador foram mantidas iguais ao do primeiro experimento. Por fim, para o último experimento, somente foi trocado o tipo de assento. O teste durou 30 segundos.

Quanto aos dados experimentais analisando dois tipos diferentes de assento, Moore (2017) concluiu que foi possível observar um aumento de transmissibilidade de vibração entre a plataforma e o banco, o que não inviabiliza o projeto, porém sendo necessária a realização de um pré-projeto.

O trabalho de Moore (2017) é importante pois percorre tanto o caminho de simulação experimental, quanto medição *in situ*, abrangendo a análise de vibrações de forma ampla e conexa com as que serão utilizadas neste trabalho.

Os artigos realizados por Nawayseh e Griffin (2005), Toward e Griffin (2009) e Moore e Nunes (2016) são importantes pois apresentam um estudo referente ao posicionamento do assento e do condutor permitindo assim entender a forma como a vibração atua em diferentes situações ergonômicas.

2.2 Vibração veicular

A saúde ocupacional é um assunto relevante dentro do contexto de saúde pública, segundo Lopes (2012). O autor estudou a vibração de corpo inteiro em diferentes colhedoras de cana-de-açúcar durante a operação de colheita. O trabalho se baseia na metodologia da norma ISO 2631 (ISO, 1997). Na Figura 8 é mostrado o tipo de sensor utilizado e seu

local de fixação.



Figura 8 – Sensor HVM 100 no *Seat Pad* e sua fixação no assento do condutor. (Lopes (2012))

A aquisição de dados foi feita durante a jornada de 8 horas de trabalho durante o dia em solo seco, com erosões e inclinação de aproximadamente 10° , os dados utilizados para análise foram a aceleração equivalente (Aeq) e a soma de cada registro dos eixos triaxiais (x,y,z).

O autor conclui que todos os condutores foram expostos a altos níveis de vibração, o que pode acarretar no futuro doenças relacionados com articulações e coluna vertebral. Um dos fatores que mais influenciaram na análise foi o fato que nenhum dos operadores utilizavam cinto de segurança durante o trabalho, além do fato que durante a medição em uma das colhedoras o condutor deixou a porta do veículo aberta.

Deste modo, Lopes (2012) conclui também que pode se considerar outros fatores referentes ao solo como depressões, ondulações, pedras e relacionados a colhedora como esteira metálica, amortecedores do tipo coxim.

De forma similar, Sezgin e Arslan (2012) desenvolveram um estudo utilizando um veículo não linear, realizando análise laboratorial a fim de observar os efeitos de vibração na direção vertical nesses veículos na posição do condutor, como mostra a figura 9 e a figura 10.

A estrutura do carro e as suas rodas foram considerados corpos rígidos e, para o modelo do corpo humano, foram consideradas massas concentradas que representam diferentes segmentos corporais interligados por molas e amortecedores. O modelo foi simulado por meio do modo de controle deslizante. Segundo os autores, sua abordagem é reconhecida como uma das ferramentas mais eficientes de projeto de controlador robusto para plantas dinâmicas não-lineares de alta ordem e complexidade.

O artigo conclui que em geral os ocupantes, neste caso o condutor, são os que mais

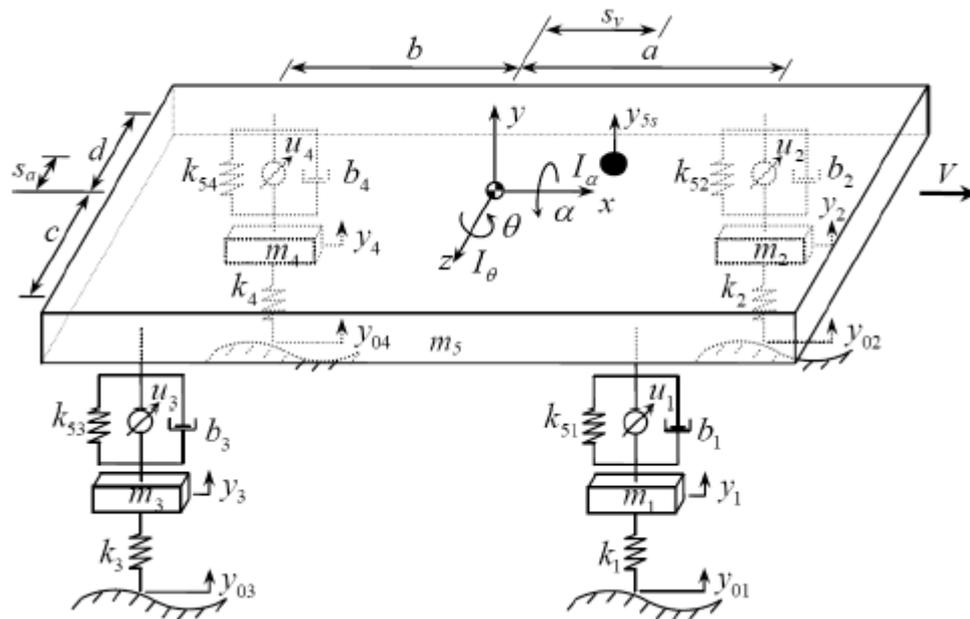


Figura 9 – Modelo não linear utilizado do veículo e modelo corpo humano. (Sezgin e Arslan (2012)).

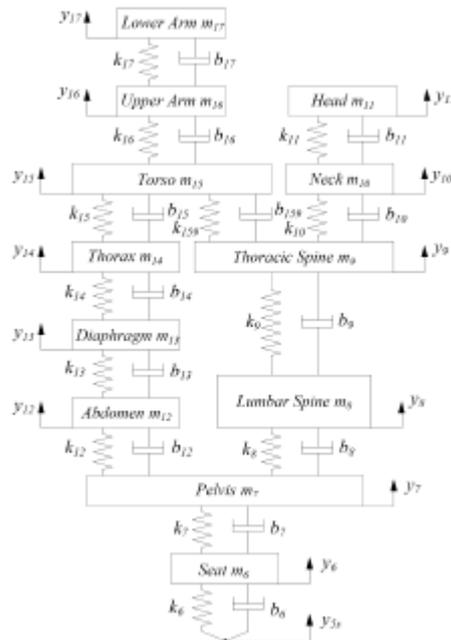


Figura 10 – Modelo não linear utilizado do veículo e modelo corpo humano. (Sezgin e Arslan (2012)).

sofrem com a faixa de frequência de 4Hz a 10Hz. Isto se dá porque algumas partes do corpo humano coincidem com as frequências automotivas, levando, assim à ressonância.

Semelhantemente, preocupados com a exposição contínua e longa a vibrações de corpo inteiro, que podem causar degradação sistemas do corpo humano, como cardiovascular, cardiopulmonar, nervoso, entre outros, Nunes e Silva (2015) desenvolveram estudo a fim de analisar esta exposição em condutores de ônibus, em conformidade com a norma

NR15 (BRASIL, 2015), que limita a exposição ocupacional.

O procedimento experimental foi realizado com 16 participantes em diferentes rodovias localizadas em diferentes regiões do Brasil e 15 ônibus diferentes, a aquisição dos dados foi feita a partir de um HVM 100 e um sensor triaxial de assento. É mostrado na figura 11 como os materiais foram fixados.



Figura 11 – Locais onde foram fixados acelerômetro no *Seat Pad* e HVM 100. (Moore e Nunes (2015))

O objetivo principal deste artigo é estimar os parâmetros requeridos na norma NR15 a exposição diária de 8 horas, foram obtidos os dados de aceleração normalizada (aren) e a dose de vibração valor total (VDVR).

Após a análise dos dados óbitos as autoras concluíram que 81 % dos motoristas estavam expostos a altos valores de vibração que podem causar problemas de saúde, mas estes motoristas não estiveram sujeitos a insalubridade. Outro resultado considerado interessante pelas autoras é que ao realizar a medida de VDVR para cada rota a maior média foi encontrada para rotas na região centro-oeste e nordeste e o menor valor foi encontrado em estradas privatizadas.

Em outro estudo, Silva e Nunes (2016) analisaram a vibração de corpo inteiro em quatro motoristas do sistema de ônibus BRT (*Bus Rapid Transit*) em Brasília-DF, que consiste em um sistema de transporte público baseado no uso de ônibus que operam em uma faixa de rodagem exclusiva. O trabalho foi realizado de acordo em conformidade com a norma ISO 2631 (ISO, 1997).

Foram dois os modelos de ônibus utilizados no experimento: o padrão e o articulado. Os equipamentos de medição utilizados foram: um medidor de vibrações HVM 100 e um acelerômetro triaxial de assento, os quais foram fixados como mostra a figura 12.

Os dados obtidos dos sensores foram calculados com os valores de aceleração RMS em todas as direções, valor total ponderado, valor de dose de vibração (VDV) e aceleração



Figura 12 – Disposição dos equipamentos utilizados. (Silva e Nunes (2016))

resultante de exposição normalizada para uma jornada de 8 horas de trabalho. Assim, as autoras concluíram que o maior valor de aceleração RMS encontrado foi na direção Z equivalente a 7,7% a mais em ônibus articulados, devido a sua massa ser maior que a dos ônibus padrões.

Outro ponto observado por Silva e Nunes (2016) foi que comparando os critérios das normas NHO 09 (FUNDACENTRO, 2013a), ISO 2631-1 (ISO, 1997), BS 6841 (BSI, 1987) e Diretiva Europeia 44/2002 (UNIÃO EUROPÉIA, 2002), os motoristas não foram expostos a níveis de vibrações prejudiciais à saúde.

Em contrapartida, segundo estudo de Barone, Mongelli e Tassitani (2016), durante a condução de um veículo, os ocupantes também estão dispostos ao aumento e redução da velocidade várias vezes durante um trajeto e a descontinuidade do tipo de asfalto e seu nível como quebra-molas e buracos. Assim, os autores realizaram um estudo de índice de conforto (IC) relacionados a estes fatores. Os testes foram realizados com cinco diferentes modelos de carros das seguintes classes: *SUV*, *sedan*, *sedan sport*, compacto e minivan. O local dos testes foi uma estrada em uma distância de 5km pavimentada com presença de quebra-molas.

Os autores concluíram que, para velocidade acima de 37km/h o perfil de pista estudado foi considerado desconfortável, já para baixas velocidades o índice de conforto alcança níveis confortáveis para o motorista.

Além disso, o sistema de transporte público também expõe seus ocupantes a diferentes acelerações no percurso e vibrações de corpo inteiro (VCI), segundo Neto e Gomes



Figura 13 – Posicionamento do sensor no assento (BARONE; MONGELLI; TASSITANI, 2016)

(2017). Os autores realizaram um estudo em trens, um novo e um antigo, na cidade de Porto Alegre.

As medições foram realizadas no assento, encosto e nos pés dos participantes como mostra a Figura 14. Os dados coletados foram analisados por picos de aceleração rms e aplicação de filtros de frequência especificados nas normas ISO 2631 (ISO, 1997), NHO 09 (FUNDACENTRO, 2013a) e NR 15 (BRASIL, 2015).

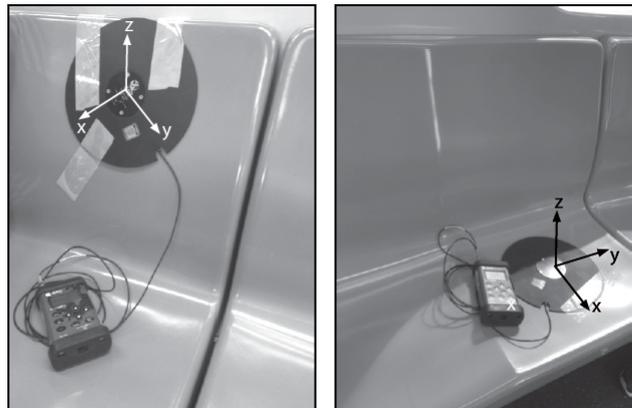


Figura 14 – Posição dos sensores (NETO; GOMES, 2017)

Os autores concluem que diante dos dados obtidos os índices de conforto estão aceitáveis para ambos trens apesar de um dado apresentar “levemente confortável” para o modelo mais antigo em uma situação de exposição de 8 horas, a qual é difícil que aconteça para um usuário, somente neste caso estaria alcançando um índice preocupante de exposição à vibração.

Assim, para a norma NR 15 (BRASIL, 2015), os valores para dose de vibração e vibração de exposição diária mostraram se aceitáveis os valores encontrados nas medições assim a conclusão final do artigo indica que os passageiros da empresa de trens de Porto Alegre (Trensurb) não correm risco de saúde para este tipo de exposição à vibração.

Park et al. (2017) também realizaram testes para analisar o conforto de passageiros

em veículos de passeio quando as vibrações do motor se assemelham a frequências das peças do compartimento de motor. O procedimento experimental foi dividido em duas partes, sendo elas.

Primeiramente foi feita a preparação do carro para aquisição dos dados de funcionamento, veículo utilizado foi um sedan de tamanho médio e motor 2.0 as medições foram realizadas em marcha lenta antes e durante o funcionamento da ventoinha do carro funcionar. Estes dados foram utilizados para criação de um mapa de frequência para o simulador.

A segunda parte do experimento foi a simulação laboratorial de conforto, foram avaliados o conforto a este tipo de vibração de nove participantes, foi montado um assento semelhante ao encontrado em veículos de passeio com encosto a 103° e ajustado de uma forma que cada participante ficasse com os pés bem apoiados ao chão. Durante todo processo de medição cada indivíduo foi orientado a permanecer com as mãos apoiadas ao joelho de forma confortável.

As Figura 15 e 16 demonstram a bancada para aquisição de dados simulação do mapa de frequência e posição para análise de conforto.

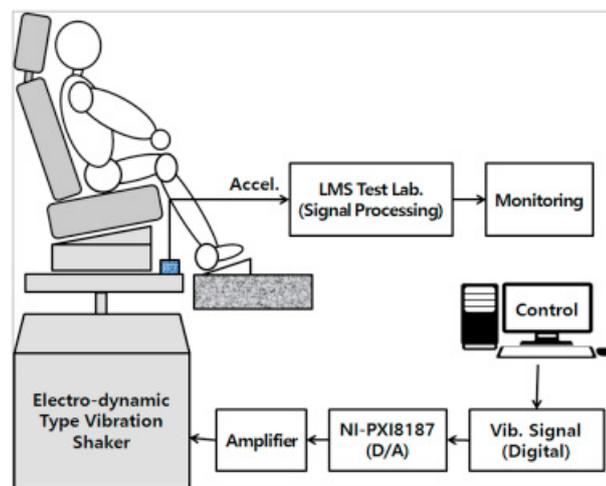


Figura 15 – Bancada de simulação e posição dos participantes (PARK et al., 2017).

Cada teste teve duração de 5 segundos para aplicação das frequências de referência e depois as frequências de batimento, durante e após a pausa foram realizadas perguntas aos participantes as quais se referiam a desconforto e se eles conseguiriam diferenciar os tipos de vibrações aplicadas.

A conclusão dos autores é de que as vibrações de batimento foram associadas a uma sensação maior de desconforto pelos participantes.

É notável a tendência dos autores a realizarem medições principalmente na posição do condutor levando em consideração que esta posição sempre possuirá um indivíduo, porém, os passageiros também são afetados pelas transmissões de vibrações dos veículos

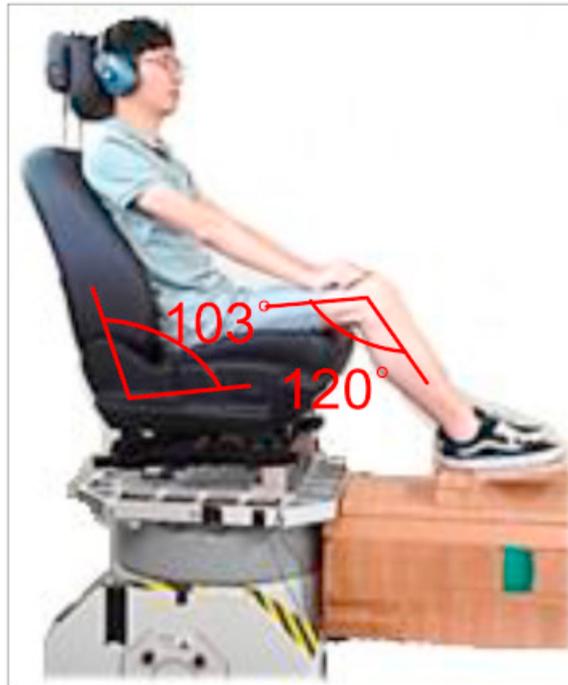


Figura 16 – Bancada de simulação e posição dos participantes (PARK et al., 2017).

dado o estudo de Neto e Gomes (2017). O conforto veicular também é bastante abordado pelos autores pelo fato que a frota de automóveis mundial vem aumentando tornando o trânsito em cidades mais lento acarretando assim em um maior período de tempo dentro dos veículos.

Como relação a instrumentação é possível observar que se utiliza medidores de vibração de corpo inteiro acompanhado de um Seat Pad e outros acelerômetros para aquisição dos dados de análise, a utilização das normas ISO 2631 (ISO, 1997) para montagem e NHO 09 (FUNDACENTRO, 2013a) para análise de insalubridade e exposição a níveis de vibração.

Para conclusão deste capítulo observou-se que pouco há sobre vibração em passageiros, encontrou-se somente um artigo relacionado a este fato, o que permite uma abordagem diferente relacionada a vibração em veículos, no caso deste trabalho veículos de passeio. A quais níveis e se são danosas à saúde segundo as normas.

3 Fundamentos Teóricos

Neste capítulo serão apresentados as fontes de vibrações veiculares e normas referentes a vibração de corpo inteiro (VCI) e vibração conjunto mão e braço (VBM). No item 3.1 explica-se as principais fontes de vibrações e seus componentes, no item 3.2 é esclarecida a interação do sistema de suspensão e a pista 3.3 apresenta as normas referentes a VCI e VBM.

3.1 Vibração veicular

Silva (2006) define que os veículos são projetados pela incorporação de engenharia de vibração, não só para garantir a integridade estrutural e operacionalidade funcional, mas também para alcançar necessários níveis de qualidade de passeio e conforto.

O veículo automotor apresenta várias fontes de vibrações, porém as principais que podem ser consideradas são vibrações provenientes do motor e seus acessórios, eixo de transmissão, vibrações dos pneus e suspensão os quais dependem da pista de rodagem, sistema de exaustão e acessórios.

O motor pode ser considerado uma das principais fontes de vibração do veículo. A partir do motor as vibrações são transmitidas para a carroceria e conseqüentemente sentidos pelos ocupantes do automóvel. As vibrações totais provenientes do motor podem ser divididas, basicamente em vibração devido ao processo de combustão e vibração devido às forças mecânicas (MONTEIRO, 2013).



Figura 17 – Motor e fontes de vibração

As vibrações devido ao processo de combustão se dão através da reação de combustão que acontecem no interior da câmara de combustão, já a vibrações devido às forças

mecânicas são causadas pelo impacto do pistão na parede dos cilindros e também estão presentes as vibrações causadas pelas válvulas de admissão.

As vibrações induzidas pelo mecanismo, que é a força de excitação reversível, são geradas pelo movimento do eixo do virabrequim e mudam de direção segundo as características do motor produzindo forças de inércia. Essas forças contribuem para uma apreciável amplitude de vibração que aceleram os componentes do motor, que dependendo do valor das folgas entre seus componentes podem produzir impactos que induzem vibrações na estrutura do motor (GERGES, 2005).

Além disso, outros componentes como câmbio, alternador, eletroventilador, motor de partida, correias e bombas de combustível também emitem vibrações quando presentes em condições dinâmicas do veículo em aceleração, desaceleração velocidade constante e marcha lenta.

O eixo de transmissão é responsável pela transferência de torque do motor para as rodas, também atua como regulador de potência para a relação torque e velocidade. Por estar conectada diretamente ao motor o eixo de transmissão atua como transferência de energia vibratória para os demais sistemas e componentes do carro.

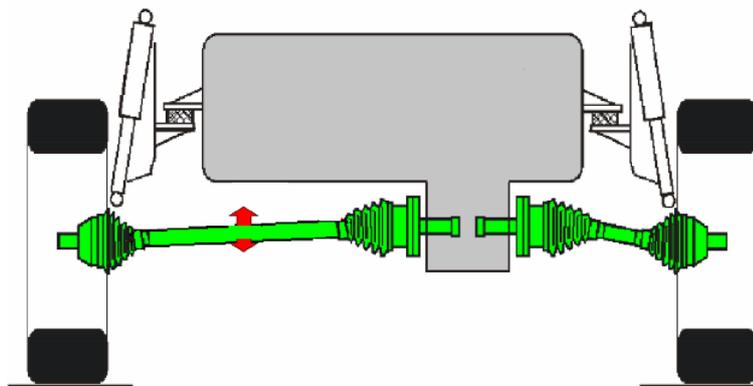


Figura 18 – Eixo ligado ao motor.

As excitações causadas por sua vibração se destacam perante outras partes vibratórias por apresentarem altas magnitudes vibro-acústicas e ampla faixa de frequência.

Para as vibrações provenientes da suspensão primeiramente podemos definir o sistema de suspensão veicular como um mecanismo que possui componentes como molas, amortecedores e ligações que conectam a carroceria as rodas assim reduzindo a vibração gerada sob a carroceria e conseqüentemente para os passageiros ao operar em determinado terreno (AGHARKAKLI; SABET; BAROUZ, 2012).

Para os pneus a relação de vibração se dá pelo fato da deformação periódica de suas paredes laterais, da banda de rodagem e da carcaça quando em contato com a superfícies do solo.



Figura 19 – Sistema de suspensão veicular.

Os dois sistemas estão relacionados a condição do pavimento da pista pois se for de má qualidade ou seja com elevações e depressões maior será a deformação do pneu levando assim a uma maior compressão na mola da suspensão e em seus componentes levando ao passageiro do veículo uma maior taxa de vibração.



Figura 20 – Pneu e seus componentes.

Os acessórios veiculares também podem constituir uma porta de entrada de vibração visto que estão ligados a estrutura do veículo, os quais geralmente são pequenos motores elétricos que atuam em apoio a principais sistemas do veículo, alguns exemplos são: sistema de arrefecimento, sistema para acionamento do vidro da porta, alternador, limpador de para-brisa e bomba de partida a frio.

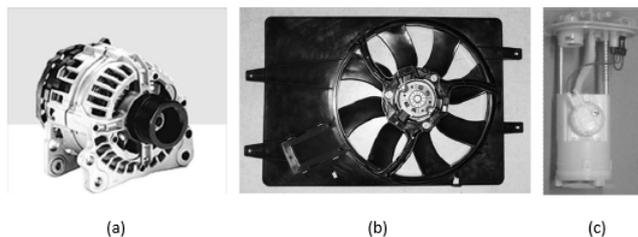


Figura 21 – Fontes de vibrações de sistema de acessórios (a) Alternador, (b) Eletro-Ventilador e (c) Grupo de alimentação de combustível. (FONTE: NVH – Fiat automóveis S.A).

Por fim vibrações devido ao sistema de exaustão, que se dá devido a excitações do gás e as vibrações do motor as quais são transmitidas a carroceria através dos pontos de fixação.

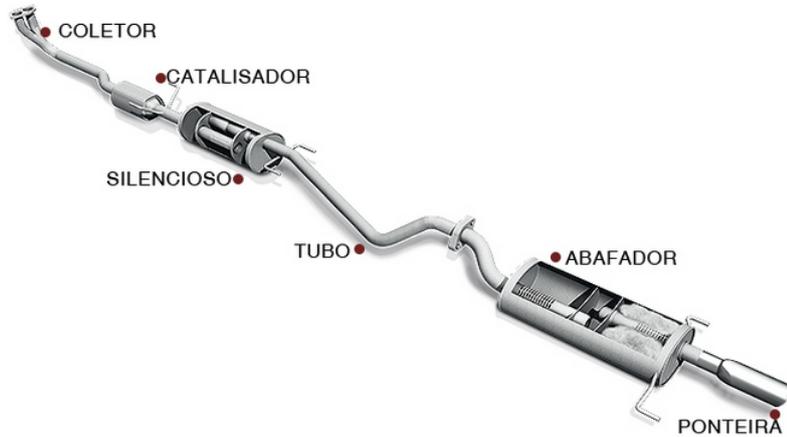


Figura 22 – Principais componente do sistema de exaustão

Definida as principais fontes de vibração dos veículos automotores podemos entender o caminho que a vibração percorre até chegar nos passageiros e motoristas. O meio de transmissão de vibração se dá através da estrutura ([TRAINING, 1996](#)).

Está transferência excita a estrutura da carroceria através de ondas de baixa frequência, estas oscilações são sentidas pelos ocupantes ou ouvidas como ruído, como a carroceria é a união de diferentes partes soldadas ou conectadas as quais possuem grandes aberturas como janelas, porta-malas, portas, tampa do capô. Todos os componentes citados apresentam modos de vibração e ressonância em uma grande faixa de frequência.

Para [TRAINING \(1996\)](#) assim o corpo da carroceria pode ser considerado preferencialmente elástico, assim a impedância junto a certas frequências de ressonância é considerada baixa entre 30 a 40 Hz na parte frontal do veículo.

3.2 Perfil de pista

O desvio da superfície da rodovia em relação a um plano de referência, que afeta a dinâmica dos veículos, a qualidade do rolamento e as cargas dinâmicas sobre a via, esta definição apresenta dois perfis de pista para o veículo são eles: transversal e longitudinal.

O perfil transversal de um pavimento é útil principalmente para a verificação de deformações superficiais plásticas que se formam normalmente nas trilhas de roda devido à ação do tráfego e que apresentam sérios riscos à segurança quando o pavimento está molhado, pois em tais deformações pode haver acúmulo de água superficial que facilita a perda do contato pneu/pavimento.

Já, o perfil longitudinal trata-se das irregularidades da pista e textura do pavimento, este perfil relaciona-se a todos elementos que caracterizam um bom pavimento.

As irregularidades do pavimento são definidas como a principal fonte de excitação externa do veículo GILLESPIE(1992). A qual é transmitida dos pneus, através da deformação de suas paredes laterais, para o conjunto de suspensão e seus componentes. Cabe a este sistema responder de forma eficaz a estas excitações.

3.3 Vibração de corpo inteiro (VCI) e Vibração mão e braço (VBM)

As vibrações do veículo alçam aos ocupantes através da transmissão de vibração citadas acima para a carroceria e em sequência ao habitáculo dos passageiros e motorista. Para o motorista a vibração é transmitida para seu corpo através do banco e do volante já para os passageiros ela provém somente do assento.

Segundo Griffin (2012), a vibração no corpo humano pode ser dividida em dois grandes grupos: vibração de corpo inteiro (VCI) e vibração nos segmentos mãos e braços. Para a VCI, ocorre quando a massa do corpo está apoiada sob uma superfície vibrante, no caso deste trabalho sobre o assento de um automóvel.

Já as vibrações no conjunto mão-braços ocorrem ao operar um equipamento gerador de vibrações, como por exemplo o operador de uma serra tico-tico. Figuras 23 e 25 ilustram exemplos de vibração de corpo inteiro e conjunto mão e braço.



Figura 23 – Conductor de motocicleta exposto a vibração conjunto mão e braço

Quando o corpo humano é submetido a tais vibrações podem provocar diferentes efeitos danosos a saúde como: dor de cabeça, baixa concentração, aumento da pressão sanguínea, dores abdominais, entre outros. Isso se dá pelo fato que o corpo humano é uma estrutura biomecânica complexa, composta por diferentes músculos e tecidos que podem responder de formas diferentes.

Segundo Balbinot (2001) cada parte do corpo pode amplificar ou amortecer as vibrações. A amplificação ocorre principalmente quando tal parte está em ressonância,



Figura 24 – Condutor de veículo exposto a vibração conjunto mão e braço e vibração de corpo inteiro

quando as partes do corpo vibram em frequências próximas às suas frequências naturais. As quais são apresentadas na figura 25.

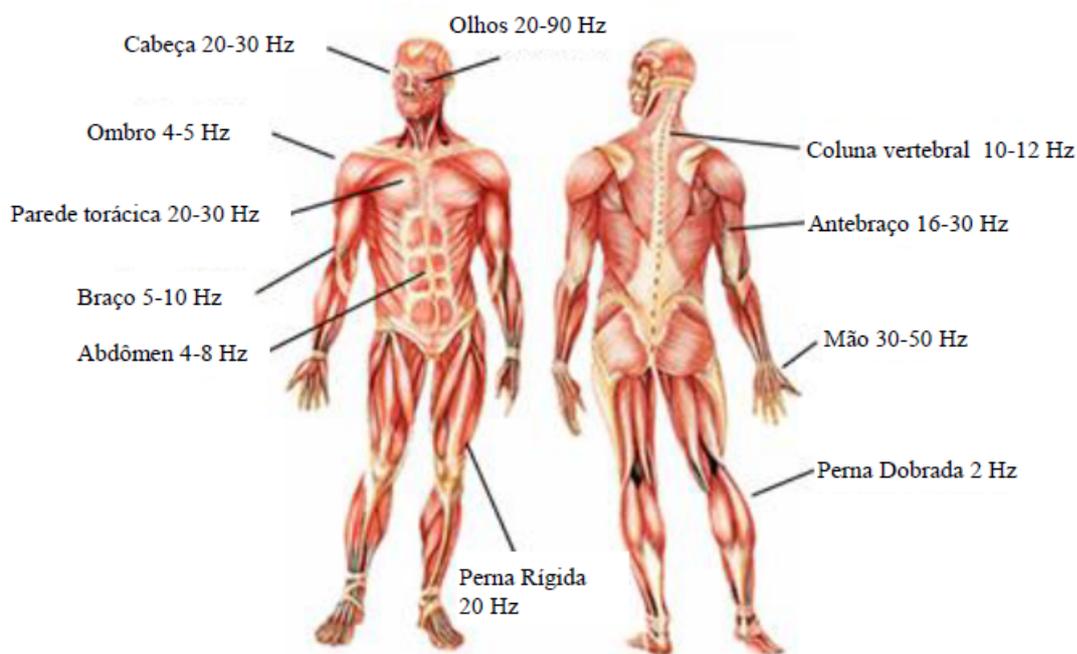


Figura 25 – Frequência naturais corpo humano. (PARDAL, 2015)

Além da frequência de vibração, outros fatores que podem potencializar os danos à saúde segundo Anflor (2003) são: postura, tensão muscular, amplitude de vibração, direção em que o corpo recebe a vibração e duração de exposição à vibração em horas.

3.4 Normas

As principais normas internacionais e nacionais referentes a vibrações de corpo humano são:

- ISO 2631-1 (ISO, 1997): Define os métodos de medição de vibrações transientes e aleatórias de corpo inteiro, como devem ser realizadas das medições. Definições básicas, curva de ponderação em frequência e sistema de coordenadas e indica os fatores preponderantes considerados aceitáveis de exposição a vibração.
- ISO 5349-1 (ISO, 2001): Aborda a exposição a vibração transmitida para a mão e o braço. Define os limites temporários de exposição e sua amplitude, métodos de medição, eixos de coordenadas e sensores que devem ser utilizados.
- ISO 8041 (ISO, 2005): Apresenta as especificações de desempenho e limites de tolerância para instrumentos projetados para medir valores de vibração, com a finalidade de avaliar a resposta humana à vibração.
- NHO 09 (FUNDACENTRO, 2013a): Tem como referência a ISO 2631 (ISO, 1997), define procedimento e critérios que possam ser utilizados para avaliar a exposição ocupacional a vibração de corpo inteiro (VCI).
- NHO 10 (FUNDACENTRO, 2013b): Tem como referência a norma ISO 5349-1 (ISO, 2001), define critérios e procedimentos para avaliação de exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços é semelhante a NHO 09 (FUNDACENTRO, 2013a), porém com pequenas particularidades.
- NR 15: Apresenta as principais atividades insalubres e define os seus limites de tolerância, a norma faz referência a NH09 (FUNDACENTRO, 2013a).

São indicadas pelas normas referentes a VCI, ISO 2631 (ISO, 1997) e NHO 09 (FUNDACENTRO, 2013a) demonstram três possibilidades de posicionamento do corpo humano. Figura 26.

Para o conjunto mão e braços a ISO 5349-1 (ISO, 2001) e NHO 10 (FUNDACENTRO, 2013b) definem também que as medições podem ser realizadas em três posições diferentes. Como mostra a Figura 27.

Referindo-se a NHO 09 (FUNDACENTRO, 2013a) são estabelecidos em seu texto procedimento de avaliação através de um limite de exposição a vibração ocupacional.

Na Tabela 1 nota-se os meios de atuação estabelecidos as medidas preventivas e corretivas. As preventivas são ações que visam minimizar a probabilidade de exposição a vibração devido ao trabalho que será realizado evitando que o limite de exposição seja excedido. Medidas estas são: monitoramento periódico da exposição a vibração, orientação aos trabalhadores, controle médico e informação.

Já as corretivas tratam-se ações que visam reduzir o nível de exposição a vibração, são elas: modificação do processo ou do trabalho, manutenção de veículos e máquinas e a redução do tempo de exposição diária.

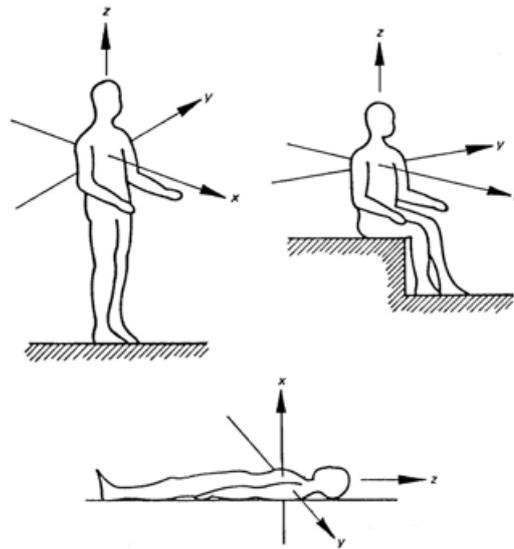


Figura 26 – Direções do sistema de coordenadas para vibrações mecânicas em seres humanos. (ISO2631-1:1997).

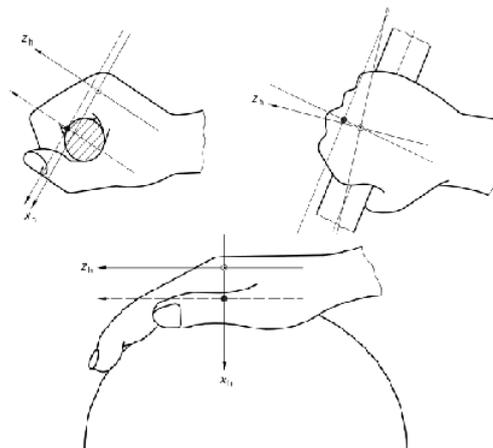


Figura 27 – Direções do sistema de coordenadas para vibrações mecânicas conjunto mão-braço (ISO, 2001).

Tabela 1 – Limites de exposição, critério de julgamento e tomada de decisão (FUNDA-CENTRO,2012).

Aren (m/s^2)	VDVR($m/s^{1,75}$)	Considerações técnicas	Atuações recomendadas
0 a 0,5	0 a 9,1	Aceitável	No mínimo manutenção da condição existente
>0,5 a <9,1	>9,1 a <16,4	Acima do nível de ação	No mínimo a adoção de medidas preventivas
0,9 a 1,1	16,4 a 21	Região de incerteza	Adoção de medida preventivas e corretiva, visando à redução da exposição diária
acima de 1,1	acima de 21	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas

Para encontrar os níveis de exposição dispostos na tabela 1 é necessário entender que estes níveis de são calculados através de dados experimentais, assim *aceleração de*

exposição normalizada (aren) é calculada segundo a NHO 09 (FUNDACENTRO, 2013a).

As medições experimentais são realizadas através da *aceleração instantânea* $a_j(t)$ em (m/s^2) ponderada, onde t é o instante de tempo em segundos e j indica uma direção (x, y, z) .

As ponderações das acelerações instantâneas em seus eixo x, y, z , estas curvas de ponderação são encontradas na ISO 2631 (ISO, 1997), W_k é o eixo z e W_d para o eixo x e y , Figura 28.

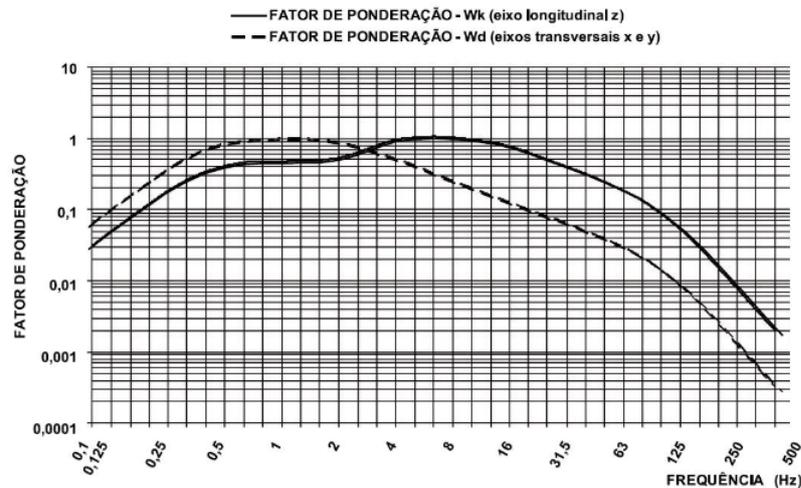


Figura 28 – Curva fator de ponderação (Frequências vs Fator de ponderação)- ISO 2631 (ISO, 1997).

As curvas de ponderação são utilizadas pois estas formas diretas de quantificar as vibrações não levam em conta os possíveis efeitos das frequências (Beker, 2005). Assim para corrigir este problema são usadas curvas de ponderações para movimentos oscilatórios do corpo, as quais são funções de frequências com atribuições de pesos diferentes para movimentos que apresentam frequências diferentes. Para quantificar as vibrações nas frequências em que o corpo humano apresenta melhores resposta.

Logo, pode-se calcular a aceleração média $(am_j(t))$ em (m/s^2) , através da fórmula:

$$am_{ij} = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a_j^2(t) dt} \quad (3.1)$$

Onde t_1 e t_2 são os tempos de medição.

Para calcular a *aceleração média resultante* (am_r) em m/s^2 , usaremos a equação.

$$am_r = \sqrt{f_x am_x^2 + f_y am_y^2 + f_z am_z^2} \quad (3.2)$$

Onde f_x, f_y, f_z são fatores multiplicadores, este trabalho os valores utilizados para vibração de corpo inteiro (VCI) serão $f_x = 1,4$, $f_y = 1,4$ e $f_z = 1$ e para vibração conjunto mão e braços é 1.0 para todos.

É necessário calcular a *aceleração resultante de exposição parcial (arep)* em m/s^2 , que tem apresenta a formula.

$$arep_i = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s arm_{ik} \quad (3.3)$$

Onde "s" é o número de amostras da componente de exposição "i" que foram mensuradas e arm_{ik} à késima amostra selecionada dentre as repetições da componente de eposição "i".

Com os valores de *arep* podemos calcular a *aceleração resultante de exposição (are)* em m/s^2 que corresponde à aceleração média resultante da exposição diária, através da equação:

$$are = \sqrt{\frac{1}{T} n_i arep_i^2 T_i} \quad (3.4)$$

Onde: " $arep_i$ " é a aceleração resultante de exposição "i" ao longo da jornada de trabalho; " n_i " é o número de repetições da componentente de exposição "i" ao longo da jornada de trabalho; " T_i " é o tempo de duração da componente de exposição "i"; m é número de componente de exposição que compoem a exposição diaria; "T" é o tempo de duração da jornada de trabalho.

Por fim a *aceleração resultante de exposição normalizada (aren)* em m/s^2 que corresponde á *are* convertida para uma jornada diária de 8 horas, é determinada por:

$$aren = are \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (3.5)$$

Onde "T" é o tempo de duração da jornada diária de trabalho e " T_0 " é o tempo de exposição

A norma NH09 define também o *Valor de Dose de Vibração (VDV)*, os quais são importantes quando o ser humano é submetido a paradas repentinas, choques ou exposto a solavancos.

O valor de *VDV* é encontrado através da equação :

$$VDV_j = \sqrt[4]{\int_0^t [a_j]^4 dt} \quad [m/s^{1,75}]$$

Onde: " a_j " é a aceleração intântanea ponderada em frequência e o "t" é o tempo de duração da medição.

A equação para calcular o *valor da dose de vibração (VDV_{ji})* em que corresponde ao valor obtido a partir do método de dose de vibração à quarta potência determinado na direção "j", o qual corresponde aos eixos ortogonais "x", "y", e "z".

$$VDV_{ji} = \left[\sum_{k=1}^s (VDV_{jik})^4 \right]^{\frac{1}{4}} \quad m/s^{1,75}$$

Onde VDV_{ji} corresponde ao valor de dose de vibração relativa à i -ésima amostra selecionada dentre as repetições da componente de exposição " i " e " s " é o número de amostras de componente " i " que foram mensuradas.

Assim pode-se calcular o *Valor de dose de vibração da exposição parcial* ($VDV_{exp_{ji}}$). Antes precisa-se do tempo total utilizado para as medições das " s " amostras representativas da componente de exposição " i " em estudo através da equação:

$$T_{amos} = \sum_{k=1}^s T_k$$

Onde " T_k " é o tempo relativo à k -ésima amostra selecionada dentre as repetições da componente de exposição " i " que foram mensuradas, " s " o número total de amostras da componente de exposição " i " que foram mensuradas.

Logo, para o $VDV_{exp_{ij}}$ temos :

$$VDV_{exp_{ij}} = f_j X VDV_{ji} X \left[\frac{T_{exp}}{T_{amos}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad [m/s^{1,75}] \quad (3.6)$$

Onde " T_{exp} " é o tempo total de exposição a vibração, ao longo de toda jornada de trabalho, " f_j " é o fator de multiplicação em função do eixo considerado.

O *Valor dose de vibração representativo da exposição ocupacional diária de cada eixo de medição* (VDV_{exp_j}) que é o valor da dose de vibração representativo da exposição ocupacional diário em cada eixo de medição é:

$$VDV_{exp_j} = \left[\sum_{k=1}^m (VDV_{exp_{ji}})^4 \right]^{\frac{1}{4}} \quad [m/s^{1,75}]$$

Onde " m " é o número de componentes de exposição que compõem a exposição diária.

Por fim temos o valor de *Dose de Vibração resultante* ($VDVR$) que é o valor representativo da exposição ocupacional diária, através da equação:

$$VDVR = \left[\sum_j (VDV_{exp_j})^4 \right]^{\frac{1}{4}} \quad [m/s^{1,75}]$$

Para a NHO 10 (FUNDACENTRO, 2013b) que se refere a vibrações no conjunto mão-braço muda-se os fatores de ponderação. As ponderações das acelerações instantâneas em seus eixo x, y, z, estas curvas de ponderação são encontradas na ISO 5349-1 (ISO, 2001). Figura 29

A norma para exposição a vibração para mãos e braços também define valores para procedimento de avaliação através de um limite de exposição a vibração ocupacional, Tabela 2

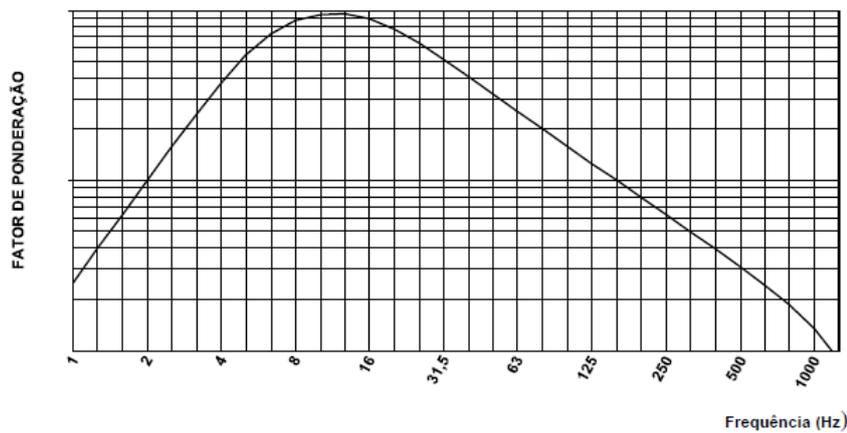


Figura 29 – Curva fator de ponderação em frequência par vibração transmitida a mãos e braços Wh (ISO, 2005)

Tabela 2 – Critérios para julgamento e tomada de decisão conjunto mão e braços. (FUNDACENTRO 2012)

Aren (m/s^2)	Considerações técnicas	Atuações recomendadas
0 a 2,5	Aceitável	No mínimo manutenção da condição existente
>2,5 a <3,5	Acima do nível de ação	No mínimo a adoção de medidas preventivas
3,5 a 5,0	Região de incerteza	Adoção de medida preventivas e corretiva, visando à redução da exposição diária
acima de 1,1	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas

A NHO 10 (FUNDACENTRO, 2013b) apresenta atuações recomendadas para os valores encontrados no cálculo da *aceleração resultante de exposição normalizada (aren)*. As quais foram divididas em medidas preventivas e corretivas.

As medidas preventivas devem consistir em informar e orientar os trabalhadores sobre eventuais limitações de proteção das medidas de controle, sua importância e seu uso correto, informar seus superiores caso percebam níveis anormais de vibração no uso de algum maquinário e o controle médico dos trabalhadores expostos a vibração em mãos e braços com manutenção de histórico de exposições anteriores.

Entre as diversas medidas corretivas podemos citar: modificação do processo ou da operação de trabalho, manutenção de ferramentas com enfoque nas que apresentam eixos excêntricos, troca de componentes gastos ou defeituosos como mancais, rebolo e outros até mesmo a troca de componentes novos quando estes apresentam vibração excessiva e por fim redução da exposição diária.

4 Metodologia

de fixação dos sensores serão apresentados no item 4.2, indivíduo que participa da medição no item 4.3, trajeto no item 4.4, planejamento experimental, item 4.5 e procedimento experimental item 4.6.

Para escolha da instrumentação foi feita em consulta com a norma ISO 8041, a qual determina os equipamentos que podem ser utilizados para realização de medição de corpo inteiro e conjunto mão e braço. Todos os materiais escolhidos estão de acordo com a norma.

As normas já citadas no capítulo 3.4 não especificam requisitos para os modelos de veículos onde serão medidas as vibrações. Logo, para escolha dos modelos utilizados neste trabalho foram considerados as exigências do aplicativos de transporte privado, são elas:

- Carro quatro portas
- Com cinco a oito lugares
- Ar Condicionado
- Mecânica em perfeito estado
- Data de fabricação superior a 2008

Os itens que fazem referência a estética dos modelos não foram consideradas, ou seja, utilizou-se como critério de escolha a mecânica em perfeito estado e carros com fabricação apartir do ano de 2008. Outro requisito imposto neste trabalho, não consta nos citados anteriormente, é a condição de que todos os veículos apresentem características de fábrica, ou seja, nenhuma alteração na suspensão, rodas e pneus.

4.1 Instrumentação utilizada e parâmetros de análise

Segundo as normas já citadas, os sistemas de medição deve ser compostos principalmente de medidores integradores e transdutores do tipo triaxial (acelerômetros) que atendam aos requisitos da Norma ISO 8041 (ISO, 2005).

O sistema para aquisição de dados para vibração de corpo inteiro e conjunto mão-braço se dá por intermédio de equipamentos específicos. Para armazenamento de dados provenientes dos sensores será utilizado o equipamento HVM 100 (Human Vibration Meter).



Figura 30 – Human Vibration Meter (GROM, 2018) e (KJAER, 2018)

Este equipamento portátil, Figura 30, coleta os dados de acordo com as especificações da norma ISO 2631-1 (ISO, 1997). Mede três canais entradas simultaneamente.



Figura 31 – Acelerômetro triaxial (Larson Davis)

Já os sensores utilizados serão acelerômetros triaxiais (ICP) que possuem sensibilidade de 100 mV/g e serão posicionados nos pontos de medição, conforme sugere a norma NHO 09 (FUNDACENTRO, 2013a).

Para a medição de VCI será utilizado o do tipo SeatPad Modelo SEN027-CBL com sensibilidade de 100 mV/g e faixa de frequência de 0,5 KHz a 1 KHz. Figura 32. O qual apresenta o formato de um disco flexível de material semi-rígido padronizado, no qual tem o papel de não alterar as propriedades dinâmicas da interface do corpo e do banco, além de mover juntamente com toda a estrutura.

Para as medições de VBM será utilizado o mesmo acelerômetro, porém com um adaptador como sugere a norma NHO 10 (FUNDACENTRO, 2013b), para obter uma maior



Figura 32 – Triaxial Seat Pad Sensor, Modelo SEN027-CBL (KJAEER, 2018)

proximidade em relação a fonte de vibração. Figura 33 apresenta um exemplo de como o adaptador encaixa não mão do operador de uma britadeira.



Figura 33 – Adaptador tipo “T”. (Larson Davis)

Antes da realização de cada medição a norma especifica que devem ser feitas calibrações dos acelerômetros afim de verificar sua calibração. O calibrador utilizado será de modelo PCB 394C06 SN LW6208, de acordo com a figura 34.



Figura 34 – - Exemplo de calibração de acelerômetro, na foto estão presente HVM 100 e Calibrador de acelerômetros (GROM, 2018)

O aparelho HVM 100 possibilita à os resultados com os fatores da curva ponderação que serão empregados, eixos de coordenadas utilizados, entre outras funções.

4.2 Modelo dos veículos escolhidos

Realizou-se as medições em três modelos diferentes de carros, o quais foram selecionados utilizando os critérios de mecânica em perfeito estado, data de fabricação a partir do ano de 2008 e não alteração das características de fábrica. Vale ressaltar a norma não faz nenhuma das exigências consideradas para escolha do modelo.

Estão dispostos em tabelas 3, 4 e 5 as fichas técnicas dos modelos onde realizou-se as medições.

Tabela 3 – Ficha técnica modelo 1.

Modelo 1	
Ano fabricação : 2012	Suspensão traseira : Eixo de torção
Configuração : Hatch	Suspensão dianteira : Independente, McPherson
Cilindrada : 999 cm ³	Código do motor : Firefly
Massa total : 920 kg	Largura : 1656 mm
Aro da roda : R14	Altura : 1548 mm
Câmbio : Manual 5 marchas	Público alvo : Classes A e B
Porte : Compacto	Tanque de combustível : 48 l

Tabela 4 – Ficha técnica modelo 2.

Modelo 1	
Ano fabricação : 2015/2016	Suspensão traseira : Eixo de torção
Configuração : Hatch	Suspensão dianteira : Independente, McPherson
Cilindrada : 1598 cm ³	Código do motor : Prince THP
Massa total : 1.032 kg	Largura : 1815 mm
Aro da roda : R14	Altura : 1518 mm
Câmbio : Manual 5 marchas	Público alvo : Classes A
Porte : Médio	Tanque de combustível : 60 l

Tabela 5 – Ficha técnica modelo 3.

Modelo 1	
Ano fabricação : 2012/2013	Suspensão traseira : Eixo de torção
Configuração : Monocab	Suspensão dianteira : Independente, McPherson
Cilindrada : 1995 cm ³	Código do motor : J20A
Massa total : 1.740 kg	Largura : 1730 mm
Aro da roda : R16	Altura : 1585 mm
Câmbio : Automático 5 marchas	Público alvo : Classes A
Porte : Médio	Tanque de combustível : 45 l

Quando as tabelas anteriores se referem ao público alvo é levado em consideração a classificação social feita pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2016, que considera cinco classes no Brasil são elas: A, B, C, D e E. Estes foram usados como parâmetros pois demonstram a capacidade de compra de cada grupo.

Tabela 6 – Manutenção e balanceamento dos modelos.

Características	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Pressão do pneus	30 psi	30 psi	33 psi
Quilometragem	73 188 km	51 658 km	76 667 km
Última revisão	32 134 km	30 000 km	70 000 km
Balanceamento	55 145 km	42 670 km	75 900 km

É importante ressaltar que para o processo de medição os modelos apresentados serão mantidos com as características de fábrica, ou seja, as rodas, pneus e suspensão são originais do modelo. Suas manutenções também devem estar em dia para que nenhum fator inesperado contribua para um aumento na vibração do veículo. Na Tabela 3 são apresentadas as últimas manutenções dos veículos.

Em cada modelo serão realizadas quatro medições em diferentes posições, são elas:

- Posição do motorista : Duas medições, sendo uma no assento e uma no conjunto mão e braço. Indicada na seta cor vermelho Figura 35
- Passageiro frente: no assento. Indicada na seta cor azul na Figura 35
- Passageiros traseiro lado direito: no assento. Indicada na seta cor roxa na Figura 35
- Passageiro traseiro lado esquerdo: no assento. Indicada na seta cor alaranjado na Figura 35

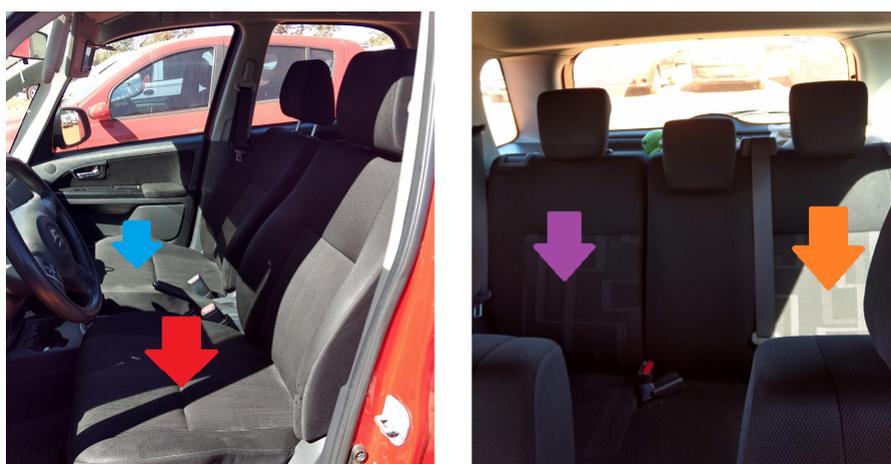


Figura 35 – Posições de medição do veículo.

4.3 Indivíduo do teste

O processo de medição VCI e VBM será realizado em somente um indivíduo para que não ocorra variabilidade de massa e ajuste dos bancos para assim o teste não ser

influenciado, esta opção se deu pois ao analisar os dados pretende-se correlacionar os modelos e acelerações encontradas as normas ISO e NHO não fazem nenhuma referência em manter o mesmo participante em toda parte experimental.

O indivíduo que participara de todas as medições e irá se posicionar sob o sensor é do sexo feminino, idade de 24 anos, peso 45 kg, índice de massa corporal (IMC) de 18,3 e altura de 1,57 m.

Como as medições também ocorreram na posição de passageiros, foi necessária um ajudante para posição do motorista, o mesmo participou de todas as medições para que assim não ocorresse nenhuma variabilidade na maneira de dirigir e que pudesse influenciar nos dados.

4.4 Definição do trajeto

O trajeto que será descrito neste capítulo foi escolhido pois apresenta pouco trânsito fora do horário de pico, tem a velocidade controlada, o que permitiria manter uma velocidade constante ou próximo a isso, poucas imperfeições no asfalto e de fácil acessibilidade e retorno em paradas bruscas do veículo.

As normas ISO e NHO não fazem referência ao tipo ou tempo do trajeto de medição, este foi escolhido levando em consideração os critérios do parágrafo anterior.

O percurso que será utilizado para realizar as medições tem uma distância total de 10,3 km o ponto de início será na saída do estacionamento da UnB Campus Gama que tem acesso para a DF-480 depois é realizado um retorno em frente ao Hipermercado Ultrabox e então retorna-se ao ponto inicial de medição.



Figura 36 – Ponto inicial do trajeto. (Fonte: Google Mapas, acesso 1 junho 2018)

A Figura 36 indica em vermelho onde será iniciado e finalizado o percurso de medição e seu acesso à via, em laranja está indicado a rodovia DF-480.

A Figura 37, apresenta na cor azul o trajeto que será realizado. A velocidade permitida na via é de 80 km, a pista apresenta poucas irregularidades no asfalto a área, mas danificada está localizada no retorno antes do Hipermercado Ultrabox, tem-se grandes imperfeições no recapeamento do asfalto e a presença de um quebra-molas. Assim o tempo médio total do percurso é de 9 a 10 min.

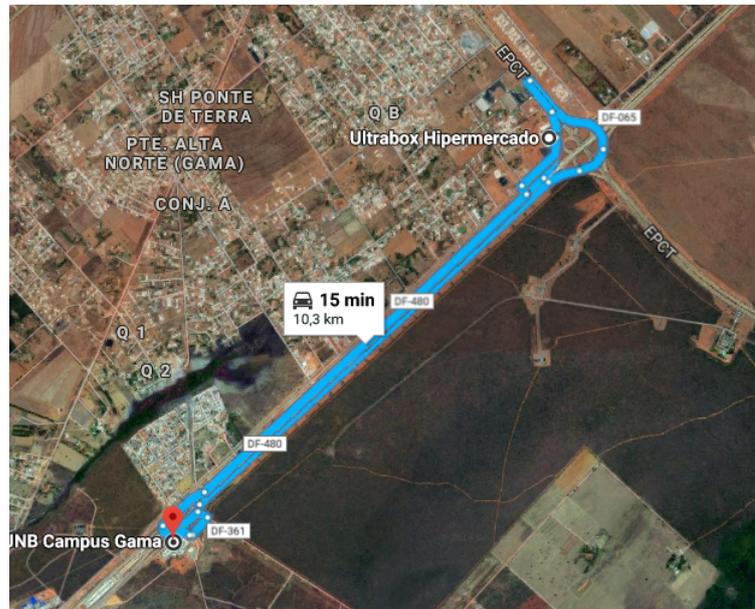


Figura 37 – Trajeto total. (Fonte: Google Mapas, acesso 1 junho 2018)

A figura 38, indica em pontos brancos no mapa os pontos críticos do asfalto onde o motorista e passageiros estão sujeitos solavancos e redução da velocidade devido ao retorno, imperfeições na pista e quebra-mola, a parte do percurso é de 419,29 metros.



Figura 38 – Pontos críticos do trajeto. (Fonte: Google Mapas, acesso 1 junho 2018)

4.5 Metodologia de medição

Foram então definidas para cada veículo a realização de quatro medições de corpo inteiro uma do conjunto mão e braço. Logo, realizou-se um total de 15 medições, para aquisição de dados configurou-se no HVM o tempo de aquisição a cada 1 segundo, assim obteve-se no total 600 dados por medição, ou seja cerca de 3000 dados em planilhas. Isto para realização de uma volta no trajeto definido, assim, com esta quantidade de dados e o número elevado de posições a serem medidas foi considerado suficiente para parte experimental deste trabalho.

A Figura 39, indica as posições das medições e suas devidas abreviaturas.

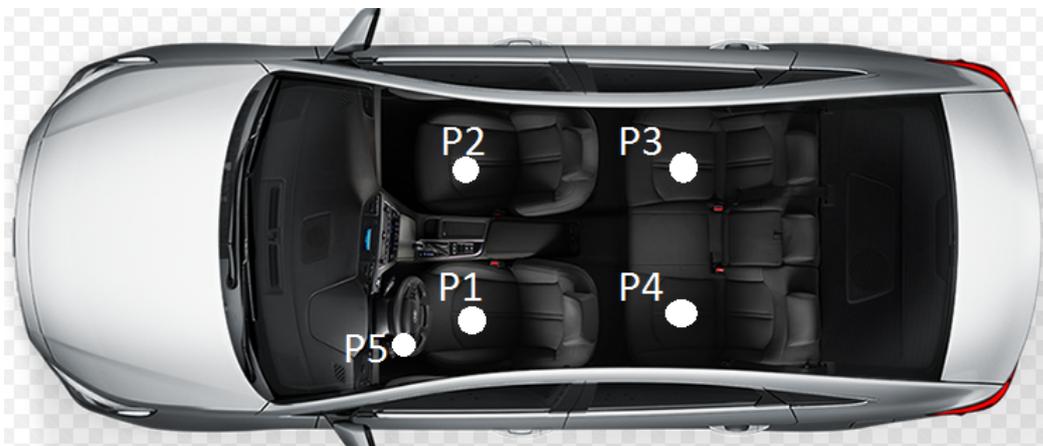


Figura 39 – Posições para análise de vibrações (autoria própria).

4.6 Procedimento experimental

Após cada medição os dados são retirados do HVM 100, os quais são transferidos ao computador através do software BLAZE disponibilizado pela empresa Larson Davis. A Figura 40 apresenta o print da tela de retirada dos dados no software.

Dados Gerais					
Hora de Medição (hh:mm: 00:01:36)					
Valor	Canal X	Canal Y	Canal Z	Soma	Unidades
Aeq	.21000	.18500	.37900	54400	m/s ²
Amax	.57000	.54500	.93600	1.2500	m/s ²
Amp	1.0800	1.2800	2.6100	2.9100	m/s ²
Amin	.05590	.03660	.13500	.21500	m/s ²
Aeq(k)	.29400	.25900	.37900		m/s ²
VDV	1.0300	1.0400	1.8700	2.3500	
CFmp	14.300	16.800	16.800	14.600	dB
A(8)				.02190	m/s ²

Figura 40 – Captura de tela software BLAZE.

Os dados utilizados das medições é o de nome A_{eq} soma que se trata da soma das médias de energias de longo prazo, o qual é encontrado através das fórmulas 3.1 e 3.2 citadas no item 3.

Para procedimento de análise dos dados é necessário o valor da *aceleração resultante de exposição* (a_{ren}), para isto utilizam-se as equações 3.1, 3.4 e 3.5, as quais terão sua incógnitas alteradas de acordo com cada caso nos itens a seguir: 1, 2 e 3.

1. Caso 1: análise de vibração de corpo inteiro e conjunto mão e braço as quais serão separados em A e B.
2. Caso 2: análise vibração de corpo inteiro simulando um motorista de transporte privado.
3. Caso 3: considerando motorista padrão indo para o trabalho.

4.6.1 Caso 1A: VCI

Este caso será utilizado para observar e comparar os níveis de exposição a VCI presentes nos veículos. Para determinada análise utilizou-se a *aceleração resultante de exposição parcial* (a_{rep}) e *aceleração resultante* (a_{re}) para encontrar o valor da aceleração resultante de exposição de exposição normalizada (a_{ren}).

Primeiramente obteve-se através do HVM as a_{mr} 's (3.2), que se trata do A_{eq} soma, correspondentes de cada veículo e assim foi obtido o valor de a_{rep} , através da equação 3.3 e enfim obteve-se o valor de a_{re} .

A a_{re} , equação 3.4, tem suas incógnitas iguais a: "n" igual a um e "T" que é o tempo de jornada de trabalho será igual ao " T_i " que corresponde ao tempo de exposição de vibração.

Logo, obtemos que a_{rep} é igual a a_{re} e por fim igual a a_{ren} para este caso. Os dados analisados são das posições P1, P2, P3 e P4, como indica a Figura 41

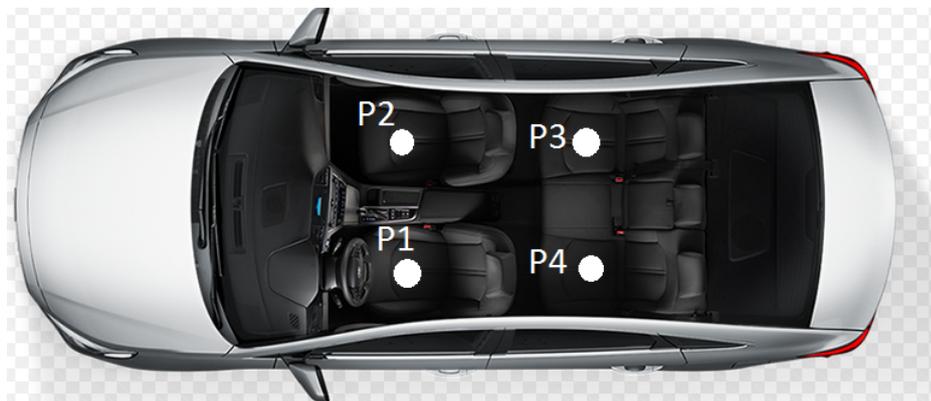


Figura 41 – Posições analisadas no caso 1A .

4.6.2 Caso 1B: VBM

Para o Caso 1B, será analisado e comprado a VBM dos três veículos a fim de obter a resposta de quais níveis de vibrações os passageiros e motoristas estão expostos.



Figura 42 – Posição analisada no caso 1B .

Neste caso também será utilizado a *aceleração resultante de exposição (are)*, *aceleração resultante de exposição parcial (arep)* e o valor da *aceleração resultante de exposição de exposição normalizada (aren)*, como no caso 1A *arep* será igual a *are* e por fim igual a *aren*, assim serão realizadas as análises na posição P5, como indica a Figura 42.

4.6.3 Caso 2

O caso 2, será considerado uma situação hipotética de um motorista de aplicativos privados de transporte, a Figura 43 apresenta a posição que será analisada. Foi considerado que o mesmo tem um ponto fixo de local de trabalho que seria o ponto inicial do trajeto, ou seja, ele buscaria um passageiro neste ponto e voltaria ao final da corrida.

Para este caso será utilizado os valores de *arep*, equação 3.3, no caso 1A. Calcula-se outros valores de *are*, equação 3.4, por fim o valor de *aren* é obtido.



Figura 43 – Posição analisada no caso 2 e 3 (autoria própria).

Para esta situação foi necessário supor quantos trajetos seriam realizados durante uma jornada de trabalho de oito horas, para isto foi obtido o valor médio do tempo de realização de uma volta no trajeto durante as medições que foi igual a 9 min e 32 segundos. Descartando o tempo que o motorista passa parado, esperando um passageiro, idas ao banheiro, tempo de almoço entre outros dentro da jornada de 8 horas de trabalho foi calculado um número próximo de 13 trajetos realizados por dia, ou seja, três horas de jornada dirigindo sem parar.

Portanto, calcula-se os valores de $arep$, are e $aren$, utilizando as equações 3.4 e 3.5. Assim, pode-se comparar os valores obtidos com os da norma NHO 09, apresentados na Tabela 1.

4.6.4 Caso 3

Para este caso considera-se outra situação hipotética de um motorista do veículo que trabalha no estabelecimento Ultrabox, grifado em amarelo na Figura 44. A posição que será considerada foi anteriormente apresentada na Figura 43.

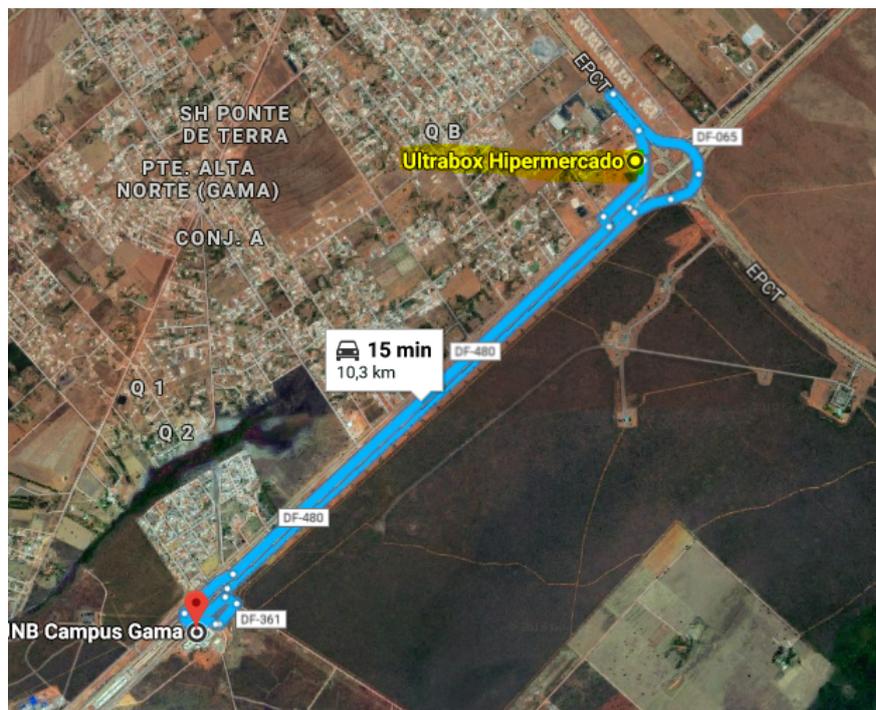


Figura 44 – Trajeto para local de trabalho (Fonte: Google Maps, acesso 1 junho 2018).

Para este caso também será utilizado o valor de $arep$ encontrado no caso 1A para calcular o valor de are , iremos considerar que o número de repetições de exposição "n" será igual a dois, pois, o motorista vai e volta do local de trabalho e o " T_i " que corresponde ao tempo de exposição de vibração será igual o tempo médio do trajeto, que foi de 9 min e 32 segundos.

Assim, calcula-se o valor de *aren*, através da equação 3.5. Para enfim poder comprar o resultado de *aren* com os valores da norma NHO 09, apresentados na Tabela 1.

5 Resultados

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos durante as medições de cada veículo e suas devidas análises dos casos apresentados no item 4.6.

Vale ressaltar o tipo de pista em que foram realizadas as medições. A pista é asfaltada e apresenta algumas imperfeições as quais, se necessário, serão salientadas, dependendo de cada caso analisado.

5.1 Caso 1A: VCI

Os cálculos foram realizados de acordo com item 4.6.1, utilizando-se as equações 3.3 e 3.4. Obteve-se então a *aren* de cada veículo.

Vale lembrar que os dados obtidos na Tabela 4 são provenientes de um conjunto de dados contendo cerca de 600 pontos de aceleração *rms* para cada posição, ou seja, 2400 pontos no total. Tais pontos foram adquiridos por meio da integração durante um segundo.

Tabela 7 – Aceleração resultante de exposição (*are*).

Modelo 1	$aren(m/s^2)$	Modelo 2	$aren(m/s^2)$	Modelo 3	$aren(m/s^2)$
P1	0,5398	P1	0,5552	P1	0,5476
P2	0,4688	P2	0,5576	P2	0,5134
P3	0,5942	P3	0,5938	P3	0,5892
P4	0,6098	P4	0,5926	P4	0,6012

Para uma melhor comparação, os dados da Tabela 4 foram dispostos em um gráfico, visualizado na Figura 45, de aceleração por posição.

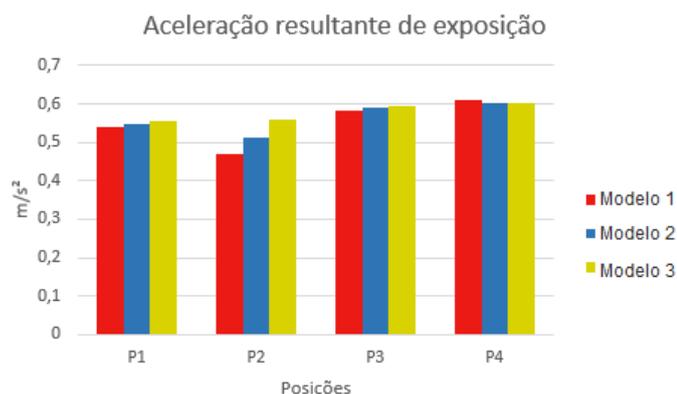


Figura 45 – Gráfico de aceleração resultante.

Todos os valores apresentados na Figura 45 estão entre 0,5 e 0,6, somente o modelo 1 na posição P2 apresentou um valor abaixo deste intervalo. Caso a exposição à esta vibração fosse contínua durante a jornada de trabalho segundo a Tabela 1, da norma NHO 09, seria indicado que deveria-se tomar medidas preventivas, pois estes valores entre 0,5 e 0,6 são considerados acima do nível de ação.

Observando o conjunto das posições P3 e P4, nota-se que são as posições que apresentam maiores *aren* se comparadas com P1 e P2. Seus valores alcançam ou tendem a 0,6, diferentes das outras duas posições que exibem o valor máximo de 0,55 e mínimo de 0,4.

As prováveis causas para isso podem ser: a mudança da geometria do banco, sendo que o banco traseiro apresenta três assentos, ou ainda, o posicionamento do passageiro em relação ao conjunto de suspensão, uma vez que na traseira do veículo os passageiros ficam relativamente posicionados sob ela, diferente dos passageiros frontais onde o conjunto fica posicionado à frente.

Este pode ser um ponto de análise para trabalhos futuros relacionados a VCI, obter a causa correta da ocorrência desta resposta nas posições do passageiros do banco de traseiro.

Outra sugestão de análise que pode-se fazer em relação aos modelos é a aceleração no domínio do tempo da rota, ou seja, durante o percurso a qual aceleração *rms* as posições foram expostas. A Figura 46 apresenta esta análise em gráfico para o modelo 1. Nota-se que as curvas apresentam o mesmo padrão. Quando há picos de aceleração *rms*, eles aparecem no mesmo período de tempo ou um pouco antes. Isto se dá pelo fato de que durante na medição de cada posição houve uma alteração na velocidade. Se a velocidade fosse mantida constante, os picos provavelmente iriam ocorrer no mesmo intervalo de tempo.

Os gráficos da aceleração no domínio do tempo correspondentes aos outros dois modelos foram semelhantes ao do modelo 1, apresentando as mesmas peculiaridades supracitadas.

Para entender melhor os maiores picos de aceleração dos gráficos, as medições foram cronometradas e anotou-se o tempo em que o veículo transitava por alguma intempérie da pista. Apesar da ocorrência de algum buraco ou depressão na pista, o trecho que mais chamou atenção foi o retorno em frente ao hipermercado Ultrabox e o quebra-mola antes do mesmo.

Neste intervalo de tempo foram observados os maiores picos no gráfico da aceleração pelo intervalo de tempo da medição. A Figura 47, apresenta um gráfico onde foram circulados os pontos de maiores picos, os quais encontrou-se possivelmente a causa de sua ocorrência.

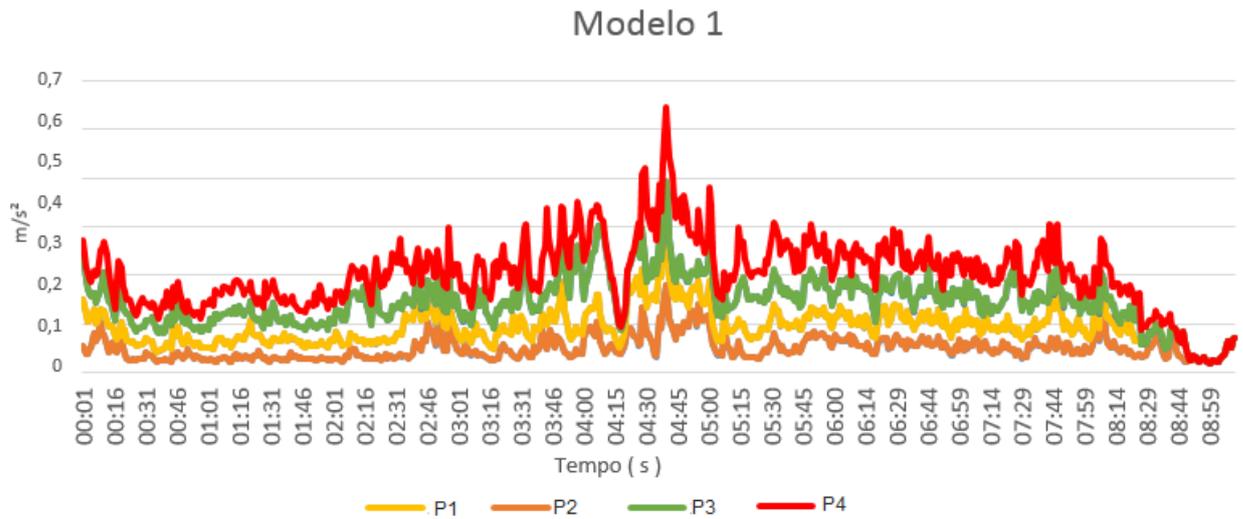


Figura 46 – Gráfico da aceleração pelo tempo em todas as posições (P1, P2, P3 e P4).

Como todas as posições dos modelos apresentavam os mesmos comportamentos de curvas, os critérios utilizados para escolher esta posição e modelo foram: o que melhor apresenta os picos e com melhor espaçamento de tempo. Escolheu-se somente uma posição e não suas sobreposições, pois o gráfico não possibilitaria uma boa visualização.

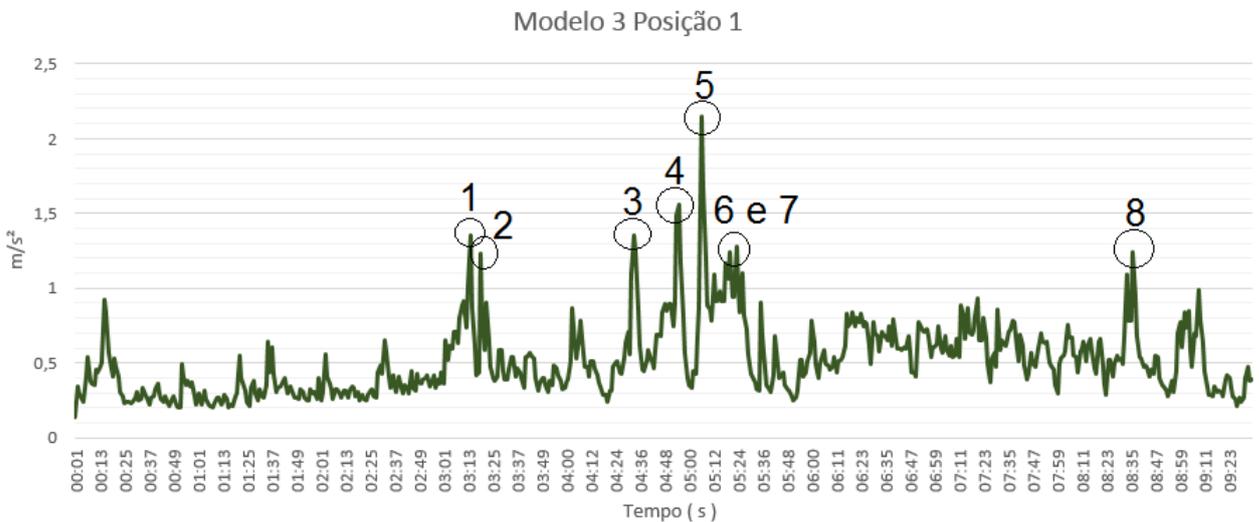


Figura 47 – Gráfico da aceleração pelo tempo de medição, apresentando os maiores picos. Fonte: autor

Pode-se inferir que os pontos 1, 2, 3 e 8 são irregularidades da pista como: depressões e buracos os quais não foram possíveis fotografar devido ao grande tráfego de veículos na rodovia. A Figura 48 apresenta as possíveis causas dos picos 4 e 5.

Devido ao trecho apresentado na Figura 49 apresenta muitas irregularidades não possível determinar com clareza onde ocorreram os picos 6 e 7. Vale salientar que durante as medições o motorista do veículo dirigia normalmente sob a via, ou seja, não buscava desviar ou acertar alguma anomalia da pista.



Figura 48 – Fotos referentes aos ponto 4 na imagem superior e 5 imagem inferior



Figura 49 – Foto referente ao possível local de ocorrência dos picos 6 e 7.

Conclui-se assim, a apresentação dos resultados e suas análises para o caso 1A, onde foi observada a vibração de corpo inteiro dos passageiros dos modelo selecionados.

5.2 Caso 1B: VBM

Para este caso, também serão usadas equações 3.3 e 3.4, para obtenção da aceleração de exposição. Os resultados estão dispostos na Tabela 5, ressaltando que a análise foi feita a partir de 572 dados, para cada modelo, obtidos durante a medição da posição P5, visualizado na Figura 42.

Tabela 8 – Aceleração resultante de exposição (a_{ren}).

Modelo 1	$a_{ren}(m/s^2)$	Modelo 2	$a_{ren}(m/s^2)$	Modelo 3	$a_{ren}(m/s^2)$
P5	0,1219	P5	0,0765	P5	0,1004

Para uma melhor comparação, os dados da Tabela 5 foram dispostos em um gráfico, disponível na Figura 50, de aceleração por modelo, todos referentes à posição P5.

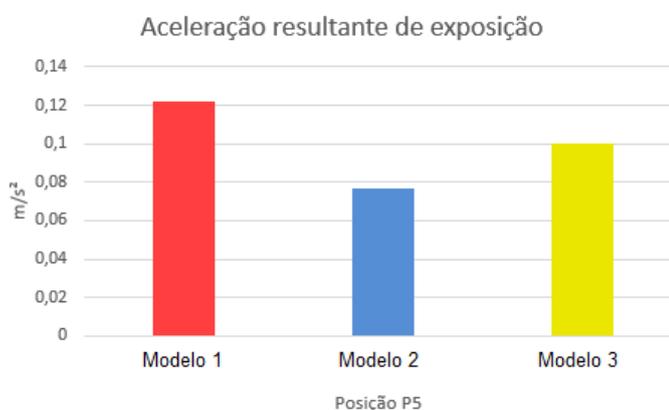


Figura 50 – Gráfico aceleração resultante e exposição, posição P5.

Os valores apresentados estão entre 0,07 e 0,1, o modelo 2 apresentou a menor aceleração para esta posição. Caso a exposição a esta vibração fosse contínua durante a jornada de trabalho segundo a Tabela 2, da norma NHO 10, os valores encontrados estariam em um nível considerado aceitável, ou seja, não ultrapassaram o valor de 2,5 estipulado pela norma.

Outra abordagem em relação aos dados que foram coletados, de cada modelo nesta posição, é a análise da aceleração no domínio do tempo da rota, ou seja, durante o percurso a qual aceleração *rms* foram observadas.

Para este caso foram distribuídos os dados dos três veículos em um só gráfico, na Figura 51. Ao observar os picos de aceleração pode-se notar que todos os veículos têm a mesma tendência durante o percurso e, assim como no caso 1A, item 5.1, os grandes picos são irregularidades da pista, tais quais como: buracos, quebra-mola e depressões no asfalto, que já foram apresentados nas Figuras 48 e 49.

Apesar de ter-se considerado estes pontos os mesmo do caso 1A, não é possível elucidar de forma clara se foram somente estes pontos que influenciaram os picos de aceleração, pois, os mesmo aparecem com menos intervalos de tempo ou com valores de picos bem próximos.

Ao compararmos as curvas de cada modelo, percebe-se que o modelo 2 não só apresentou uma *are* menor em relação aos outros, mas também uma curva com acelerações notavelmente mais baixas, inclusive os picos.

Ressaltando que durante as medições da posição P5 o motorista do veículos dirigiu normalmente sob a via, ou seja, não buscou desviar ou ir de encontro a nenhuma anomalia da pista.

Conclui-se assim as apresentações dos resultados e suas análise para o caso de

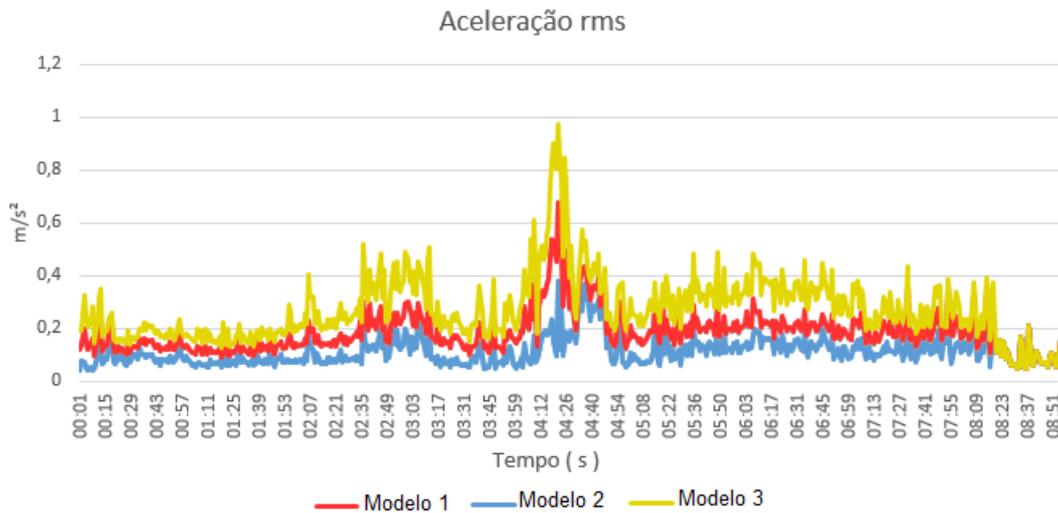


Figura 51 – Gráfico aceleração pelo tempo do percurso.

vibração no conjunto mão-braço.

5.3 Caso 2

Para este caso, como foi explicado no item 4.6.3, considerando uma situação hipotética de um motorista de aplicativo privado de transporte. Assim, será analisado somente os dados da posição P1 em todos os modelos.

As equações utilizadas foram às 3.4 e 3.5 suas incógnitas e seus valores utilizados para resolução deste caso estão na Tabela 9, os valores de $arep$ são os já calculados no caso 1A, Tabela 7. O resultado utilizado será o da $aren$.

Tabela 9 – Equações e incógnitas para resolução do caso 2.

Equações	Incógnitas
$are = \sqrt{\frac{1}{T} n_i arep_i^2 T_i}$	$n = 13$ repetições
	T_i (Tempo de exposição) = 9 min e 32 segundos
	T (Tempo da jornada de trabalho) = 480 min
$aren = are \sqrt{\frac{T}{T_0}}$	$m = 1$ componente de exposição
	$T_0 = 480$ min

Os resultados obtidos através das formulas apresentadas na tabela anterior estão dispostos na Tabela 10.

Tabela 10 – Aceleração resultante de exposição normalizada ($aren$).

Modelo 1	$aren(m/s^2)$	Modelo 2	$aren(m/s^2)$	Modelo 3	$aren(m/s^2)$
P1	0,1769	P1	0,1720	P1	0,1745

Após a obtenção destes valores é necessário analisá-los de acordo com a norma NHO 09, referente a vibração de corpo inteiro. Como dito no item 3.4, a norma estabelece limites de exposição a este tipo de vibração.

Segundo a Tabela 1, os valores de *aren* aceitáveis estão entre 0 a 0.5, sendo assim, os modelos escolhidos não ultrapassam este valor da norma. Visto que todos os resultados estão próximos de 0.17.

Vale destacar que, o motorista considerado neste caso não passa todo tempo de trabalho com o veículo em movimento, ou seja, os períodos de pausa são importantes, pois, assim a média do tempo de exposição á vibração se torna baixa.

Portanto, pode-se concluir a análise dos dados para posição P1, caso 2, tratando de motorista do serviço privado de transporte.

5.4 Caso 3

Como já dito no item 4.6.4, serão analisados os dados considerando um motorista hipotético indo ao trabalho e voltando a sua residência, posição P1. Utilizando as equações 3.4 e 3.5, as incógnitas utilizadas para resolução deste caso estão na Tabela 11, os valores de *arep* são os já calculados no caso 1A, Tabela 7.

Tabela 11 – Equações e incógnitas para resolução do caso 3.

Equações	Incógnitas
$are = \sqrt{\frac{1}{T} n_i arep_i^2 T_i}$	n = 2 repetições, vai e volta do trabalho.
	T_i (Tempo de exposição) = 9 min e 32 segundos
	T (Tempo da jornada de trabalho) = 480 min
$aren = are \sqrt{\frac{T}{T_0}}$	m = 1 componente de exposição
	$T_0 = 480$ min
	T (para calculo de are) = 9 min e 32 segundos

Os resultados obtidos através das formulas apresentadas na tabela anterior estão dispostos na Tabela 12.

Tabela 12 – Aceleração resultante de exposição normalizada (*aren*).

Modelo 1	<i>aren</i> (m/s ²)	Modelo 2	<i>aren</i> (m/s ²)	Modelo 3	<i>aren</i> (m/s ²)
P1	0,0155	P1	0,0151	P1	0,0153

Ao comparar os valores apresentados na Tabela 12, com os da norma NHO 09, Tabela 1, norma NHO 09, nota-se que eles estão dentro do nível aceitável de 0,5. Isso se dá pelo fato de que o motorista considerado no caso está exposto somente duas vezes, durante o dia, a vibração de corpo inteiro. O que ao longo de uma jornada de oito horas de trabalho leva a baixos níveis de exposição.

Concluindo assim, esta análise para um trabalhador que utiliza o carro como meio de transporte, para ir e voltar do trabalho.

6 Conclusão

Este trabalho apresentou um estudo de exposição à vibração de corpo inteiro e conjunto mão-braço em motoristas e passageiros de veículos de passeio. As medições foram realizadas de acordo com as normas ISO 2631-1 e ISO 5349-1, utilizando um sensor do tipo *seatpad* triaxial e um acelerômetro triaxiais (ICP) com adaptador para mão, *in situ* em rota determinada. Buscando a menor interferência possível do usuário, foi utilizado somente um indivíduo sob os sensores e o mesmo ajudante na posição de motorista quando necessário.

Os resultados foram separados em quatro casos, foram eles: caso 1, separado em VCI e VBM, caso 2 e caso 3. Para o caso 1 de VCI, os valores encontrados ultrapassaram os níveis aceitáveis da norma NHO 09, ou seja, para esta exposição seria recomendado a atuação de alguma medida preventiva. No caso 1B VBM, foram observados valores de acelerações considerados aceitáveis se comparados com os valores da norma NHO 10. Para os casos 2 e 3, os motoristas não foram expostos a VCI fora do nível aceitável, segundo a norma NHO 09. Vale ressaltar que isso se dá porque o tempo de exposição a este tipo de vibração foi baixo.

Através dos dados obtidos no caso 1A e 1B é possível determinar qual posição e modelo o usuário estaria menos exposto a vibração, o qual é o modelo 2 na posição P2 que corresponde ao passageiro do banco da frente. Também pode-se determinar as posições que expõe o usuário a maiores níveis de vibração, são elas: P3 e P4 em todos os veículos. Posições estas que correspondem aos passageiros do banco de trás.

É possível destacar dois pontos de análise neste trabalho a influência da pista na observação dos gráficos de percurso por tempo, para isto cabe a trabalhos futuros determinar o quão importante o perfil de pista é para medições VCI e VBM, já para o baixo nível de exposição para os casos 2 e 3 também seria viável uma análise mais fiel da realidade buscando casos reais para identificar a quais vibrações os motoristas estariam expostos.

Referências

- AGHARKAKLI, A.; SABET, G. S.; BAROUZ, A. Simulation and analysis of passive and active suspension system using quarter car model for different road profile. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, v. 3, n. 5, p. 636–644, 2012. Citado na página 36.
- ANFLOR, C. T. M. Estudo da transmissibilidade da vibração no corpo humano na direção vertical e desenvolvimento de um modelo biodinâmico de quatro graus de liberdade. 2003. Citado na página 40.
- BALBINOT, A. Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: um enfoque no conforto e na saúde. 2001. Citado na página 39.
- BARONE, V.; MONGELLI, D. W. E.; TASSITANI, A. Vibrational comfort on board the vehicle: Influence of speed bumps and comparison between different categories of vehicle. *Advances in Acoustics and Vibration*, Hindawi, v. 2016, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 11, 31 e 32.
- BRASIL. Norma regulamentadora nº 15 - atividades e operações insalubres. *Ministério do Trabalho e Emprego*, Brasília, DF, set. 2015. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 32.
- BRASILIENSE, C. *Aplicativos de transporte podem ser mais baratos que carro próprio*. 2018. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2018/04/01/internas_economia,670119/vale-a-pena-deixar-de-usar-o-carro-proprio-por-conta-de-aplicativos.shtml>. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 19.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. *BS 6841:1987*: Guide to measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock. [S.l.], 1987. Citado na página 31.
- ESTADÃO. *Por amor, paulistano passa em média, 1 mês e meio no trânsito*. 2016. Disponível em: <<https://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,por-ano-paulistano-passa-em-media-1-mes-e-meio-presno-no-transito,10000076521>>. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 19.
- FUNDACENTRO. *Norma de Higiene Ocupacional: Nho 09 - procedimento técnico - avaliação da exposição ocupacional a vibração de corpo inteiro*. [S.l.], 2013. Citado 9 vezes nas páginas 20, 25, 26, 31, 32, 34, 41, 43 e 48.
- FUNDACENTRO. *Norma de Higiene Ocupacional: Nho 10 - procedimento técnico - avaliação da exposição ocupacional a vibração em mãos e braços*. [S.l.], 2013. Citado 5 vezes nas páginas 20, 41, 45, 46 e 48.
- GERGES, S. N. Y. *Ruídos e vibrações veiculares*. [S.l.]: NR, 2005. Citado na página 36.
- GRIFFIN, M. J. *Handbook of human vibration*. [S.l.]: Academic press, 2012. Citado na página 39.

- GROM. *HVM200 - Vibração no Corpo Humano*. 2018. Disponível em: <http://www.grom.com.br/produtos/ruido_e_vibracao/-vibracao-no-corpo-humano>. Citado 3 vezes nas páginas 12, 48 e 49.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 2631:1997: Mechanical vibration and shock – evaluation of human exposure to whole-body vibration*. [S.l.], 1997. Citado 10 vezes nas páginas 12, 20, 27, 30, 31, 32, 34, 41, 43 e 48.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 5349-1:2001: Mechanical vibration – measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – part 1: General requirements*. [S.l.], 2001. Citado 5 vezes nas páginas 12, 20, 41, 42 e 45.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 8041:2005: Human response to vibration – measuring instrumentation*. [S.l.], 2005. Citado 4 vezes nas páginas 12, 41, 46 e 47.
- KJAER, B. . *PRODUCTS*. 2018. Disponível em: <<https://bksv.com/en/products>>. Citado 3 vezes nas páginas 12, 48 e 49.
- LOPES, J. L. Análise de vibração ocupacional de corpo inteiro em máquinas colhedoras de cana-de-açúcar. *Revista ABHO*, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 11, 27 e 28.
- MARCHETTI, E. et al. An investigation on the vibration transmissibility of the human elbow subjected to hand-transmitted vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Elsevier, v. 62, p. 82–89, 2017. Citado 3 vezes nas páginas 11, 24 e 25.
- MONTEIRO, L. F. Análise comparativa da energia vibracional em motor diesel utilizando diesel e biodiesel. 2013. Citado na página 35.
- MOORE, H. F. Desenvolvimento de uma bancada de testes experimentais para estudos sobre vibrações de corpo inteiro em assento veicular. 2017. Citado 4 vezes nas páginas 11, 25, 26 e 27.
- MOORE, H. F.; NUNES, M. A. d. A. Análise de sensibilidade dos efeitos dos parâmetros de ajuste do assento do motorista em veículos de passeio na vibração de corpo inteiro. *CONEM - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica*, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 30.
- MOORE, H. F.; NUNES, M. A. d. A. Análise de sensibilidade dos efeitos dos parâmetros de ajuste do assento do motorista em veículos de passeio na vibração de corpo inteiro. *CONEM - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica*, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 11, 24 e 27.
- NAWAYSEH, N.; GRIFFIN, M. J. Tri-axial forces at the seat and backrest during whole-body fore-and-aft vibration. *Journal of Sound and Vibration*, Elsevier, v. 281, n. 3-5, p. 921–942, 2005. Citado 4 vezes nas páginas 11, 21, 23 e 27.
- NETO, M. F.; GOMES, H. M. Análise de níveis de vibração em usuários de trens urbanos. *Revista Liberato*, v. 18, n. 29, 2017. Citado 3 vezes nas páginas 11, 32 e 34.
- NUNES, M. A. de A.; SILVA, R. de C. Whole-body vibration measurements in intercity bus drivers: a comparison among different roads of central region of Brazil. *The 22th international congress on sound and vibration*, 2015. Citado na página 29.

- PARDAL, T. *Ruído de baixa frequência, um problema de saúde pública*. 2015. Disponível em: <<http://blog.safemed.pt/ruído-de-baixa-frequência-um-problema-para-a-saúde-pública>>. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 40.
- PARK, J. et al. Reduced ride comfort caused by beating idle vibrations in passenger vehicles. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Elsevier, v. 57, p. 74–79, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 11, 32, 33 e 34.
- SEZGIN, A.; ARSLAN, Y. Z. 782. analysis of the vertical vibration effects on ride comfort of vehicle driver. *Journal of Vibroengineering*, v. 14, n. 2, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 11, 28 e 29.
- SILVA, C. W. D. *Vibration: fundamentals and practice*. [S.l.]: CRC press, 2006. Citado na página 35.
- SILVA, G. C. C. d.; NUNES, M. A. d. A. Avaliação do nível de exposição à vibração de corpo inteiro em motoristas de ônibus metropolitano: estudo aplicado ao sistema brt de Brasília-DF. *CONEM - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica*, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 11, 30 e 31.
- TOWARD, M. G.; GRIFFIN, M. J. Apparent mass of the human body in the vertical direction: Effect of seat backrest. *Journal of Sound and Vibration*, Elsevier, v. 327, n. 3-5, p. 657–669, 2009. Citado 4 vezes nas páginas 11, 22, 23 e 27.
- TRAINING, A. A. Vehicle noise sources características das fontes de ruído veicular. In: *Ciclo de Workshops I, Parte*. [S.l.: s.n.], 1996. v. 4. Citado na página 38.
- UNIÃO EUROPÉIA. relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (vibrações). *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, jun. 2002. Citado na página 31.
- XU, X. S. et al. Vibrations transmitted from human hands to upper arm, shoulder, back, neck, and head. *International journal of industrial ergonomics*, Elsevier, v. 62, p. 1–12, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 23.