

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

ANÁLISE DE EXPOSIÇÃO A VIBRAÇÕES EM MOTOCICLETAS: UM ESTUDO DE CASO
PARA VCI E VMB

por

Rafael Andre Schio

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

Porto Alegre, Junho de 2016



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

ANÁLISE DE EXPOSIÇÃO A VIBRAÇÕES EM MOTOCICLETAS: UM ESTUDO DE CASO
PARA VCI E VMB

por

Rafael Andre Schio

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

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

Área de Concentração: **Mecânica dos Sólidos**

Orientador: Prof. Dr. Herbert Martins Gomes

Comissão de Avaliação:

Prof^a. Dr^a. Leticia Fleck Fadel Miguel

Prof. Dr. Juan Pablo Raggio Quintas

Prof. Dr. Edson Hikaro Aseka

Porto Alegre, Junho de 2016.

De modo especial, aos meus pais e heróis Sergio e Rose.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus pais, Sergio e Rose, por fornecerem toda estrutura necessária para que eu pudesse me dedicar aos estudos, por investirem na minha educação, pelo apoio incondicional e por me ensinarem a lutar para ser um excelente profissional, sem esquecer de ser, antes de tudo, uma boa pessoa. Agradeço também a meu pai, Sergio, pela sua vital contribuição na realização deste trabalho, disponibilizando suas motos e auxiliando nos testes. Agradeço novamente a minha mãe, Rose, por sua ajuda na escrita desta monografia.

À meu irmão, Eduardo, pela amizade, parceria e cumplicidade. Agradeço a ele também pela assistência nas medições experimentais do presente trabalho.

Agradeço à minha amada Zu, que esteve sempre ao meu lado, oferecendo seu carinho, dedicação e compreensão, auxiliando a superar todos os momentos, principalmente os mais árduos.

Agradeço amigos da engenharia pela parceria durante toda esta trajetória, fundamental para que esta jornada se concretizasse. Agradeço por toda ajuda, cumplicidade e amizade.

Agradeço ao meu orientador, Professor Herbert Martins Gomes por toda ajuda para concretização deste trabalho, pelo compartilhamento do seu conhecimento, pela disponibilidade para ajudar nos momentos de dificuldade e pela excelente orientação.

Ao Grupo de Mecânica Aplicada (GMAp) do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS, pela disponibilidade dos equipamentos de medição.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo ensino gratuito e de alta qualidade, principalmente seus professores, responsáveis pela excelência no ensino. Agradeço por todo conhecimento compartilhado, pelo incentivo dado e pelos ensinamentos oferecidos

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação como Engenheiro Mecânico.

SCHIO, R. A. “**Análise de exposição a vibrações em motocicletas: um estudo de caso para VCI e VMB**”. 2016. 15f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

RESUMO

Motocicletas são um importante meio de transporte nacional e é crescente o seu uso como ferramenta de trabalho. Um dos fatores preocupantes é a vibração a que o usuário está exposto, podendo gerar desconforto e agravos à saúde. Com isto, este projeto propõe a medição dos níveis de vibração em diversos modelos de motos (algumas de uso bastante popular entre motoboys) sob condições de uso em um mesmo trajeto a fim de verificar e quantificar o nível de vibração à que estão expostos seus usuários. Considerando a numerosa frota brasileira e que ainda não há estudos semelhantes publicados no país, pretende-se, com esta pesquisa lançar dados específicos sobre o nível de vibração nestes veículos trazendo informações relevantes sobre conforto assim como a possibilidade de se ter condições insalubres quanto à vibração (NR-15) em profissionais que usam este veículo como meio de trabalho. Para coleta de dados utilizaram-se acelerômetros localizados no assento e guidom das motocicletas juntamente com equipamento padronizado e calibrado VI-400Pro da Quest Technologies, o qual permite realizar as medições de forma padronizada e leva em conta o requerido pela norma para este fim (ISO-2631, ISO-5349, Diretiva Europeia, NR-15). Na análise de conforto, todas as motos estudadas, alcançaram níveis (valores *RMS* medidos acima de $1,5 \text{ m/s}^2$) que as classificam, em conformidade com a norma (ISO-2631, ISO-5349, Diretiva Europeia, NR-15) como “desconfortável” a “muito desconfortável”. A mesma conclusão é obtida para outros critérios de conforto. Como resultado do estudo, as medições realizadas nas motocicletas em condições de VCI (Vibração de Corpo Inteiro) e VMB (Vibração do sistema Mão Braço), evidenciaram níveis de vibração elevados, variando, em valores *RMS*, de $1,51$ a $1,77 \text{ m/s}^2$ para VCI e de $7,14$ a $9,38 \text{ m/s}^2$ para VMB. Estes valores ultrapassam os limites estabelecidos da NR-15 e NHO-09, o que sugere condições insalubres aos utilizadores deste veículo como meio de transporte ou trabalho, visto que os limites de ação (VAE, *vibration action exposure*) e limite de exposição (VLE, *vibration limit exposure*) são atingidos em um tempo menor do que a jornada prevista de 8h.

PALAVRAS-CHAVE: Vibração do sistema Mão Braço, VMB, Vibração de Corpo Inteiro, VCI, motocicletas, conforto.

SCHIO, R. A. “**Vibration exposure analysis in motorcycles: a case study for WBV and HAV**”. 2016. 15f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ABSTRACT

Motorcycles are important means of national transport and it is increasing its use as a working tool. One of the worrying factors is the vibration that the user is exposed that may cause discomfort and health problems. Therefore, this project proposes the measurement of vibration levels in some bikes (some quite popular among motorcycle couriers use) under the same conditions in the same path in order to verify and quantify the level of vibration to which they are exposed. Considering the numerous Brazilian fleet and that there is not similar studies published in the country, it is intended, with this research to organize specific data on the level of vibration in these vehicles bringing relevant information about comfort and the possibility of having unhealthy conditions as the vibration (NR-15) for professionals who use this as a working vehicle. For data collection we used accelerometers located on the seat and handlebars of motorcycles along with standardized and calibrated equipment VI-400Pro Quest Technologies, which allows one to perform measurements in a standardized manner and takes into account the standard requirements for this purpose (ISO -2631, ISO-5349, European Directive, NR-15). In the comfort analysis, all studied motorcycles, reached levels (measured RMS values above 1.5 m/s^2) that are classified in accordance with the standard (ISO-2631, ISO-5349, European Directive, NR-15) as "uncomfortable" to "very uncomfortable." The same conclusion is obtained for other comfort criteria. As a result of this study, measurements performed on motorcycles in WBV conditions (Whole Body Vibration) and HAV (System Vibration Hand Arm), showed high levels of vibration, varying in RMS values from 1.51 to 1.77 m/s^2 for WBV and 7.14 to 9.38 m/s^2 for HAV. These values exceed the limits specified by NR-15 and NHO-09, which suggests unsanitary conditions to the vehicle's drivers that use as means of transport or work, since the action limits (VAE, *vibration exposure action*) and exposure limit (VLE, *vibration limit exposure*) are achieved in a shorter time than the defined 8 h daily journey..

KEYWORDS: Hand Arm Vibration, Whole-Body Vibration, Motorcycles, HAV, WBV, acceleration measurement, drive comfort.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.2 – Sistema de coordenadas basicêntrico adotado para vibração mão-braço e corpo inteiro e sua localização nos pontos de medição da moto.	5
Figura 4.1 – Kit equipamentos VI400-Pro e transdutores utilizados nas medições.	6
Figura 4.2 – <i>Seatpad</i> posicionado corretamente no assento para procedimento de medição. ...	7
Figura 4.3 – Acelerômetro posicionado no guidom para procedimento de medição.	7
Figura 4.4 – Trajeto percorrido pelas motos (aproximadamente 16 km).	8
Figura 4.5 – Pavimentos percorridos no trajeto (A) paralelepípedo irregular; (B) asfalto urbano; (C) asfalto rodovia.	8
Figura 4.6 – Modelo de motocicletas utilizadas.	9
Figura 5.1 – Resultado para acelerações combinadas <i>RMS</i> nos três eixos (VCI e VMB).	10
Figura 5.2 Gráfico aceleração <i>RMS</i> no assento da motocicleta CB 300R (VCI).	11
Figura A.1 – Certificado de calibração do equipamento VI-400 PRO.	16
Figura A.2– Valores de Aceleração <i>RMS</i> ponderados comparados a critérios de conforto.	17
Figura A.3 – Valores de Aceleração <i>RMS</i> ponderados comparados a critérios de conforto. (cont.).	17
para os dados computados para todas motocicletas no trajeto proposto).	18
Figura A.5 – Gráficos de Aceleração <i>RMS</i> da moto Neo 115, para VCI e VMB.	19
Figura A.6 – Gráficos de Aceleração <i>RMS</i> da moto YBR 125, para VCI e VMB.	19
Figura A.7 – Gráficos de Aceleração <i>RMS</i> da moto CG 150, para VCI e VMB.	19
Figura A.8 – Gráficos de Aceleração <i>RMS</i> da moto CB 300R, para VCI e VMB.	20
Figura A.9 – Gráficos de Aceleração <i>RMS</i> da moto XT 600E, para VCI e VMB.	20
Figura A.10 – Gráficos de Aceleração <i>RMS</i> da moto V-Strom, para VCI e VMB.	20
Figura A.11 – Gráficos de Aceleração <i>RMS</i> da moto Varadero, para VCI e VMB.	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1- Resumo das características das motos estudadas.	9
Tabela 5.1- Classificação das motocicletas quanto ao conforto, segundo norma ISO 2631-1, 1997.	11
Tabela 5.2- Resumo dos resultados para aceleração <i>RMS</i> e valores VDV combinados nos três eixos (VCI).	12
Tabela 5.3- Resumo dos resultados para aceleração <i>RMS</i> combinada nos três eixos (VMB). .	13
Tabela A.1- Classificação de conforto segundo norma ISO 2631-1, 1997.	18

ÍNDICE	Pág.
AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	vii
ÍNDICE	viii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 Objetivos.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	6
4.1 Procedimentos e equipamentos utilizados	6
4.2 Trajeto.....	7
4.3 Modelos de Motos analisadas	9
5 RESULTADOS.....	10
5.1 Avaliação da vibração	10
5.2 Avaliação quanto ao conforto	11
5.3 Avaliação quanto à saúde	12
6 CONCLUSÕES	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
ANEXO	16
APÊNDICE I.....	17
APÊNDICE II.....	18
APÊNDICE III.....	19

1. INTRODUÇÃO

Motocicletas são importante meio de transporte nacional. Comprova-se isto ao constatar o dado de que as mesmas já compõem um quarto da frota de veículos automotores brasileira. Em grandes centros urbanos o uso de motocicletas tornou-se fundamental por sua economia e agilidade em condições de tráfego constantemente congestionadas. Estes fatores são favoráveis a determinadas profissões que estão diretamente ligadas ao uso de motocicletas como moto taxistas, *motoboys*, carteiros, entregadores, seguranças privados e policiais. Aliado ao grande número de carros, a circulação deste significativo volume de motos tem sido notícia frequente quanto aos acidentes e é preocupação das administrações de grandes cidades. Há, porém, para os motoristas de motocicletas, outros agravos à saúde além dos decorrentes de acidentes. Em decorrência do uso deste veículo, os motociclistas estão sujeitos a fatores de risco como: ruído elevado, variações térmicas, vibração, inalação de poeira, fuligem, gases e vapores. A vibração a que seus ocupantes estão sujeitos provém, principalmente, das vias por onde trafegam assim como de uma parcela da própria propulsão do motor (que se encontra próxima ao condutor). Os profissionais supracitados apresentam, frequentemente, queixas sobre fadiga, dormência nas mãos, dor nas costas e coluna e ardência nos olhos. Eventualmente, tais sintomas podem evoluir para a Síndrome do túnel do carpo (punhos), tenossinovite de cotovelo e até mesmo tendinite de supra espinhal. Considerando a numerosa frota brasileira e que ainda não há ainda estudos semelhantes publicados no país, pretende-se, com esta pesquisa lançar dados específicos sobre o nível de vibração nestes veículos trazendo informações relevantes sobre conforto assim como a possibilidade de se ter condições insalubres quanto à vibração (NR-15) em profissionais que usam este veículo como meio de trabalho.

1.1 Motivação

É crescente a quantidade de motocicletas no trânsito dos centros urbanos do Brasil. O seu uso vem expandindo-se, principalmente, em relação às atividades remuneradas específicas como *motoboys* e moto táxi em razão das condições de trafegabilidades destes centros, geralmente congestionados. O aumento de motos no trânsito já complexo torna esta atividade profissional ainda mais perigosa. O número de acidentes envolvendo estes veículos tem crescido constantemente a despeito dos esforços em campanhas educativas para o bom convívio com outros veículos e o dia a dia das ruas e estradas. Porém, pouca ou nenhuma informação a respeito dos níveis de vibração a que estão sujeitos seus utilizadores, quer seja a lazer, quer seja a trabalho é difundida. No Brasil não há estudos relacionados a motocicletas neste aspecto. A literatura mundial indica um crescente interesse em avaliar estes valores assim como verificar situações em que são relatadas doenças ocupacionais graves relativas ao uso deste tipo de veículo. A edição recente de uma revisão da Norma regulamentadora e Norma de Higiene Ocupacional (NHO-09, NHO-10, 2013 e NR-15, 2014) mostra a necessidade de se verificar a condição de insalubridade quanto a níveis limite de vibração especificados, em trabalhadores que usam este tipo de veículo.

1.2 Objetivos

O presente trabalho irá avaliar, através de um estudo de caso, os níveis de vibração (VCI, vibração de corpo inteiro e VMB, vibração do sistema mão-braço) em motocicletas e analisar seu conforto e a ocorrência de condições insalubres, conforme norma NR-15, 2014, a usuários e trabalhadores que hoje exercem atividades dependentes deste meio de transporte. Pretende-se avaliar os níveis de vibração quanto ao conforto assim como o tempo de máxima exposição, segundo os níveis de vibrações recomendados pela NR-15 e ou outras normas e autores pertinentes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Já em 1986, Yokomori *et al.*, 1986, estavam preocupados com os níveis de vibração sofridos por motociclistas e já realizavam um estudo para verificar o efeito da vibração na direção de motos para diferentes tipos de pistas. Mediram a vibração sob condição de asfalto, não pavimentado e sob neve compactada. A motocicleta usada foi uma de uso diário, no Japão, de 89 cc. e 4 cilindros. Os limites da norma ISO foram excedidos, principalmente, na faixa de frequência de operação da motocicleta quando acelerada. Tal vibração era proveniente, basicamente, da transmissão da pista para o garfo dianteiro e para a direção. Interessante estudo feito por Mattioli *et al.*, 2011, revelou o caso de uma entregadora de cartas que usou uma moto de baixa potência por 15 anos e, ao final destes, constatou diversas doenças (tendinite crônica, Síndrome do túnel Carpal bilateral) que foram atribuídas ao trabalho executado. A paciente conduziu sua moto por 4h diárias levando uma carga de 20 a 30 kg, todo o dia e por diversos tipos de terreno, na Itália. Os autores sugerem que há uma relação entre o aparecimento das doenças e a exposição, devido ao trabalho da paciente, partindo de medições feitas em guidom de moto semelhante e reconstruindo a vibração recebida por 8 h equivalentes, chegando a uma magnitude de $2,4 \text{ m/s}^2$.

Na mesma linha de pesquisa, o artigo de Mohamed *et al.*, 1997, apresenta um estudo sobre a avaliação dos sintomas sentidos por 119 policiais de tráfego masculinos e 49 femininos, no Japão, avaliando e medindo o nível de vibração a que estavam submetidos ao dirigir motocicletas. Uma taxa de 4.2% de prevalência da doença dos dedos brancos foi reportada, dormência dos dedos de 19%, rigidez dos dedos de 16%, dor no ombro de 13.4% e rigidez no ombro de 45.4%. O nível de aceleração RMS (*Root Mean Square*) equivalente 4 h e 8 h medida foi de 2.8 a 4.5 m/s^2 e 2.0 a 3.2 m/s^2 respectivamente. Estudos de modificações do guidom para a atenuação da vibração transmitida ao sistema mão braço pelo desbalanceamento de motores tem sido investigado por Agostini *et al.*, 2009, com soluções alternativas de guidom com múltiplas massas sintonizadas. A avaliação de VCI sofrida por motociclistas na sua fadiga foi avaliada por Troxel *et al.*, 2015. A principal conclusão a que chega o estudo é de que a fadiga é um dos contribuintes principais para acidentes com fatalidades e colisões nos Estados Unidos da América e que, ligada a essa fadiga, está a vibração de corpo inteiro a que estão expostos os motoristas de carros e motos em geral. A fadiga gerada por esta vibração excessiva gera, segundo o artigo, sonolência e decréscimo da performance psicomotora, por exemplo, em motoristas de caminhão e moto.

Uma análise, através de medidas experimentais e modelo numérico, acerca do desempenho de motos ao passar por lombadas físicas na via e seu efeito de impacto na coluna dos motociclistas foi feita por Kiran *et al.*, 2014 em um modelo de 4 GDL. Acelerômetros colocados no assento e na coluna puderam avaliar a impedância mecânica e transmissibilidade do sistema moto-motociclista. Os dados teóricos ficaram muito próximos das medições experimentais o que pode validar o modelo de 4 GDL para esta situação. Verificou-se que o corpo humano pode absorver acelerações da ordem de 7 m/s^2 e que há uma grande sensibilidade na faixa de frequências de 5 a 7 Hz. Estudo feito por Milosavljevic *et al.* 2011 com quadriciclos usados por fazendeiros na Nova Zelândia indica que os limites da Diretiva 2002/44/EC são excedidos consistentemente assim como a ultrapassagem do limite de vibração de impacto. O estudo indicou uma prevalência de 57.7% de dores nas costas para uma exposição de apenas 12 meses. Concluem que soluções de engenharia devam ser adotadas nestes trabalhadores/fazendeiros a fim de mitigar as lesões a que estão expostos. O trabalho de Menon *et al.*, 1997, faz o estudo de um caso de problema relacionado a *ischemia digital*, que é o dano causado pelo fechamento da artéria ulnar distal, e que causa severo dano circulatório na palma da mão. O caso é de um jovem do sexo masculino, 36 anos, sendo o primeiro caso reportado para este problema em um motociclista. O diagnóstico indicativo é de que o problema surgiu pela exposição excessiva à vibração nas mãos sendo, portanto originada da única atividade regular do paciente que era a de dirigir motocicletas com frequência.

Moreno *et al.*, 2011, investiga o uso de preditores de exposição à VCI em motociclistas na Colômbia de acordo com a norma ISO-2631, 1997. Em função das medições feitas, eles

mostram que os motociclistas mais novos teriam 36,3% a mais de tempo de uso de motos que os antigos, antes que o tempo de exposição atingisse o valor de ação e que motos de maior motor (>125 cc) permitem 22,5% mais tempo de uso que aquelas de menor cilindrada. Um estudo feito em Taiwan por Chen *et al.*, 2012 nos entregadores de correio, que usam motos (25 indivíduos) mostra que apenas 1 deles apresentou medições de Valor de Dose de Vibração (VDV) acima de $17 \text{ m/s}^{1,75}$ indicando uma alta probabilidade de efeitos adversos à sua saúde seguindo as recomendações da ISO-2631-1, 1997. Entretanto, 13 dos 25 indivíduos apresentaram valores da tensão média na cervical acima de 0,8 MPa, com indicativo, segundo a ISO-2631-5, 2004, de grandes chances de problemas na coluna por vibrações de impacto. A relação entre um questionário aplicado e as medições efetuadas mostraram uma boa compatibilidade entre as reclamações e os níveis de vibração medidos.

Em recente trabalho de Chen e Tang, 2012, avaliando 45 motociclistas, feito em rotas urbanas de 20 km, o valor de dose de vibração estimada para 8 horas de exposição excedeu o limite de ação em 90 % dos casos ($17 \text{ m/s}^{1,75}$). Para o limite de tensão na cervical de 0,8 MPa, em apenas 3 horas, mais de 50 % dos motociclistas estudados teriam este limite excedido. Os riscos maiores foram observados em motociclistas do sexo masculino (22) do que nos femininos (23), indicando um potencial risco aqueles usuários deste tipo de transporte na zona urbana. Kumar *et al.*, 2013, mediu o valor de dose de vibração VDV para 6 motociclistas do sexo masculino, em diferentes perfis de pista, diferentes velocidades e com caronas, passando sobre diversos tipos de redutores de velocidade. Seguiram a metodologia da ISO-2631, 1997. Concluem que, ao aumentar a velocidade, o conforto (medido com a escala CR-10 Borg) é diminuído assim como o tempo para atingir $\text{VDV}=15 \text{ m/s}^{1,75}$. O carona sente mais desconforto com o aumento da velocidade da motocicleta quando comparado com o motociclista motorista. Concluem, por fim, que um dos redutores de vibração seria mais indicado que outro, por levar a vibrações de impacto menos severas para os ocupantes das motos.

Em 2010, Shivakumara e Sridhar, 2010, realizaram estudo sobre a vibração e seus efeitos na saúde de motociclistas. As medições experimentais foram feitas sob diversas condições de pista e condição dos motociclistas. Os valores medidos indicaram limites além daqueles considerados saudáveis pela literatura, indicando grandes probabilidades e feitos adversos à saúde dos condutores. Reportam valores de VMB bem superiores ao limite de $2,5 \text{ m/s}^2$ indicado pela Diretiva Europeia e valores de 5 m/s^2 para VCI no caso da via No. 7., mas com valores máximos instantâneos de até 48 m/s^2 . Recomendaram tornar a VMB bem abaixo de 1 m/s^2 assim como a VCI dentro do limite superior de $0,8 \text{ m/s}^2$ para enquadrar os usuários destes veículos dentro dos limites indicados na literatura como seguros. Chen *et al.*, 2009, apresentam um estudo com 12 motociclistas e que avalia o nível de vibração VCI experimentado seguindo as recomendações da ISO-2631-1, 1997 e ISO-2631-5, 2004. O estudo contou com doze motocicletas, compreendendo 6 motos de grande escala e 6 motos *scooters* sob limites de velocidade de 55 km/h e 40 km/h. O trajeto compreendeu 20,6 km de estradas vicinais e pavimentadas de trajeto urbano e rural de Taiwan. Foram medidos o VDV (8h) e a tensão na cervical (S_e). Reportam que mais de 90% dos motociclistas tiveram VDV médio de $23,5 \text{ m/s}^{1,75}$, acima da zona de ação ($17 \text{ m/s}^{1,75}$) e S_{ed} médio de 1,17 MPa, acima do limite de 0,80 MPa. Mais de 50% dos motociclistas atingiram os respectivos limites em menos de 2h de uso da moto. Relações entre os valores medidos e a velocidade da moto e tipo de terreno também foram observados.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A vibração sentida pelos usuários de motocicletas provém, basicamente, das irregularidades das pistas e do próprio motor. Uma parcela destas vibrações são amortecidas e atenuadas pelo sistema de suspensão da motocicleta e banco, outra pelo próprio usuário, o qual recebe parte desta vibração. O sistema de suspensão, assim como as irregularidades da pista, tipo de pneus e pressão dos mesmos, fazem um papel importante nos níveis de vibração que são transmitidos aos usuários (motociclista e/ou seu carona). Por outro lado, a massa do motociclista também pode exercer um papel importante nesta vibração, visto que o sistema

formado por moto e motociclista pode apresentar frequências naturais diversas, dependendo da massa de seu usuário, favorecendo a amplificação de certas vibrações que podem ser danosas quando em excesso tanto em amplitude quanto tempo de exposição.

Os principais modos de vibração de um veículo motor são movimento vertical de corpo rígido e arfagem. Entretanto, modos de vibração lateral também são encontrados, principalmente, em motos de rodas mais largas e/ou com sistema de propulsão que tenha pistões não balanceados ou em direções diferentes que a do movimento da moto.

De certa forma, os níveis e tempo de exposição a que seres humanos podem estar expostos sem que haja comprometimento quanto à sua saúde estão descritos na literatura pertinente, como em Griffin, 1990 e Harris e Piersol, 2002, obtidos de diversos ensaios assim como dados experimentais colhidos que indicam a relação causa-efeito dos níveis de vibração e tempo de exposição com os problemas relacionados. Basicamente, a vibração recebida pelo motociclista pode entrar em ressonância com algumas de suas partes físicas e, estes níveis podem ser nocivos à sua saúde, provocando danos que podem ir de simples dores musculares, incômodos, dormências, enjoo até doenças degenerativas mais graves como hérnias lombares e cervicais, Doença dos dedos Brancos, Síndrome do Túnel Carpal, etc. Para corretamente avaliar o potencial prejudicial que uma vibração pode gerar ao ser humano o parâmetro da aceleração *RMS* (Equação 3.1) assim como o valor *VDV-Vibration Dose Value* (equação 3.2) são os mais comumente empregados, visto que eles estão relacionados ao conteúdo de energia contida nas vibração recebidas.

$$a_{rms} = \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [a(t)]^2 dt \right]^{1/2} \quad (3.1)$$

$$VDV = \left[\int_{t_1}^{t_2} [a(t)]^4 dt \right]^{1/4} \quad (3.2)$$

A definição de *VDV* é mais vantajosa e seu uso é indicado para casos onde os valores da aceleração tem variações bruscas (ou picos) em relação à variação *RMS* usual, visto que ressalta a ocorrência de eventuais picos de aceleração, o que não é conseguido com o valor *RMS*.

Com vistas a corretamente selecionar a aceleração recebida e seu grau de afetação à determinada parte do corpo, as normas separam os tipos de vibração em dois grandes grupos: *VCI* (vibrações em faixa de frequência entre 0,1 Hz e 80 Hz e que afetam o corpo como um todo, de pé, sentado ou deitado) e *VMB* (vibrações na faixa de 8 Hz a 1000 Hz e que afetam apenas algum membro, braços, por exemplo). Para corretamente avaliar o efeito que estas vibrações provocam nas partes do corpo humano (efeito da ressonância), as Normas propõem curvas de ponderação que devem ser utilizadas para filtrar os valores de aceleração lidos pelos sensores para as correspondentes partes do corpo. Desta forma, as acelerações são transformadas em acelerações ponderadas para cada um dos eixos cartesianos que se esteja medindo (Equação 3.3).

$$a_{wi} = (\sum_i [W_i \cdot a_i]^2)^{1/2} \quad i = x, y \text{ e } z \quad (3.3)$$

Assim, apesar de não existir recomendação específica para o caso de motocicletas, seguindo as recomendações da ISO 2631-1, 1997 e da ISO 5349-1, 2001 para pessoas sentadas e segurando guidom, como o caso da motocicleta, as seguintes curvas de ponderação devem ser utilizadas: W_k para *VCI* direção vertical e W_d para direção *x* e *y*, e W_h para qualquer direção quando avaliando *VMB* como indicado pela Figura 3.1. A Figura 3.2 indica a orientação dos eixos de medição no caso de uma motocicleta.

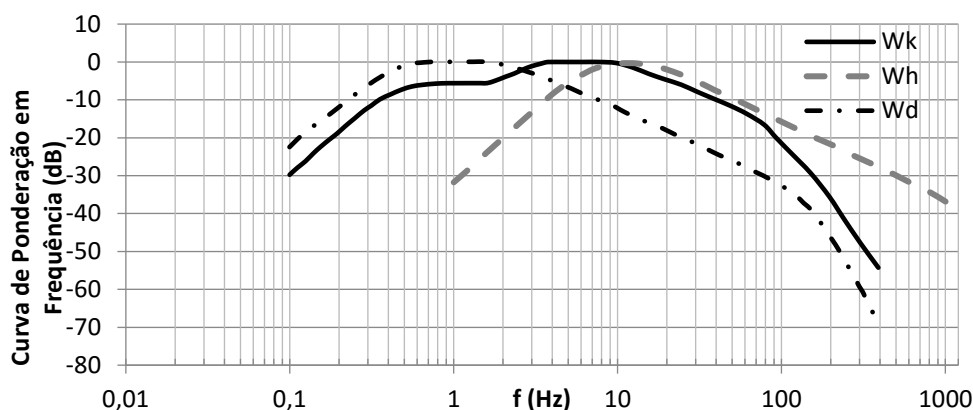


Figura 3.1 - Curva de ponderação por frequência W_k e W_d para vibração de corpo inteiro e W_h para vibração do sistema mão braço.
(Fonte: adaptada de ISO 2631-1,1997 e ISO 5349-1, 2001.)

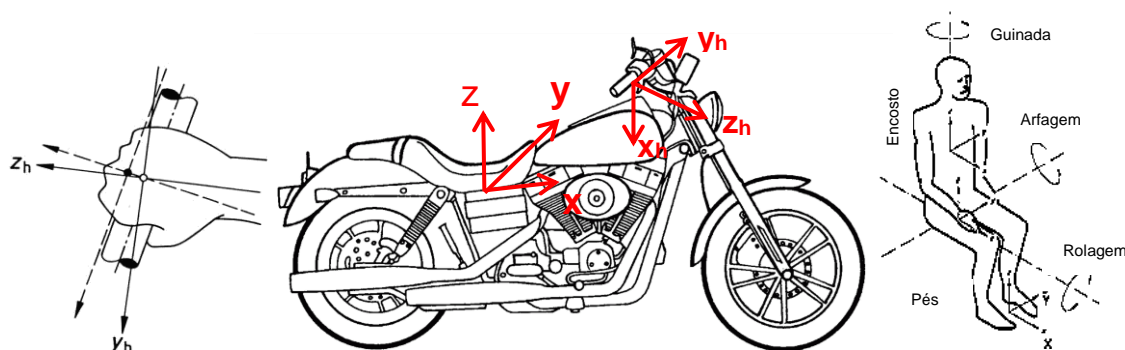


Figura 3.2 – Sistema de coordenadas basicêntrico adotado para vibração mão-braço e corpo inteiro e sua localização nos pontos de medição da moto.
(Fonte: Adaptado de ISO 5349-1:2001 e ISO 2631-1:1997).

Dentre as normas existentes para a avaliação de VCI e VMB no Brasil há a NR-15, 2014, (Norma Regulamentadora e com poder de definir insalubridades, muitas trabalhistas.) mais especificamente o Anexo 8 e a NR-09, 2014, onde há a especificação dos limites de ação (VAE, *vibration action value*, a partir do qual medidas corretivas devem ser tomadas para mitigar a exposição de vibração, com valores de $2,5 \text{ m/s}^2$ para VMB e $0,5 \text{ m/s}^2$ para VCI) e os limites de exposição à vibração (VLE, *vibration limit exposure*, acima do qual está caracterizada a condição insalubre de exposição, com valores de 5 m/s^2 para VMB e $1,1 \text{ m/s}^2$ para VCI), assim como a NHO-09 e 10, 2013, auxiliar na definição dos procedimentos equipamentos e cuidados para a medição e definições das curvas de ponderação. Para os valores de VDV as normas regulamentadoras especificam apenas os limites de ação de $9,1 \text{ m/s}^{1,75}$ e limite de exposição de $21 \text{ m/s}^{1,75}$ para VCI. Cabe ressaltar que estes valores são praticamente os mesmos indicados pela Diretiva Europeia, 2002 e da ISO-3631-1, 1997 e ISO 5349-1, 2001 (para VCI, limites de $0,8 \text{ m/s}^2$ e $1,15 \text{ m/s}^2$ e para VMB e exposição de 8h diárias $5,0 \text{ m/s}^2$ quando em 6 anos 10% de uma população exposta apresentará problemas de dedos brancos).

Para a avaliação deste valor de aceleração *RMS* equivalente, fatores multiplicativos devem ser utilizados em cada eixo medido e transformado em um valor único de vibração *RMS*. A NHO-09, 2014 e pela ISO 2631-4, 2001, recomendam valores idênticos. Assim, com a determinação dos dois fatores de correção estabelecidos é possível avaliar um valor de aceleração total ponderada, a_v , em m/s^2 :

$$a_v = \sqrt{k_x^2 \cdot a_{wx}^2 + k_y^2 \cdot a_{wy}^2 + k_z^2 \cdot a_{wz}^2} \quad (3.4)$$

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

Neste caso, duas possibilidades ocorrem para avaliar a exposição à vibração: (a) Se a medida experimental (geralmente alguns minutos) represente toda a exposição diária recebida (8h) e (b) a medida experimental (alguns minutos) represente o tempo de exposição diária total. Para estas situações deve-se determinar a aceleração total equivalente, a_{ve} , chamada aceleração equivalente da exposição normalizada, onde T_0 apresenta-se como duração de jornada de 8 horas, T como jornada efetiva do trabalhador (Griffin, 1990; Harris e Piersol, 2000; ISO 2631-1, 1997).

$$A_{(8)} = a_{ve}(T/T_0)^{1/2} \quad (3.5)$$

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Procedimentos e equipamentos utilizados

Para determinação dos valores de vibração transmitidos ao condutor da motocicleta empregou-se o uso de acelerômetros, posicionados no guidom e assento, compatíveis com o equipamento de leitura. Para análise e armazenamento das informações coletadas, o instrumento utilizado foi o Quest VI-400Pro (QUEST-TECHNOLOGY, 2005), número de série 12430. O aparelho em questão, possui capacidade de processar até quatro canais simultaneamente e possui memória interna para 32Mb para armazenamento de dados. Para o caso em questão serão utilizados três canais, para os sinais recebidos dos eixos coordenados x, y e z. Na Figura 4.1 vemos uma imagem do equipamento utilizado.



Figura 4.1 – Kit equipamentos VI400-Pro e transdutores utilizados nas medições.

Para gerar os dados de entrada no Medidor VI400-Pro para análise da vibração, fez-se uso de acelerômetros, os quais tem a função de converter a energia mecânica oriunda das acelerações sofridas pelo condutor em sinais elétricos, para que assim o analisador consiga ler os dados captados.

Para avaliar a VCI, empregou-se o uso de um transdutor do tipo *seatpad*, que apresenta formato de um disco flexível de material semirrígido padronizado e com núcleo rígido, onde os acelerômetros estão localizados. O uso deste tipo de transdutor se justifica pelo fato de se adequar ao formato do banco e não interferir na dinâmica da interface corpo/banco além de se movimentar com toda a estrutura. Neste caso, o *seatpad* utilizado é o modelo 070-030, número de série 646, com um acelerômetro tri-axial de sensibilidade nominal de 100,3 mV/g em cada um de seus eixos. Para o experimento posicionou-se o *seatpad* no assento da motocicleta, observando o alinhamento entre o núcleo do *seatpad* e a coluna do condutor, com orientação dos eixos correspondente com as exigências da norma ISO 2631-1, 1997, conforme demonstra

a ilustração da Figura 4.2; também foi observada a posição do alinhamento entre o núcleo do *seatpad* e a coluna do motorista.



Figura 4.2 – *Seatpad* posicionado corretamente no assento para procedimento de medição.

Para avaliar a VMB, foi utilizado um acelerômetro piezelétrico tri-axial Dytran, modelo 3023A2, S/N 4147, com sensibilidade nominal de 10mV/g para cada um dos seus eixos x, y e z (certificado de calibração do equipamento na Figura A.1). O acelerômetro é acoplado ao guidom da moto, de forma a ficar na posição mais próxima possível da mão do motociclista, seguindo o sistema de coordenadas basicêntrico, como definido pela norma ISO 5349-1, 2001 e apresentado na Figura 4.3. Ambos os certificados de calibração dos acelerômetros encontram-se no anexo A.



Figura 4.3 – Acelerômetro posicionado no guidom para procedimento de medição.

Para uma correta coleta de dados para análise científica, é feita a configuração dos equipamentos utilizados. Neste caso, fez-se uso do software compatível com VI-400Pro, o *Quest Suite Professional II*, que permite definir quais curvas de ponderação e fatores de correção adequadas serão utilizadas conforme a condição analisada. Adotou-se para este estudo as curvas W_h para VMB e W_d e W_k para VCI, curvas expostas na Figura 3.1.

4.2 Trajeto

Afim de padronizar o experimento definiu-se um trajeto comum a todas as motocicletas, buscando retratar as condições experimentadas por um motociclista em seu uso cotidiano. O percurso, como pode ser visto na Figura 4.4, dispõe de diferentes pavimentos e condições de

4.3 Modelos de Motos analisadas

Foram realizadas medições em sete motocicletas, de diferentes estilos, categorias, motorizações e características geométricas. São elas Neo 115, YBR 125, CG 150, CB 300R, XT 600E, V-Strom e Varadero, cujas principais características podem ser observadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1- Resumo das características das motos estudadas.

Moto	Marca	Ano	Motor	Potencia	Torque	Suspensao	Pneus	Transmissão	Massa
Neo 115	Yamaha	2005	Monocilíndrico, 4 tempos, arrefecimento a ar, 114 cm ³	8,4 cv a 8.000 rpm	0,78 kgm a 7.000 rpm	Dianteira: Garfo telescópico/90 mm Traseira: Biamortecida/55 mm	Dianteiro: 70/90-16 Traseiro: 80/90-16	CVT	101 kg
YBR 125	Yamaha	2005	Monocilíndrico, 4 tempos, arrefecimento a ar, 124 cm ³	11,2 cv a 8.000 rpm	1,28 kgm a 6.500 rpm	Dianteira: Garfo telescópico/120 mm Traseira: Biamortecida/105 mm	Dianteiro: 2,75-18 Traseiro: 90/90-18	5 velocidades, Corrente	108 kg
CG 150	Honda	2008	Monocilíndrico, 4 tempos, arrefecimento a ar, 149,2 cm ³	14,2 cv a 8.000 rpm	1,35 kgm a 6.500 rpm	Dianteira: Garfo telescópico/130 mm Traseira: Biamortecida/101 mm	Dianteiro: 80/100-18 Traseiro: 90/90-18	5 velocidades, Corrente	121 kg
CB 300R	Honda	2014	Monocilíndrico, 4 tempos, arrefecimento a ar, 300 cm ³	26,5 cv a 7.500 rpm	2,81kgf.m a 6.000rpm	Dianteira: Garfo telescópico/130 mm Traseira: Monoamortecida 105 mm	Dianteiro: 110/70-17 Traseiro: 140/70-17	5 velocidades, Corrente	148 kg (C-ABS)
XT 600E	Yamaha	2003	Monocilíndrico, 4 tempos, arrefecimento a ar, 595 cm ³	45 cv a 6500 rpm	5.10 kgf a 5500 rpm	Dianteira: Garfo telescópico/225 mm Traseira: Monoamortecida 220 mm	Dianteiro 90/90-21 Traseiro 130/80-17	5 velocidades, Corrente	172 kg
V-Strom	Suzuki	2007	Bicilíndrica, 4 tempos, arrefecimento liquido, 996 cm ³	98 cv a 7.600 rpm	10,3 kgf.m a 6.400 rpm	Dianteira: Garfo telescópico/160 mm Traseira: Monoamortecida 163 mm	Dianteiro: 110/80-19 Traseiro: 150/70-17	6 velocidades, Corrente	208 kg
Varadero	Honda	2007	Bicilíndrica, 4 tempos, arrefecimento liquido, 996 cm ³	93 cv a 6500 rpm	10 kgf a 5500 rpm	Dianteira: Garfo telescópico/155 mm Traseira: Monoamortecida 145 mm	Dianteiro: 110/80-19 Traseiro: 150/70-17	6 velocidades, Corrente	244 kg

Todas as motos testadas encontravam-se em perfeitas condições de uso, sem qualquer alteração de suas características originais. Seus pneus foram calibrados no mesmo equipamento, seguindo especificação de cada fabricante. Para padronizar as medições, todos os veículos foram conduzidos pelo mesmo piloto, este com 1,85m e 108kg, utilizando o mesmo estilo de condução em todas as sessões de medição. Na Figura 4.6, visualizam-se fotos dos modelos utilizados.



Figura 4.6 – Modelo de motocicletas utilizadas.

5 RESULTADOS

5.1 Avaliação da vibração

De uma maneira geral, observou-se que os níveis de vibração nas motos avaliadas foram elevados. Esta conclusão é válida para ambos os pontos de medição (VCI e VMB). A Figura 5.1 mostra os valores RMS (combinado nos 3 eixos) para a condição (a) VCI e (b) VMB assim como os respectivos valores de VAE (linha amarela) e VLE (linha vermelha). Estes valores são correspondentes aos indicados para a Norma ISO 2631-1, 1997 (semelhantes à NR-15, 2014 e Diretiva Europeia, 2002) para VCI e NHO-10, 2013 (semelhantes à diretiva Europeia, 2002) para VMB. Percebe-se que, a moto CB 300R, foi a que mais vibração gerou tanto para VCI quanto para VMB. No caso de VCI, a moto V-Strom apresentou menos vibração enquanto que no caso de VMB, a Neo 115 foi a que apresentou menos vibração. Percebe-se que motos de propostas de mercado muito semelhantes (V-Strom, Varadero) apresentaram valores de vibração VCI e VMB muito parecidos, enquanto que para as motos populares, estas diferenças foram maiores. Supõe-se estas similaridades ao fato das motos (V-Strom e Varadero) terem características mecânicas semelhantes, de arrefecimento à água, 2 cilindros, massa e suspensão semelhantes (Tabela 4.1).

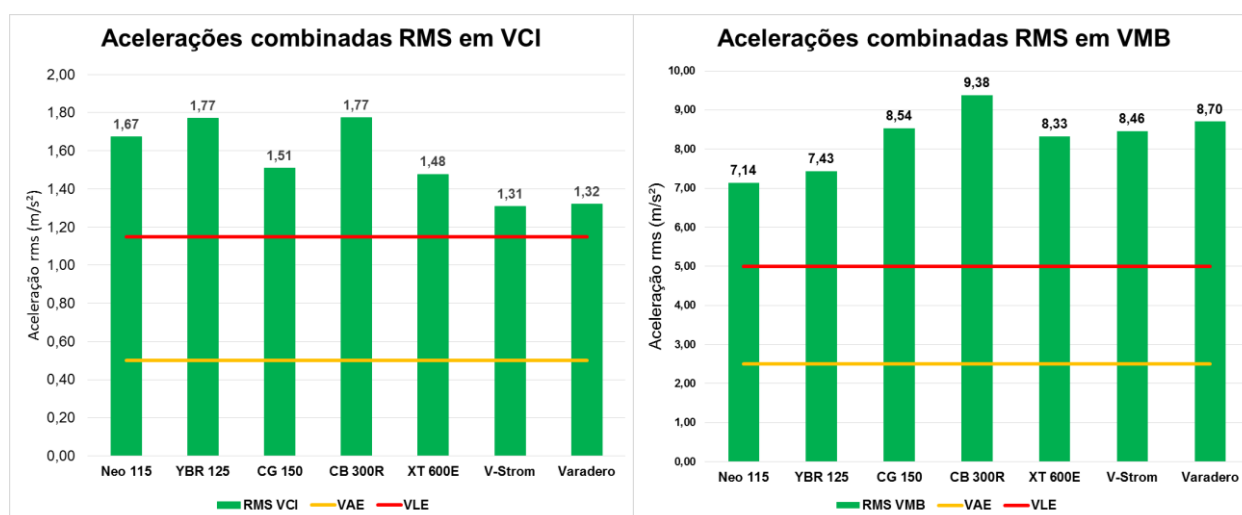


Figura 5.1 – Resultado para acelerações combinadas *RMS* nos três eixos (VCI e VMB).

Na Figura 5.2 é mostrado um gráfico para as acelerações *RMS* nos três eixos para a medição da CB 300R no trajeto medido. Percebe-se, facilmente, que no início e fim do trajeto (primeiro 1 min e últimos 2 min) ocorrem as maiores magnitudes de vibração como o esperado, devido ao pavimento nestes trechos serem de paralelepípedo irregular (Figura 4.5). Entre os tempos de 1-6 minutos, que corresponde a asfalto urbano (Figura 4.4 e Figura 4.5, asfalto em bom estado, mas moto com velocidade restrita por estar em ambiente urbano e tráfego), o gráfico apresenta diversos picos, que são ocasionados pelas lombadas, paradas excessivas de esquinas, trânsito e irregularidades do pavimento. Este tipo de via é o mais comum em grandes cidades. Entre os tempos de 6 e 7 min percebe-se o menor nível de vibração correspondentes à parada da moto em sinaleira (valor correspondente apenas à vibração produzida pelo motor), o que demonstra que a vibração oriunda do motor tem uma influência muito pequena quando comparada à condição de deslocamento. Entre os tempos de 7 a 17 min correspondentes ao trecho percorrido sobre a rodovia onde andou-se em velocidade cruzeiro, variando pouco a aceleração, nota-se um nível mais constante de vibração com alguns poucos picos atribuídos à desníveis em pontes e viadutos além de irregularidades comuns da via. Comportamentos semelhantes, qualitativamente, também foram verificados nas outras 6 motos avaliadas, com níveis de vibrações diferentes (Figura 5.1 e figuras do Apêndice III).

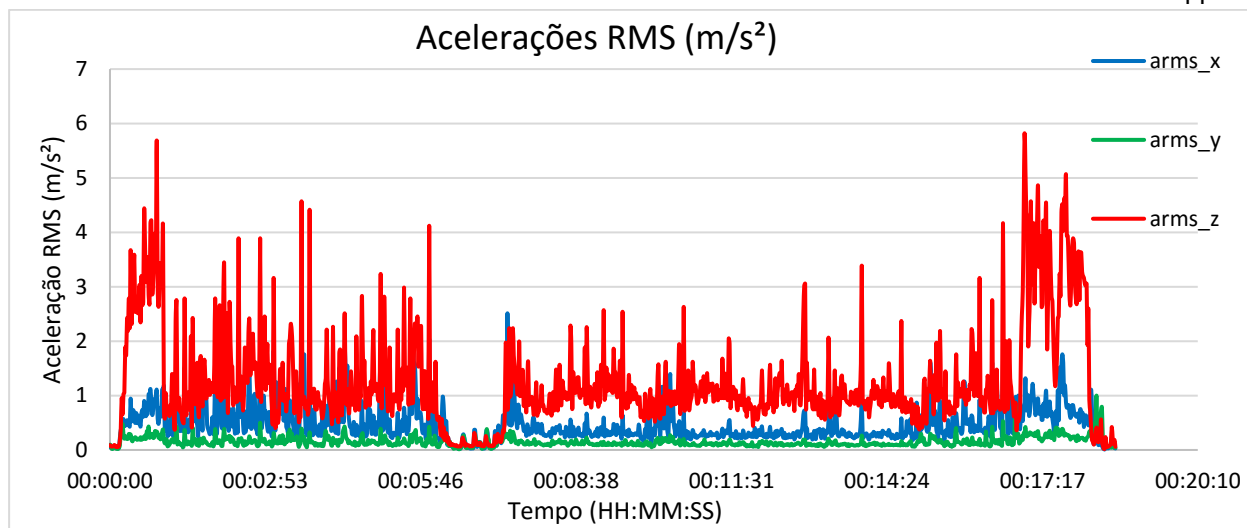


Figura 5.2 Gráfico aceleração *RMS* no assento da motocicleta CB 300R (VCI).

5.2 Avaliação quanto ao conforto

Como foi observado no item anterior, o nível de vibração em geral foi elevado, sempre acima de $1,5 \text{ m/s}^2$ em VCI em todas as motos. Assim, considerando os critérios da ISO 2631, 1997 quanto ao conforto, todas as motos obtiveram resultado de conforto ruim, variando de “desconfortável” a “muito desconfortável”. Fazendo um paralelo entre os níveis medidos e as características mecânicas das motos, percebe-se que há uma tendência de motos com maior número de cilindros vibrar menos que motos com menos cilindros. Também percebeu-se que motos com refrigeração a água apresentaram níveis de vibração menores que aquelas com refrigeração a ar. Outra correlação observada é a de que as motos V-Strom, Varadero e XT 600E, que são motos mais pesadas e de categoria *trail* (pneus de uso misto e suspensão de curso longo e macio) apresentaram níveis mais baixos de vibração.

Assumindo que as motos de maior quantidade de usuários (mais comuns e utilizadas no mercado) sendo Neo 115, CG 150, YBR 125 e CB 300R, a Honda CG 150 foi a que mostrou melhor resultado ($1,51 \text{ m/s}^2$) sendo menos desconfortável que as outras. A Tabela 5.1 indica um resumo dos resultados obtidos com as medições das motos estudadas utilizando-se como referencial os valores indicativos da ISO 2631-1, 1997 para conforto, vistos na Tabela A.1. Para outras normas e autores pode-se verificar um comparativo indicado no Anexo, Figuras A.2 e Figura A.3.

Tabela 5.1- Classificação das motocicletas quanto ao conforto, segundo norma ISO 2631-1, 1997.

Moto	Marca	a_v (m/s^2)	Classificação Conforto
Neo 115	Yamaha	1,67	Muito Desconfortável
YBR 125	Yamaha	1,77	Muito Desconfortável
CG 150	Honda	1,51	Desconfortável
CB 300R	Honda	1,77	Muito Desconfortável
XT 600E	Yamaha	1,48	Desconfortável
V-Strom	Suzuki	1,31	Desconfortável
Varadero	Honda	1,32	Desconfortável

5.3 Avaliação quanto à saúde

As Tabelas 5.2 e 5.3 apresentam os resultados de aceleração combinada a_v para cada uma das motos medidas. Também são apresentados os respectivos valores de VDV assim como os tempos necessários para atingir o VAE e o VLE (obtidos pela Equação 3.5) nas hipóteses de que o tempo de exposição é igual ao tempo de medição (aproximadamente 20 min) e de que o tempo de exposição é igual a 8 h de uma jornada diária. Lembrar que quando o tempo calculado dado na tabela, resultar em um valor inferior ao tempo de exposição, isto significará que o critério não foi atendido, indicando que haverá insalubridade (no caso de VLE) e que deve-se tomar alguma ação para diminuir a exposição no caso de VAE.

Na condição de VCI, medidas obtidas no assento, tomando a Tabela 5.2, percebe-se que todas as motos apresentaram para uma jornada de 8 h, tempos para atingir o VLE e VAE menores que 8 h, indicativo de que estaria numa situação insalubre. A situação de pior exposição é de 3,36 h para atingir VLE, na moto CB 300R, e a moto que mais tempo levaria para atingir o VLE é a V-Strom, com 6,19h necessárias.

Observando os dados da Tabela 5.2, para o caso de $T_{exp}=T_{med}$ (20 min de exposição numa jornada diária de 8 h), a moto YBR 125 apresentou um tempo necessário para atingir o VAE (limite de ação) de 1,77 h que seria um valor relativamente baixo. Supondo que feito o trajeto apenas 1 vez ao dia, não haverá problemas relacionados à saúde (VAE e VLE não alcançados) em nenhuma das motos analisadas. Ainda na Tabela 5.2 é possível visualizar, que para os valores de VDV se mostraram elevados, acima dos valores de VAE e próximos ao VLE (9,1 e 21 m/s^2 , respectivamente)

Tabela 5.2- Resumo dos resultados para aceleração *RMS* e valores VDV combinados nos três eixos (VCI).

Moto	Marca	a_v (m/s^2)	VDV ($m/s^{1,75}$)	$T_{exp} = T_{med} (~0,3h)$		$T_{exp} = 8h$	
				Tempo até atingir VAE (h)	Tempo até atingir VLE (h)	Tempo até atingir VAE (h)	Tempo para atingir VLE (h)
Neo 115	Yamaha	1,67	18,04	2,10	11,13	0,71	3,78
YBR 125	Yamaha	1,77	18,86	1,91	10,09	0,64	3,38
CG 150	Honda	1,51	14,28	2,81	14,84	0,88	4,64
CB 300R	Honda	1,77	16,83	2,04	10,82	0,64	3,36
XT 600E	Yamaha	1,48	14,52	3,04	16,11	0,92	4,85
V-Strom	Suzuki	1,31	10,93	3,89	20,56	1,17	6,19
Varadero	Honda	1,32	15,11	3,81	20,14	1,15	6,07

Na situação de VMB, avaliadas no guidom, tomando a Tabela 5.3, fica evidenciado que todas as motocicletas apresentaram para uma jornada de 8 h, tempos de VLE e VAE menores que 8 h, indicativo de que estaria numa situação insalubre. A pior situação de exposição é vista para a motocicleta CB 300R, com 9,38 m/s^2 , que ultrapassa facilmente o valor de 5 m/s^2 , limite de VLE. Com estes níveis seriam necessários apenas 2,27 h para atingir VLE, enquanto que a moto que mais tempo levaria para atingir o VLE é a Neo 115, com 3,93 h necessárias.

Conforme Tabela 5.3, para o caso de $T_{exp}=T_{med}$ (20 min de exposição numa jornada diária de 8 h), a moto CB 300R apresentou um tempo necessário para atingir o VAE (limite de ação) de 1,91 h que seria um valor relativamente baixo. Como a exposição para essa situação foi menor que todos os valores de VAE e VLE, não haverá problemas relacionados à saúde em nenhuma das motos analisadas.

Tabela 5.3- Resumo dos resultados para aceleração *RMS* combinada nos três eixos (VMB).

Moto	Marca	a_v (m/s ²)	$T_{exp} = T_{med} (~0,3h)$		$T_{exp} = 8h$	
			Tempo até atingir VAE (h)	Tempo até atingir VLE (h)	Tempo até atingir VAE (h)	Tempo para atingir VLE (h)
Neo 115	Yamaha	7,14	2,96	11,84	0,98	3,93
YBR 125	Yamaha	7,43	2,49	9,96	0,90	3,62
CG 150	Honda	8,54	2,09	8,38	0,69	2,74
CB 300R	Honda	9,38	1,91	7,66	0,57	2,27
XT 600E	Yamaha	8,33	2,39	9,58	0,72	2,88
V-Strom	Suzuki	8,46	2,32	9,28	0,70	2,80
Varadero	Honda	8,70	2,19	8,77	0,66	2,64

6 CONCLUSÕES

Vibrações em motocicletas tornaram-se um tema de interesse com o crescente aumento de utilizadores e volume deste tipo de veículo das ruas e estradas do Brasil. O uso de motos como meio de transporte e, atualmente, de trabalho, torna relevante e importante os primeiros dados medidos com estes tipos de motos no Brasil. No exterior, este tipo de medição tem se tornado mais comum, principalmente com artigos indicando relações de causa e efeito para doenças ocupacionais de trabalhadores (como carteiros motorizados) com o nível de vibração sofrido durante a sua vida laboral.

Este trabalho mediu 7 tipos de motos de diferentes marcas e modelos, sob as mesmas condições de terreno e dirigidas por um mesmo motociclista. O objetivo estava, inicialmente, em monitorar o nível de conforto oferecido pelas motos como um meio de comparação da qualidade de cada uma das motos. Posteriormente, percebeu-se que os níveis de vibração em muito excediam os limites estabelecidos por Normas, tanto para uso diário de 8 h como para tempo de uso menor. Isto acende um alerta sobre o uso de motos como meio de trabalho no que concerne aos níveis de vibração a que estariam expostos seus utilizadores.

As medições feitas seguiram rigorosos procedimentos indicados em Normas, utilizando equipamentos comerciais especificamente definidos para este fim e devidamente calibrados.

A vibração oriunda do motor, com motocicleta parada, mostrou-se baixa, indicando que com pouca carga o motor tem pouca contribuição na vibração frente a condição de deslocamento. Verifica-se que a superfície do pavimento e trânsito urbano tem maior relevância na vibração em relação à velocidade, onde trajetos em paralelepípedos geraram maiores acelerações (com menor velocidade média), e em asfalto de rodovia, mesmo com velocidade superior, ocorreu acelerações menores que asfalto urbano, devido às lombadas, carga do motor e a paradas na via por trânsito.

Percebeu-se que em todos os casos analisados, sete motos para VCI e VMB, o nível de vibração combinado excedia o nível de conforto indicado por diferentes Normas e autores. Isto coloca este meio de transporte, em níveis de conforto de vibração, em desvantagem ao transporte por ônibus e carro, comparando com estudos anteriores.

Conforme visto na análise de conforto, pode-se afirmar que todas as motocicletas testadas são desconfortáveis. As motos populares, em sua maioria, obtiveram os piores resultados, o que reforça a ideia de que o motor tem uma parcela menor na vibração global da moto. Isso leva a crer que em motocicletas maiores, com maior massa, há um cuidado maior por parte dos fabricantes, para atenuar a vibração e garantir um conforto maior do condutor, como contrapesos

no guidom, banco maior. Visto que motos ditas “grandes”, geralmente são utilizadas em viagens, por longos períodos de tempo.

Os resultados encontrados, de acelerações RMS variando entre 1,31 a 1,77 m/s² para VCI e de 7,14 a 9,38 m/s² para VMB, mostraram-se altos. Evidenciando assim que, para ambos os casos, os limites de VAE e VLE são atingidos facilmente, expondo o condutor a condições insalubres. Em decorrência disto, caso o condutor que tenha uma condição de trabalho onde sua exposição seja de 8 h diárias na condição medida, isto ultrapassa rapidamente os valores calculados de VAE e VLE. Este último resultou em limites de 3,36 h a 6,19 h para VCI e 2,27 h a 3,93 h para VMB. Essa condição de insalubridade pode, com o passar do tempo, ocasionar danos à saúde, conforme estudos têm apontado. A condição de VMB se mostrou mais crítica, visto que para todas as motos o limite foi atingido com menos de 1 h de exposição. No caso mais extremo, com apenas 0,57 h. Posto isto, profissionais que fazem uso de motocicletas em sua em sua jornada de trabalho ao longo do dia, deveriam receber adicional de insalubridade.

Ainda vale ressaltar que, para condutores de uso curto e recreativo, onde o tempo de exposição é igual a tempo medido (aproximadamente 0,3 h), ou seja, realizam o equivalente uma vez ao dia o trajeto, não foi evidenciada condição insalubre em nenhuma das motocicletas. Contudo os valores de VAE para esta exposição são relativamente baixos e podem ser alcançados com facilidade caso um motociclista tenha uma exposição um pouco mais longa, o que pode ser comum em viagens com períodos de 1 h às 3 h diárias.

Diante de tal situação de insalubridade evidenciada por este estudo, aliada a publicações que sugerem doenças relacionadas a jornadas de trabalho em motocicletas em condições insalubres, fica notória a necessidade de um estudo mais aprofundado, por parte órgãos fiscalizadores, que verifiquem uma gama maior de condições de percursos e veículos a fim de normatizar e regulamentar condições aos profissionais que exercem atividades com motos. Assim, fabricantes, para atender as normas, viriam a desenvolver soluções com o intuito de melhorar o conforto e aumentar o tempo limite de exposição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agostini, S., Barbera, A., Leo, E., Pezzola, M., Vanali, M. “Investigation on motorvehicles structural vibrations caused by engine unbalances”. Proceedings of the SEM Annual Conference, June 1-4, 2009, 10p.

Chen, H.-C., Chen, W.-C., Liu, Y.-P., Chen, C.-Y., Pan, Y.-T. “**Whole-body vibration exposure experienced by motorcycle riders – An evaluation according to ISO 2631-1 and ISO 2631-5 standards**”. International Journal of Industrial Ergonomics, V. 39, 2009, pp.708-718.

Chen, H.-C., Liu, Y.-P., Chiang, C.-T. “**Whole-Body Vibration Exposure and Musculoskeletal Complaints in Urban Mail Carriers**” Advances in Human Factors and Ergonomics Series. Edit. Gavriel Salvendy e Waldemar Karwowski, Book Chapter 49, 2012, pp.462-471.

Chen, H.-C., Pan, Y.-T. “**Whole-Body Vibration Exposure in Urban Motorcycle Riders**” Y.-K. Lin et al. (eds.), Proceedings of the Institute of Industrial Engineers Asian Conference, 2013. pp. 975-983.

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

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

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

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

ISO 5349-1. "**Mechanical vibration -- Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements**". International Organization for Standardization, 2001.

Kiran, M.C., Omkar, S.N., Vadiraj, B." **Evaluation of bio-dynamic responses of human body subjected to impacts due to speed humps**" Experimental and Computational Biomechanics, Vol. 2, No. 4, 2014.

Kumar, V., Saran, V.H., Guruguntla, V. "**Study of Vibration Dose Value and Discomfort due to Whole Body Vibration Exposure for a wo Wheeler Driver**", Proceedings of the 1st International and 16th National Conference on Machines and Mechanisms (iNaCoMM2013), IIT Roorkee, India, 18-20 de Dezembro, 2013.

Mattioli, S., Graziosi, F., Bonfiglioli, R., Barbieri, G., Bernardelli, S., Acquafresca, L., Violante, F. S., Farioli, A., Hagberg, M. "**A case report of vibration-induced hand comorbidities in postwoman**", BMC Musculoskeletal Disorders, V. 12, No. 47., 2011, pp.1-6.

Menon, K. V. , Insall, R. L., Igotus, P. I. "**Motor Cycling and Finger Ischaemia**", Case Report, European Vascular Endovascular Surgery, V.14, 1997, pp.410-412.

Milosavljevic, S., McBride, D. I., Bagheri, N., Vasiljev, R. M., Mani, R., Carman, A. B., Rehn, B. "**Exposure to Whole-Body Vibration and Mechanical Shock: A Field Study of Quad Bike Use in Agriculture**". Ann. Occup. Hyg., Vol. 55, No. 3, pp. 286–295, 2011.

Mirbod, S. M., Yoshida, H., Jamali, M., Masamura, K., Inaba, R., Iwata, H. "**Assessment of hand-arm vibration exposure among traffic police motorcyclists**". Int Arch Occup Environ Health, 1997, V.70, pp.22-28.

Moreno, R., Cardona, J., Pintado, P., Chicharro, J. "**Predictors of whole body vibration exposure in motorcycle riders**", Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia, V.61, 2011, pp. 93-103.

NHO-09. "**Normas de Higiene Ocupacional. Procedimento Técnico - Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibração de Corpo Inteiro**". Fundacentro. 64p. 2013. <http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/normas-de-higiene-ocupacional/download/Publicacao/221/NHO_09_portal-pdf>. Acessado em 30/04/2016.

NHO-10. "**Normas de Higiene Ocupacional. Procedimento Técnico - Avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços**". Fundacentro. 53p. 2013. <http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/normas-de-higiene-ocupacional/download/Publicacao/222/NHO10_portal-pdf>. Acessado em 30/04/2016.

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

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

Shivakumara B.S., Sridhar V. "**Study of vibration and its effect on health of the motorcycle rider**". Online J Health Allied Scs. 2010, V.9, No. 2(9).

Troxel, W. M., Helmus, T. C., Tsang, F., Price, C. C. "**Evaluating the Impact of Whole-Body Vibration (WBV) on Fatigue and the Implications for Driver Safety**", Research Report No. RR-1057-BOSE, Rand Corporation. <http://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1057.html>. 2015, 54p. Acessed in May, 2015.

Yokomori, M., Nakagawa, T., Matsumoto, T. "**Handlebar vibration of a motorcycle during operation on diferente riad surface**", Scandinavian Journal on Work Environmental and Health, V. 12, 1986. pp.322-337.

almont
BRASIL

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

2973-2013

Solicitante do Serviço:

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

UF: RS

Identificação do Item:

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

B.P.: 427059

Dados da calibração:

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

Item: 1

Condições Ambientais:

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

Método de Medição:

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

Padrões e Instrumentação Utilizados:

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

Figura A.1 –Certificado de calibração do equipamento VI-400 PRO.

APÊNDICE I

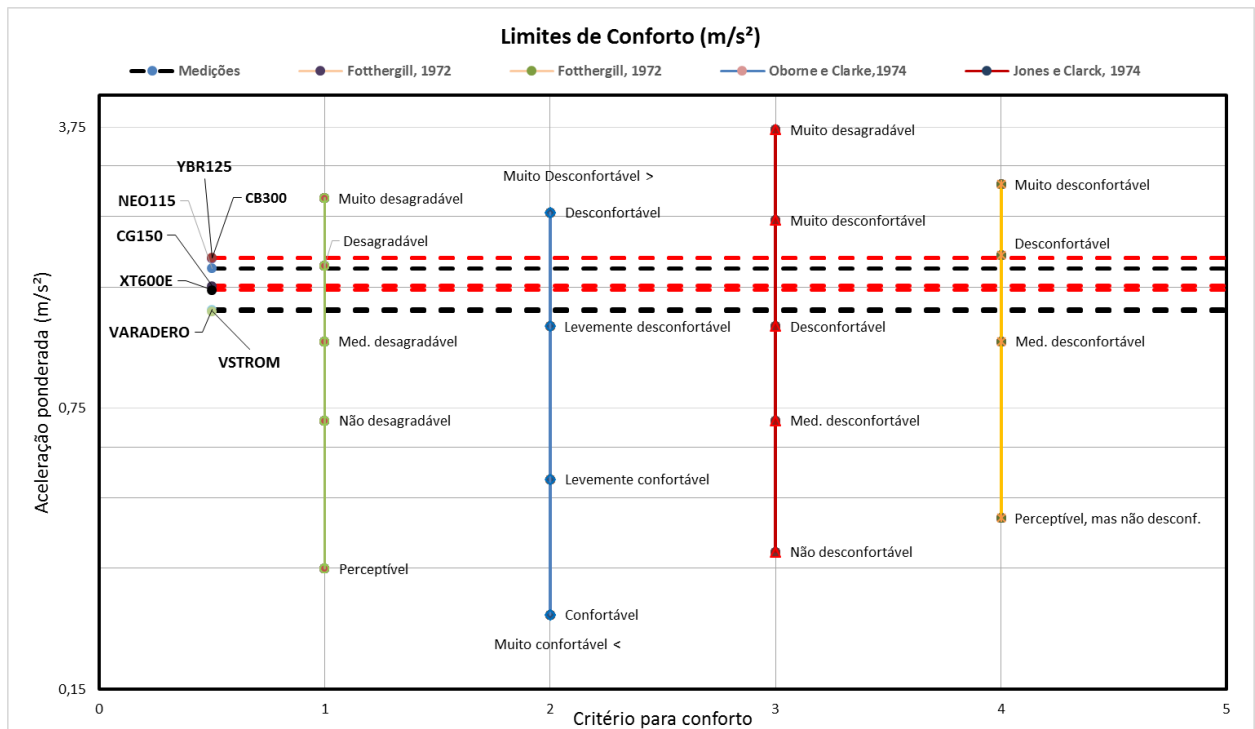


Figura A.2– Valores de Aceleração RMS ponderados comparados a critérios de conforto.

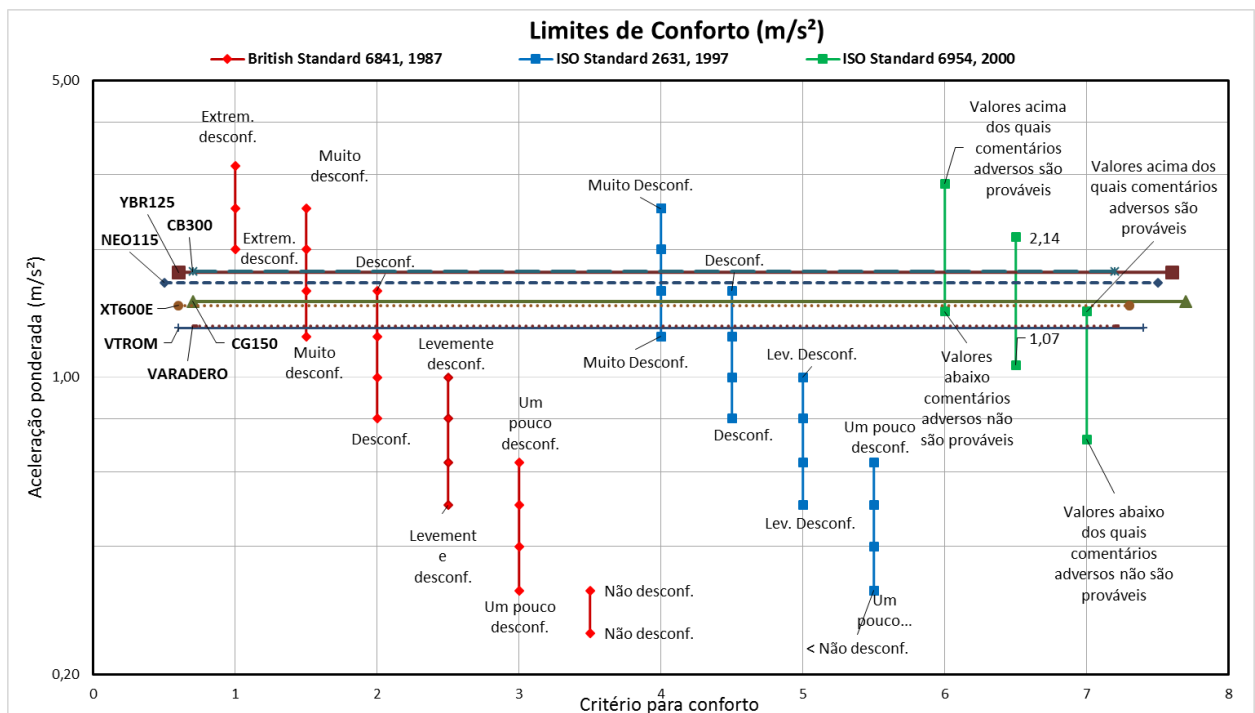


Figura A.3 – Valores de Aceleração RMS ponderados comparados a critérios de conforto. (cont.).

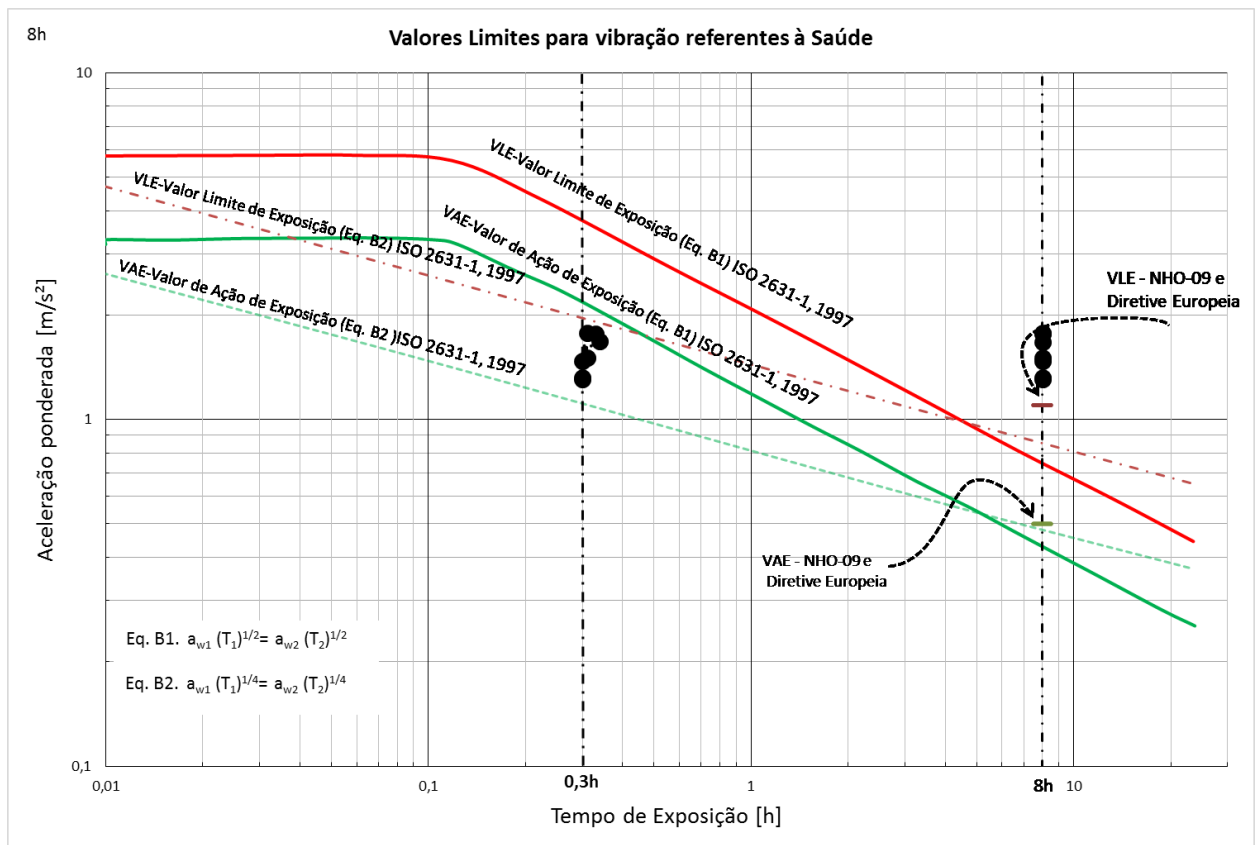


Figura A.4 – Gráfico das zonas de risco à saúde proposto pela ISO 2631-1 de 1997 (aplicado para os dados computados para todas motocicletas no trajeto proposto).

Tabela A.1- Classificação de conforto segundo norma ISO 2631-1, 1997

Conforto ISO 2631-1, 1997	
a_v (m/s ²)	Classificação
<0,315	Confortável
0,315 a 0,63	Levemente Confortável
0,63 a 1	Pouco Desconfortável
1 a 1,6	Desconfortável
1,6 a 2,5	Muito Desconfortável
>2,5	Extremamente Desconfortável

APÊNDICE III

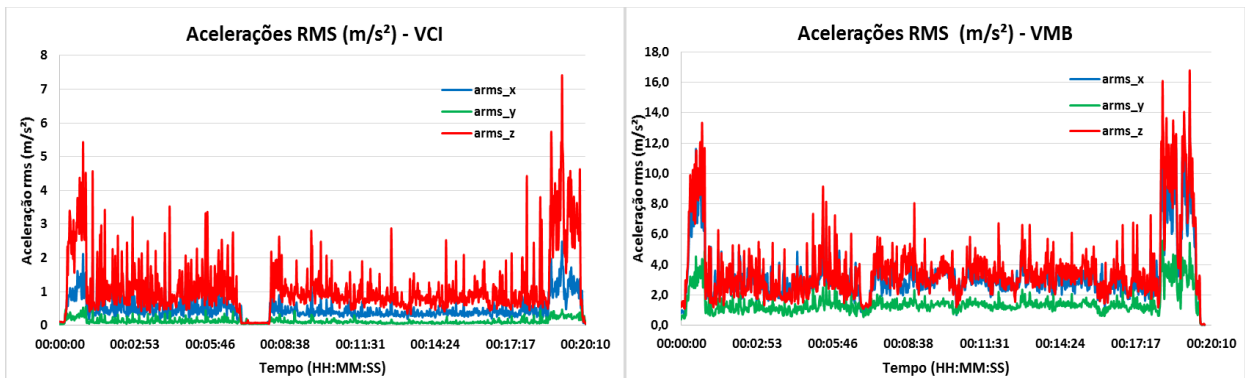


Figura A.5 – Gráficos de Aceleração *RMS* da moto Neo 115, para VCI e VMB.

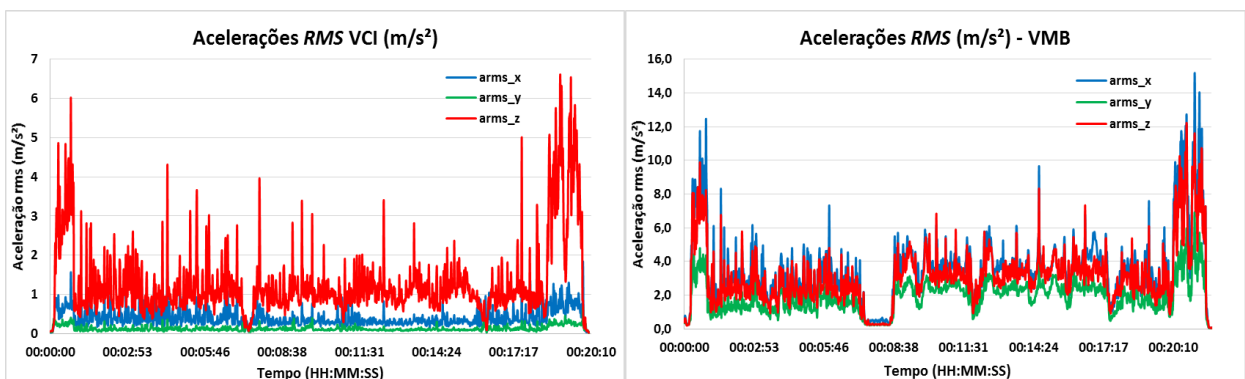


Figura A.6 – Gráficos de Aceleração *RMS* da moto YBR 125, para VCI e VMB.

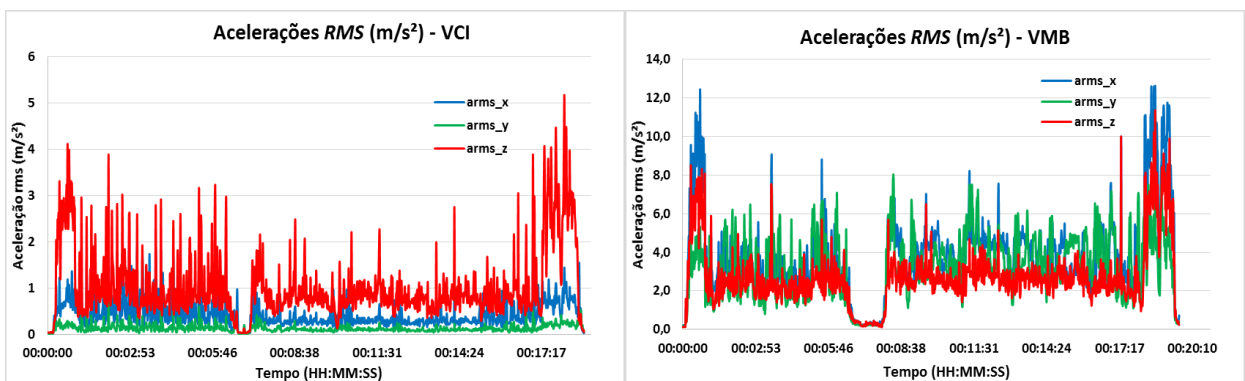


Figura A.7 – Gráficos de Aceleração *RMS* da moto CG 150, para VCI e VMB.

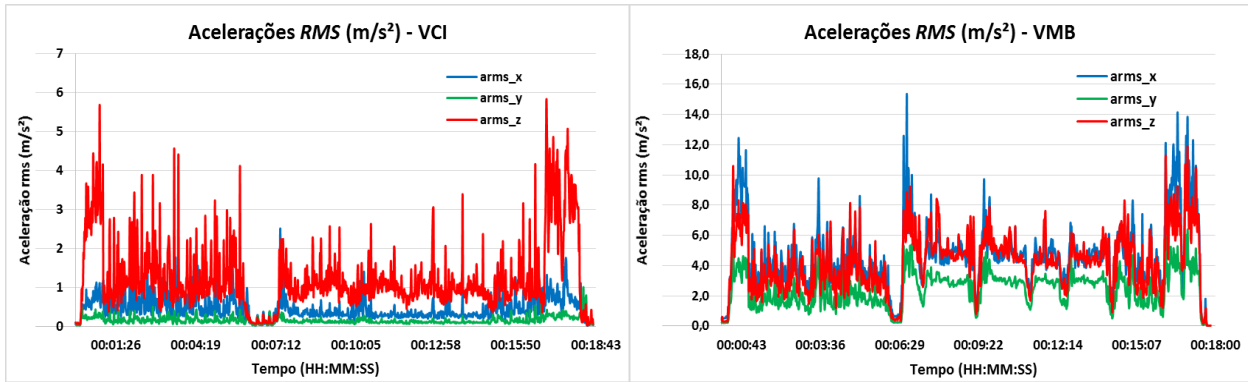


Figura A.8 – Gráficos de Aceleração *RMS* da moto CB 300R, para VCI e VMB.

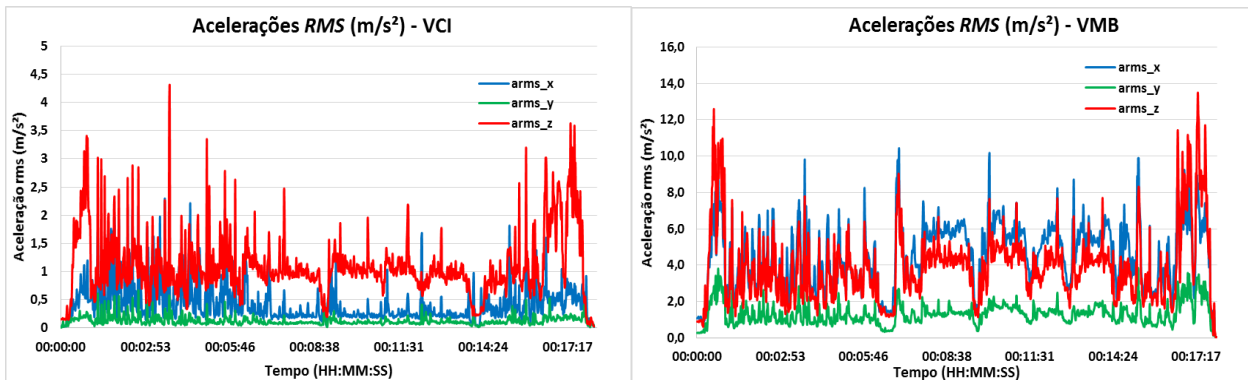


Figura A.9 – Gráficos de Aceleração *RMS* da moto XT 600E, para VCI e VMB.

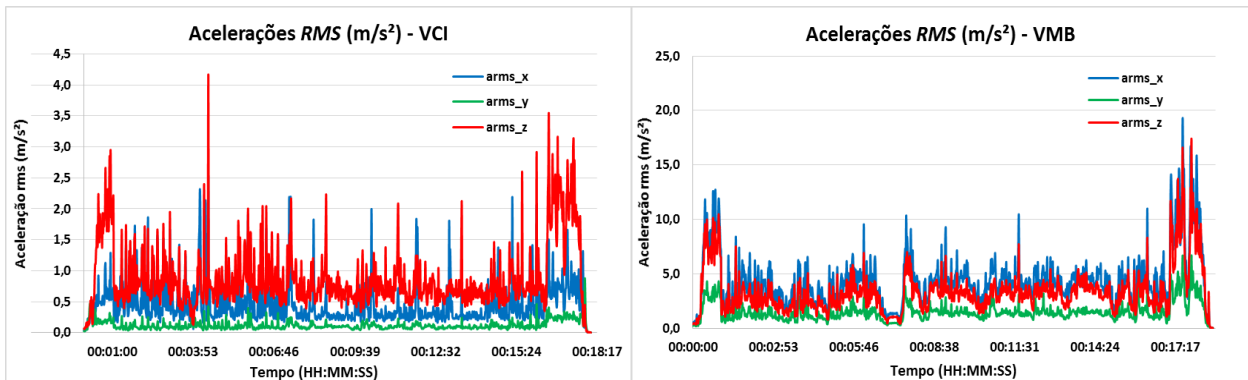


Figura A.10 – Gráficos de Aceleração *RMS* da moto V-Strom, para VCI e VMB.

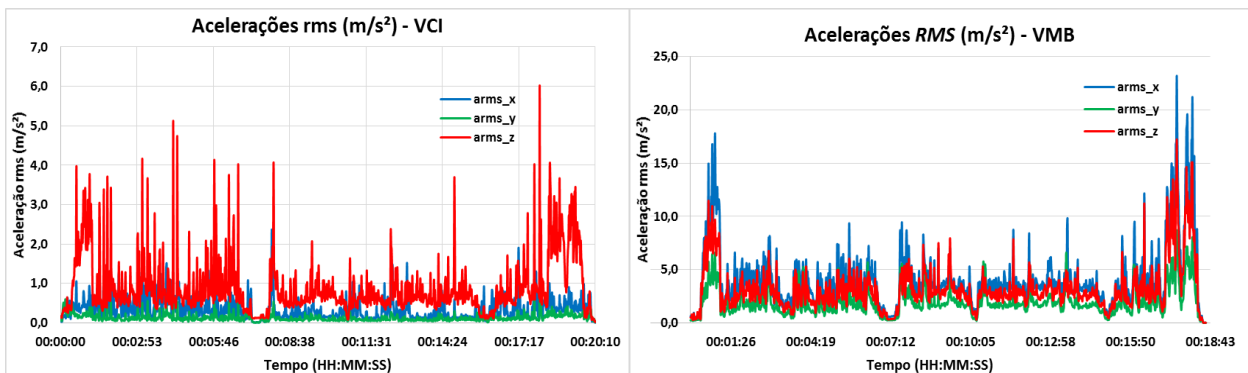


Figura A.11 – Gráficos de Aceleração *RMS* da moto Varadero, para VCI e VMB.