

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

INVESTIGAÇÃO DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO EM USUÁRIOS DE DIFERENTES
MODELOS DE BICICLETAS

por

Guilherme Oliveira Rocha

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 2019.

**INVESTIGAÇÃO DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO EM USUÁRIOS DE DIFERENTES
MODELOS DE BICICLETAS**

por

Guilherme Oliveira Rocha

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. Mário Roland Sobczyk Sobrinho
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Mecânica dos sólidos**

Orientador: Prof. Herbert Martins Gomes

Coorientador: Me. Eng. Mecânico Mário Fedatto Neto

Comissão de Avaliação:

Prof. Herbert Martins Gomes

Prof. Rodrigo Rossi

Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Porto Alegre, junho de 2019.

CIP - Catalogação na Publicação

Rocha, Guilherme de Oliveira
Investigação dos níveis de vibração em usuários de diferentes modelos de bicicletas / Guilherme de Oliveira Rocha. -- 2019.
15 f.
Orientador: Herbert Martins Gomes.
Coorientador: Mário Fedatto Neto.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto Alegre, BR-RS, 2019.

1. Vibração de Corpo Inteiro. 2. Vibração Corpo Humano. 3. Bicicletas. 4. VCI. 5. ISO 2631. I. Gomes, Herbert Martins, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

“A educação é a arma mais poderosa que você pode usar para mudar o mundo”.

Nelson Mandela

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais Gerson e Eliane pelo carinho, pelos ensinamentos e pela estrutura para que eu pudesse realizar esta graduação; agradeço à minha irmã Juliana por sempre ter sido um espelho para mim em relação aos estudos e agradeço às minhas avós Cleonice e Alzira por serem a base da minha família.

Agradeço a minha namorada Tatiana pelo apoio e companheirismo nesses últimos 10 anos da minha vida e pela compreensão nesses 5 anos de graduação, agradeço a ela de forma especial por ter se disponibilizado a ajudar nas medições deste trabalho.

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

Agradeço ao Coorientador Mário Fedatto Neto por disponibilizar 2 dos 4 modelos de bicicletas analisados e por toda a ajuda durante a execução do trabalho.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul por oferecer um ensino gratuito e de qualidade.

ROCHA, G. O. **Investigação dos níveis de vibração em usuários de diferentes modelos de bicicletas**. 2019. 15f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

RESUMO

Atualmente o meio de transporte diário e de lazer, por meio de bicicletas, está cada vez mais popular, em função de sua sustentabilidade, auxiliando na diminuição da emissão de gases de efeitos nocivos e melhorando a saúde individual do usuário e diminuindo a poluição das cidades. A investigação das vibrações atuantes em usuários deste meio de locomoção é importante para avaliar seu potencial de risco à saúde assim como avaliar seu nível de conforto, com o intuito de tornar este meio de transporte ainda mais atrativo. Este trabalho avalia experimentalmente os níveis de vibração em usuários de bicicletas a partir de um conjunto de medições utilizando acelerômetros tri-axiais e sistema de aquisição de dados. Estas informações são utilizadas para comparações com trabalhos existentes na literatura que fazem medições similares. Ao final do trabalho, são obtidas informações suficientes para classificar os níveis de vibração na atividade ciclística frente a critérios estabelecidos de conforto/saúde. Também é gerado com este trabalho, conhecimento sobre a causas da vibração e assim como propõe-se possibilidades de melhorias, quer seja em vias ou nas bicicletas propriamente ditas a fim de melhorar seu desempenho quanto ao conforto e à saúde na exposição à vibração.

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

ROCHA, G. O. **Investigation of vibration levels in users of different bicycle models**. 2019. 15f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

ABSTRACT

Nowadays, the means of daily and leisure transportation by bicycles is increasingly popular, due to its sustainability, and to be a way to help reducing emissions of harmful gases and improving the individual's health and decreasing city pollution. The investigation of the vibrations acting on users of this means of locomotion is important to evaluate their potential health risk as well as evaluate their comfort level, in order to make this way of transportation even more attractive. This work evaluates experimentally the vibration levels in bicycle users at Porto Alegre city, from a set of data measurements using tri-axial accelerometers and data acquisition system. This information is used as comparisons with existing literature that make similar measurements. At the end of the work, sufficient information is obtained to classify vibration levels in the cycling activity against established comfort / health criteria. It is also generated with this work, knowledge about the causes of vibration and so it proposes possibilities of improvements, either in roads or on the bikes themselves in order to improve their performance as to the comfort and health in the exposure to vibration.

KEYWORDS: Whole Body Vibration, Human Body Vibration, Bicycles, WBV, HAV ISO 2631, NR-15, Exposure to Vibration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Curvas de ponderação em frequência W_k , W_d para VCI e W_h para VMB.	5
(Fonte: NHO 09, 2013, adaptada de ISO 2631-1, 1997 e ISO 5349-1, 2001).....	5
Figura 3.2 – Eixos e orientações de medição para posição sentada e para apoio da mão	5
(Fonte: Adaptado de ISO-2631-1, 1997 e AMD, 2010, ISO 5349-1, 2001).	5
Figura 4.1 – Sistema de medição empregado na avaliação das bicicletas.	6
Figura 4.2 – Disposição dos acelerômetros para o procedimento de medição.	7
Figura 4.3 – (a) Bicicleta Bike POA Itaú (b) Bicicleta Yellow (c) Bicicleta Caloi <i>Strada</i> e (d) Bicicleta <i>Mountain Bike</i> South Legend.....	8
Figura 5.1 – Acelerações RMS combinadas na avaliação de vibração de corpo inteiro para uma jornada de 8 horas.	9
Figura 5.2 – Acelerações RMS combinadas na avaliação de vibração do sistema mão e braço para uma jornada de 8 horas.....	10
Figura 5.3 – Acelerações RMS combinadas na avaliação de vibração do sistema mão e braço para avaliação de conforto.	11
Figura 5.4 – Transmissibilidades garfo-assento nas direções z e y (vertical e longitudinal).....	12
Figura 5.5 – Transmissibilidade garfo-guidão nos eixos z e y (vertical e longitudinal).	12
Figura A.1 – Típicos sinais de medição em cada dos 3 acelerômetros para o trajeto medido para o usuário A na bicicleta Caloi <i>Strada</i>	16
Figura A.2 – Típicos sinais de medição em cada dos 3 acelerômetros para o trajeto medido para o usuário A na bicicleta Itaú.	16
Figura A.3 – Trajeto onde foram realizadas as medições.	17
Figura A.4 – Exemplo de dados medidos pelo Aplicativo STRAVA durante as medições do percurso.	17
Figura A.5 – Locais de medição para (a) bicicleta Mountain Bike, (b) Yellow, (c) Itaú e (d) Caloi <i>Strada</i> , respectivamente no banco, guidão e garfo (próximo ao eixo da roda dianteira).	18
Figura A.6 – Tipo de piso da ciclovia no trajeto medido.	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Classificação das bicicletas quanto ao conforto, segundo a ISO 2631-1, 1997.....	10
Tabela A.1 – Classificação de conforto segundo a Norma ISO 2631-1, 1997.....	19
Tabela A.2 – Especificações Bicicleta Caloi <i>Strada</i>	19
Tabela A.3 – Especificações Bicicleta <i>Mountain Bike South Legend</i>	20

ÍNDICE	Pág.
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
ÍNDICE	x
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 A vibração em bicicletas	2
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
3.1 Efeitos da vibração no corpo humano	3
3.2 Normas para análise de VCI e VMB.....	3
3.3 Procedimentos de Avaliação de VCI e VMB	4
4 MATERIAL E MÉTODOS	5
4.1 Procedimentos e equipamentos utilizados	5
4.2 Modelos de Bicicleta analisados	6
4.3 Trajeto e tipo de piso.....	8
5 RESULTADOS	8
5.1 Avaliação sobre o risco à saúde	8
5.2 Avaliação do conforto.....	10
5.3 Avaliação da transmissibilidade	11
6 CONCLUSÕES	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
APÊNDICE A	16

1 INTRODUÇÃO

Ultimamente nas metrópoles e capitais brasileiras tem se tornado comum o uso de bicicletas e patinetes para uso pessoal através de aplicativos. O mercado de *delivery* foi um dos que mais cresceu nos últimos anos e, de acordo com a Associação Brasileira de Bares e Restaurantes [Abrasel, 2017], movimentou cerca de R\$ 10 bilhões no ano de 2017. Os pedidos são encomendados via aplicativo de celular e as entregas de alimentos são feitas com carros, motocicletas ou bicicletas. Em um momento onde a taxa de desemprego no Brasil está, segundo dados do IBGE, 2019, em torno de 12,5%, atingindo cerca de 13 milhões de brasileiros, os aplicativos de *delivery* acabam sendo uma alternativa de obtenção de renda para uma parcela dos desempregados. Com isso, torna-se importante o estudo de vibrações em bicicletas como veículo de trabalho, bem como a análise de saúde e conforto na atividade laboral.

Empresas perceberam a possibilidade de terem um negócio lucrativo neste nicho de mercado utilizando bicicletas por impulsão humana ou mesmo bicicletas elétricas. Algumas das empresas disponibilizam as bicicletas através de pontos (estações) espalhados numa região limitada, que estão travadas através de engates que podem liberar as bicicletas através de uso de aplicativo e contratação de planos mensais ou pagamento de valores por hora ou dia de uso. Outras empresas disponibilizam o uso da bicicleta (ou patinete elétrico) sem a necessidade de estacionar numa estação da empresa, podendo a bicicleta ser deixada na rua. Em ambos os casos, o uso é limitado dentro de uma certa região da cidade, podendo-se utilizar e estacionar o veículo dentro da região delimitada.

Usuários de bicicletas estão expostos a riscos de acidentes e fatores como, por exemplo, ruídos provenientes de outros veículos, vibrações, variações térmicas, inalação de poeira, gases e vapores. A vibração em que os usuários de bicicletas estão expostos é proveniente das irregularidades do piso, sendo transmitidas para o assento e causando Vibração de Corpo Inteiro (VCI), e para o guidão, causando a Vibração do sistema Mão-Braço (VMB). O estudo desses fenômenos é importante para evitar que a vibração do corpo humano entre em ressonância com a do veículo, podendo causar dores musculares, enjoo ou até doenças degenerativas. As análises são feitas com base em normas nacionais e internacionais como as normas ISO (*International Organization for Standardization*), a Diretiva Europeia [*European Directive 2002/44/CE*] e normas brasileiras (NR - Normas Regulamentadoras e NHO - Normas de Higiene Ocupacional).

1.1 Motivação

Com o crescente número de usuários de bicicleta e, baseando-se em trabalhos passados realizados no Departamento de Engenharia Mecânica – DEMEC/UFRGS, questionou-se avaliar os referidos níveis de conforto para os tipos e modelos de bicicletas comerciais e de passeio oferecidas por empresas de compartilhamento e de aplicativos. Diversos trabalhos na literatura reportam trabalhos similares em países como Holanda, Dinamarca, etc., com o intuito de avaliar a qualidade das pistas e nível de conforto oferecido aos usuários das bicicletas. Sendo assim, o propósito deste trabalho é avaliar valores de VCI e VMB e verificar os limites da normativa NR-15, 2014, anexo 8, seguindo-se os procedimentos constantes nas normas NHO-09, de 2013, e NHO-10, 2013, referentes à VCI e a VMB, respectivamente. Também avaliar o nível de conforto sentido pelos usuários.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é o da avaliação do nível de vibração em bicicletas comerciais e de passeio utilizadas na cidade de Porto Alegre. São feitas medidas experimentais no assento, guidão e eixo do pneu dianteiro de alguns modelos de bicicletas avaliando a transmissibilidade de vibração, assim como os valores RMS de aceleração, com o intuito de avaliar o grau de conforto e, eventualmente, avaliar se há risco à saúde ao expor-se à vibração por períodos

maiores diários. Rotinas em MATLAB são desenvolvidas com o objetivo de medir as acelerações obtidas com sensores do tipo acelerômetro assim como pós-processar os dados medidos. Acelerômetros são escolhidos de forma que as medições estejam dentro de padrões aceitáveis para a medição e monitoramento dos níveis de acordo com normas internacionais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A vibração em bicicletas

Segundo George, 2009, o conceito de conforto varia de pessoa a pessoa. Psicologicamente a sensação de dor é bem mais fácil de rotular que a de conforto. Ele afirma que o ser humano é construído sem sensores de conforto, apenas para o desconforto e especificamente para a dor. Em seu trabalho relata os diversos tipos de mecanismos que podem ser colocados em bicicletas de forma a aumentar o conforto como insertos de elastômeros na suspensão, amortecedores de massa sintonizados no guidão das bicicletas, bancos e garfos com e amortecedores discretos, apenas para citar alguns.

No departamento de engenharia Mecânica da UFRGS, este tema tem sido pesquisado como no trabalho de Gomes e Savionek, 2014, no qual avaliam a exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão braço de ciclistas em atividade de lazer. Lá, diversos tipos de bicicletas, tipos de pavimento, velocidades e sujeitos com IMC diferentes são avaliados com o objetivo de identificar as configurações que geram menos vibração.

No trabalho de Hastings *et al.*, 2010, descreve-se o desenvolvimento de um sistema de testes em laboratório para medir os efeitos da vibração transmitida na performance de ciclistas. Uma esteira, juntamente com espirômetros e células de carga são utilizadas para monitorar a performance do ciclista durante a atividade. O sistema foi capaz de diferenciar entre os diferentes tipos de quadros de bicicleta, mas não houve uma significativa diferença entre a performance dos voluntários (para 5 minutos de teste). Entretanto o sistema pode validar que a magnitude da vibração transmitida coincide em valor com aqueles pretendidos e alegados pelos fabricantes das bicicletas.

Com o objetivo de avaliar a resistência à rolagem e as acelerações resultantes devido a perturbações externas para diferentes superfícies, Holzel *et al.*, 2012, testam em seu trabalho uma bicicleta de corrida em situações como placas de concreto, paralelepípedos, asfalto e cascalho auto aglutinante. Eles concluem que o conforto diminui com o aumento da velocidade e que a menor resistência de rolagem é obtida em asfalto. Eles salientam a importância de persuadir o uso das bicicletas como meio de transporte através da construção de linhas de bicicleta que sejam mais atrativas em termos de conforto.

Leblanc *et al.*, 2014a, revelam os efeitos e a importância do amortecimento na vibração transmitida a ciclistas, afirmando que adicionar amortecimento à bicicleta pode resultar em diminuição da vibração transmitida ao ciclista. Uma bicicleta projetada com insertos de gel amortecedor é testada em 3 configurações com este inserto de gel, com o inserto e material amortecedor enrolado ao quadro da bicicleta e, sem o inserto de gel. Eles concluem que em todas as configurações e medições o amortecimento adicionado não reduziu a vibração transmitida ao ciclista. As métricas usadas para a comparação são descritas em seu trabalho Leblanc *et al.*, 2014b, que são a aceleração RMS, a força transmitida e a potência absorvida pelo ciclista.

Em estudo sobre a influência das condições de teste na classificação do conforto de pneus de bicicletas urbanas, Lépine *et al.*, 2013, descreve que o peso do ciclista, o tipo de excitação (ruído branco, impacto ou excitação típica de estradas) não tem influência significativa nos níveis de vibração transmitida ao ciclista, mas que a postura do ciclista, sim. Recomenda o cuidado em testes em manter fixo este parâmetro de postura para evitar resultados duvidosos. Mesmas conclusões são apresentadas em seu artigo posteriormente Lépine *et al.*, 2014, e que foram resumidos a partir da proposição de um protocolo a ser seguido para a comparação do conforto em rodas de bicicletas numa situação não em laboratório, mas agora *in-situ* e que permite

diferenciar os níveis de vibração entre dois pares de rodas diferentes de bicicletas, embora alerte que testes de laboratório continuem sendo os mais precisos para este tipo de comparação.

Numa comparação entre efeitos dos níveis de vibração experimentada durante ciclismo em estradas e fora de estrada, Macdermid *et al.*, 2015, apresenta uma investigação onde a hipótese de que amortecimento adicional possa demandar mais trabalho do ciclista assim como um efeito psicológico (aumento do $\dot{V}O_2$) em condições idênticas de trajeto é comprovada. Chegam à conclusão que a aceleração tri-axial medida é maior no caso do trajeto *off-road* no guidão, braços, pernas e assento, mas não na coluna ou cabeça.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Efeitos da vibração no corpo humano

No caso bicicletas, as principais causas da vibração transmitida ao usuário são oriundas da via e da velocidade com que a bicicleta trafega. Além do mais, tipo de banco, tipo de pneu, pressão do pneu, peso do usuário também são fatores que podem de certa forma atenuar ou mesmo amplificar esta vibração provinda do solo. Parte das vibrações da via são parcialmente atenuados pelos acolchoados/suspensão do selim ou mesmo borrachas dos guidões e parte no sistema do pneu, mas as vibrações de impacto ou as de baixa frequência dificilmente são atenuadas. Esta vibração é sentida pelos usuários através principalmente pelas nádegas e pelas mãos e uma outra pequena parte pelos pés, que são as partes em contato com a bicicleta.

Aspectos importantes relacionados à postura do usuário, como mencionado na revisão bibliográfica, assim como dimensões da bicicleta e centro de massa resultante quando o usuário está montado podem também afetar o nível de vibração sentido. As excitações causadas nas bicicletas são transmitidas para o corpo humano, podendo entrar em ressonância, causando desde dores musculares, enjoo e até doenças degenerativas como, por exemplo, a Doença dos dedos Brancos. A atuação da vibração sobre os tecidos humanos está classificada, de acordo com suas características e devidas particularidades dentro da normatização da ISO 2631-1, 1997. Esta classificação toma por base uma simplificação da estrutura física do corpo humano, resultando num sistema biomecânico, modelado como um sistema linear, estimado por meio de um equivalente amortecido massa-mola. O valor RMS (*Root Mean Square*) da aceleração é um valor que na maior parte das vezes é o utilizado para quantificar a intensidade da vibração recebida, este valor é obtido através de uma função variável contínua $a(t)$ medida em um intervalo de tempo $T_1 \leq t \leq T_2$, como mostra a Equação 3.1.

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} [a(t)]^2 dt} \quad (3.1)$$

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

3.2 Normas para análise de VCI e VMB

Para análise dos efeitos da vibração de corpo inteiro sobre o corpo humano e sobre o sistema mão braço é necessário seguir as normas que regulam e padronizam medições e análise de vibrações. Há normas internacionais e nacionais que tratam do tema, de forma que para a realização do presente trabalho foram respeitadas as indicações e preceitos destas.

Utilizou-se a Norma reguladora NR-15, Anexo 8, 2014, que apresenta os limites de exposição diária para considerar uma atividade laboral como insalubre dentro do território Brasileiro; e a Norma de Higiene Ocupacional, redigida pela FUNDACENTRO, NHO 09, 2013, mostrando os critérios e procedimentos para a avaliação de VCI sobre trabalhadores.

A Diretiva Europeia 2002/44/CE, 2002, apresenta valores limites de exposição para VCI de $1,15 \text{ m/s}^2$ para um tempo de exposição de 8h, e de $0,5 \text{ m/s}^2$ como valor de limite de ação, abaixo do qual não haveria risco à saúde para VCI. A mesma norma indica um valor para VMB de $5,0 \text{ m/s}^2$ e $2,5 \text{ m/s}^2$ para os respectivos valores de limites de ação, para uma exposição de 8h.

A norma ISO 2631-1, 1997 trata dos métodos adequados para determinar os valores relativos à vibração e conforto e saúde humana. A ISO 5349-1, 2001 é a norma correspondente para a vibração do sistema mão braço (VMB). Os limites diários para VCI e uma exposição de 8h são de $0,48 \text{ m/s}^2$ para o limite de atenção e de 1 m/s^2 para o valor limite de exposição (além do qual a insalubridade estaria caracterizada). Para vibração VMB a norma indica um gráfico que relaciona o valor da aceleração com o tempo de exposição para que 10% de uma população exposta apresente problema de doença dos dedos brancos, de forma que para os limites de exposição e uma jornada de 8h de um tempo de vida de trabalho de 5,77 anos, tem-se os limites de $5,0 \text{ m/s}^2$ para indicar insalubridade e de $2,5 \text{ m/s}^2$ para indicar alerta na exposição.

3.3 Procedimentos de Avaliação de VCI e VMB

É imprescindível fazer as medições na interface assento/corpo e guidão/mão. Esse é o ponto de contato direto entre a estrutura da pessoa e a bicicleta, e tem a função de sustentar e guiar a pessoa e de transmitir o peso do indivíduo para a própria bicicleta.

Para o caso de vibração de corpo inteiro (VCI) as normas analisadas foram a ISO 2631-1, 1997 e a NR-15, 2014, através do Anexo 8, que indicada como guia procedimental o NHO-09, 2013, tomando como base as definições e conceitos discorridos pela redação da FUNDACENTRO. Para a vibração do sistema mão braço, segue-se a ISO 5349-1, 2001 e os correspondentes procedimentos descritos na NHO-10, 2013 e valores da NR-15, 2014.

Em função da diferente sensibilidade do corpo quando às faixas de frequências, é preciso corrigir as leituras obtidas pelos sensores com a aplicação das curvas de compensação para medições de movimentos oscilantes, com atribuição de predominância do efeito de algumas frequências e eixos sobre outras (pelo efeito da ressonância), de acordo com a sensibilidade do corpo humano para diferentes tipos e orientações do movimento.

Essa correção gera um novo valor, usando as curvas de pesos propostos pela norma de acordo com o tipo de exposição e para fim de saúde ou conforto. A equação (3.2) é a empregada para o cálculo de a_w , a aceleração ponderada em frequência em m/s^2 , que representará a aceleração RMS e W_i significará o fator de ponderação recomendado e advindo da norma [Harris e Piersol, 2000; ISO 2631-1/1997; Griffin, 1990]:

$$a_{wi} = \sqrt{\sum_i [W_i \cdot a_i]^2} \quad \text{com } i = x, y \text{ ou } z \quad (3.2)$$

A Figura 3.1 apresenta o traçado das curvas de ponderação por frequência necessárias para a determinação da vibração de corpo inteiro, os fatores W_k e W_d , são as únicas aplicadas na verificação do nível de exposição relativo à saúde em VCI. Para VMB a curva indicada é a W_h .

Com base nas curvas de ponderação e nas faixas de vibração definidas pela norma ISO 2631-1, 1997, obtém-se os fatores de ponderação para a correção da leitura da aceleração RMS na vertical, o fator W_k , e nos eixos transversais, o fator W_d , para análise de VCI na superfície de contato do assento. Para VMB, utiliza-se a curva W_h para qualquer eixo.

Há a necessidade, para a obtenção da aceleração, da estipulação de um fator multiplicador, denominado de k_i , com $i = x, y$ ou z e que tem valor tabelado na norma de acordo com o fator de ponderação. Este fator k_i se relaciona com a forma como o corpo humano percebe a vibração em diferentes partes do corpo. Os valores de ponderação também são diferenciados pelo tipo de incidência de vibração, se esta é para análise de conforto ou de saúde. Para VMB

fatores k_i são equivalentes a unidade. Desta forma a aceleração equivalente é avaliada como $a_{ve} = [(k_x a_{wx})^2 + (k_x a_{wy})^2 + (k_x a_{wz})^2]^{1/2}$. Para outros tempos de exposição a aceleração equivalente vem dada por: $A(8) = a_{ve} \sqrt{T/T_0}$ sendo $T_0 = 8h$.

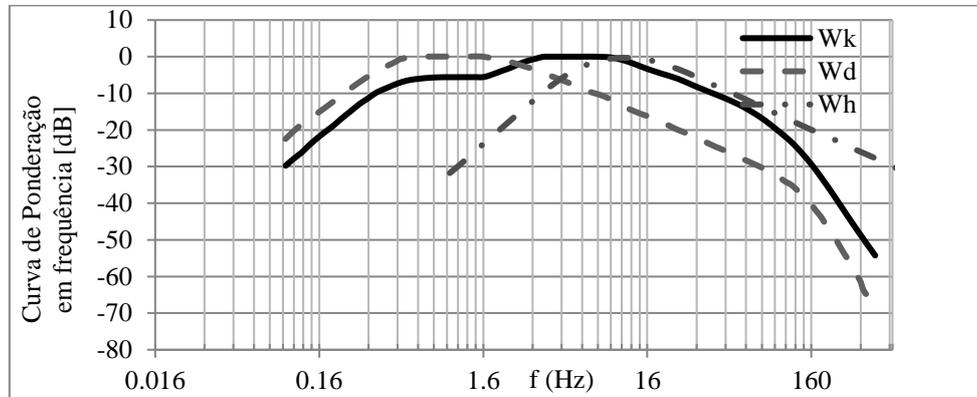


Figura 3.1 – Curvas de ponderação em frequência W_k , W_d para VCI e W_h para VMB. (Fonte: NHO 09, 2013, adaptada de ISO 2631-1, 1997 e ISO 5349-1, 2001).

A Figura 3.2 detalha a disposição dos eixos pelas normas ISO 2631-1, 1997 e ISO 5359, 2001, porém para este trabalho o eixo y foi trocado com o eixo x , para facilitar a análise dos dados. Para respeitar a composição dos eixos, o eixo z ficou apontando para baixo na bicicleta.

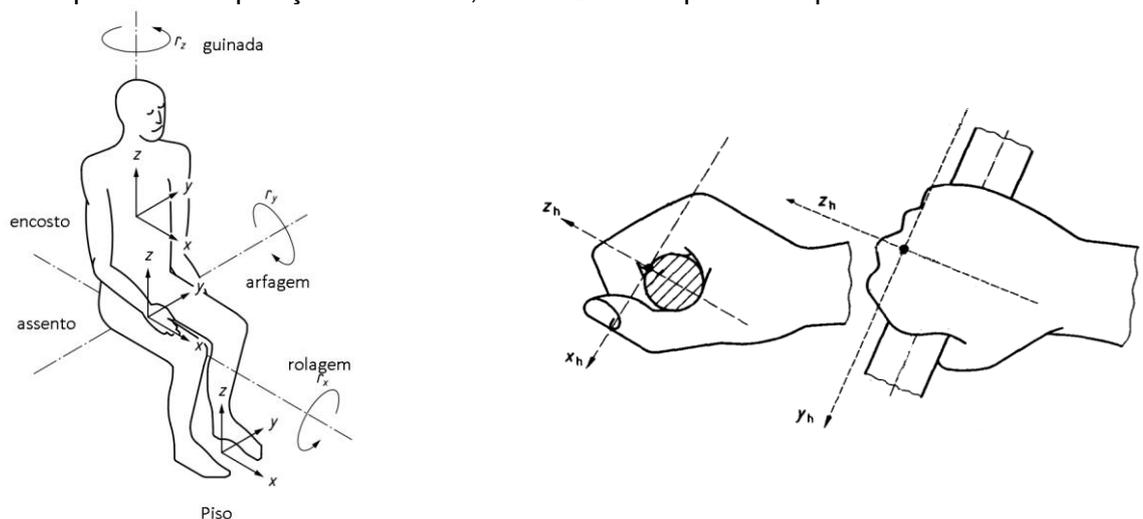


Figura 3.2 – Eixos e orientações de medição para posição sentada e para apoio da mão (Fonte: Adaptado de ISO-2631-1, 1997 e AMD, 2010, ISO 5349-1, 2001).

O parâmetro de Transmissibilidade que será avaliado neste trabalho é definido como: $T = (a_{rms,1}/a_{rms,2}) \times 100$, que é a relação entre a aceleração rms da saída (assento ou guidão) pela aceleração da entrada (eixo da roda dianteira). Haverá amplificação da vibração para $T > 100\%$ e atenuação para $T < 100\%$.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Procedimentos e equipamentos utilizados

Para a determinação dos valores vibracionais efetivamente transmitidos ao corpo, utilizou-se três acelerômetros tri axiais ligados a uma placa de aquisição. No caso, os instrumentos

usados para detectar as vibrações do experimento foram três acelerômetros analógicos do modelo da empresa Analog Devices ADXL-335 e uma placa de aquisição modelo USB-1208FS da empresa Measurement Computing, que é alimentada pela fonte USB do computador. Esta placa de aquisição tem a capacidade de interpretar informações apresentadas por oito canais, já os acelerômetros identificam estímulos dos eixos x , y e z . Sendo assim, os sensores do selim (banco) e do guidão medem as vibrações nos três eixos, já no eixo dianteiro são analisados apenas os eixos y e z .



Figura 4.1 – Sistema de medição empregado na avaliação das bicicletas.

Para gerar os dados de entrada, utilizam-se os três acelerômetros transdutores de três eixos localizados no guidão, selim e garfo da roda dianteira das bicicletas estudadas. A saída do sensor retorna sinais elétricos proporcionais a aceleração mecânica gerada nos pontos medidos, de forma que as excitações mecânicas detectadas pelos acelerômetros possam ser adquiridas e analisadas a partir de uma placa de aquisição de dados. Posicionaram-se os acelerômetros de forma com que os cabos que ligam os sensores à placa de aquisição fiquem rentes às superfícies medidas, para que não ocorram interferências de impacto dos cabos na obtenção dos dados. Para VMB, coloca-se um acelerômetro no guidão próximo a mão do condutor, de acordo com a norma ISO 5349, 2001, no selim o acelerômetro é posicionado de forma a ficar alinhado com a coluna do condutor, conforme a norma ISO 2631-1, 1997. Para a medição da transmissibilidade de vibração posicionou-se um acelerômetro no garfo da roda dianteira, conforme indicado na Figura 4.2. A orientação dos eixos dos acelerômetros foi modificada em *software*, após a aquisição dos dados, para que ficassem de acordo com o especificado pelas respectivas normas.

Para proceder à aquisição dos dados exigidos para a análise é preciso configurar os acelerômetros para que seja possível interpretar de forma correta as excitações sofridas pelos pontos medidos. Desta forma, os acelerômetros foram previamente calibrados em laboratório para as faixas de amplitude e frequência para o qual permitem medir (0-1000Hz e para $\pm 3g$ para eixos x e y e 0-500Hz e $\pm 3g$ para o eixo z local do acelerômetro, Fagundes e Gomes, 2017). Após a calibração dos sensores, procedeu-se a oito medições para o trajeto pré-definido de ida e volta com a bicicleta, sendo trajeto por pessoa e para cada modelo de bicicleta, com auxílio de um notebook equipado com o software MATLAB, responsável pelo processamento de dados e pela construção de gráficos para análise dos níveis de vibrações.

4.2 Modelos de Bicicleta analisados

Os modelos de bicicletas analisados neste trabalho foram 4, sendo elas: (i) bicicleta *Mountain Bike South Legend*, (ii) bicicleta Caloi *Strada Racing*, além das utilizadas através dos serviços de aplicativo, (iii) Bike Itaú e (iv) Yellow. A contratação dos sistemas de compartilhamento destes tipos de veículos dá-se por meio de pagamento de planos via cartão

de crédito, no caso do Bike Itaú, ou pela compra de saldo no próprio aplicativo, como no caso do Yellow. Os pneus da bicicleta Yellow são maciços, enquanto que das outras bicicletas são pressurizados com ar. A bicicleta Caloi *Strada Racing* possui pneu com pressão interna de 90 psi (0,62 MPa) sendo bem mais duros que os outros. Em relação ao sistema de amortecimento das bicicletas têm-se as seguintes configurações: o modelo *Mountain Bike* possui amortecimentos na suspensão dianteira e no selim, as bicicletas dos aplicativo Yellow e Itaú possuem apenas no selim (molas), já o modelo Caloi *Strada Racing* 2018 não possui sistema de amortecimento (apenas o acolchoado dos bancos em espuma). Os quatro modelos estão ilustrados na Figura 4.3. A Figura A.5 indica os pontos de medição e como foram fixados os acelerômetros no banco, garfo e no guidão das bicicletas respectivas. O acelerômetro 3 foi posicionado o mais próximo possível do eixo da roda dianteira, com pequenas variações dependendo do modelo da bicicleta.

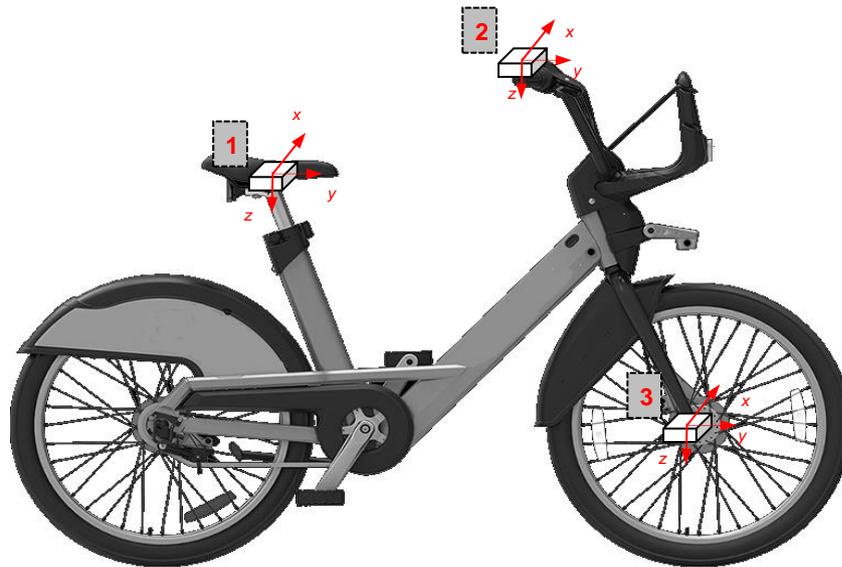


Figura 4.2 – Disposição dos acelerômetros para o procedimento de medição.

As quatro bicicletas analisadas foram compartilhadas com dois usuários com massa corporal diferente, o primeiro deles, identificado como usuário A, com 75 kg e o segundo, identificado como usuário B, com 45 kg, o IMC (Índice de Massa Corporal) de cada um deles foi de $IMC_A = 24,8$, $IMC_B = 19,7$, respectivamente. A condução das bicicletas seguiu o mesmo estilo de condução para cada usuário, simulando um trajeto típico do cotidiano. A seleção das bicicletas de cada aplicativo seguiu o mesmo procedimento de verificação da qualidade do estado de conservação, analisando-se os pneus, guidão, selim e conjunto de catraca, coroa e corrente. Todas as bicicletas utilizadas no experimento encontravam-se em perfeitas condições de uso, sem alterações nas suas características originais e não possuíam qualquer defeito no funcionamento.



Figura 4.3 – (a) Bicicleta Bike POA Itaú (b) Bicicleta Yellow (c) Bicicleta Caloi *Strada* e (d) Bicicleta *Mountain Bike* South Legend.

4.3 Trajeto e tipo de piso

O trajeto escolhido é uma ciclo faixa amplamente utilizada na cidade de Porto Alegre/RS, a fim de representar fielmente os valores de acelerações/vibrações em um trecho destinado a prática exclusiva de ciclismo. Iniciando-se e finalizando-se na Av. Vasco da Gama, com um retorno na Rua Dr. Barros Cassal, o trajeto estipulado cruza os bairros Bom Fim e Rio Branco, em Porto Alegre/RS. O trajeto completo foi de aproximadamente 3 km numa velocidade média de 15 km/h em um tempo médio de percurso aproximado de 15 minutos. A Figura A.3 indica este trajeto de ciclovia escolhido. Na Figura A.6 tem-se um detalhe do tipo de piso encontrado neste trajeto, que é de basicamente asfalto novo e asfalto desgastado com rachaduras, que é um trajeto menos crítico que um usualmente encontrado com uso do dia a dia de trabalho.

Inicia-se o percurso na Av. Vasco da Gama, próximo à Rua Mariante, os usuários das bicicletas deslocam-se até a Rua Dr. Barros Cassal onde retornam até o ponto de início do circuito. O percurso é registrado através de um smartphone equipado com o aplicativo Strava, sendo possível também obter dados referentes ao tempo de trajeto via GPS, velocidade média e distância percorrida (Figura A.4). No total foram 8 medidas, sendo 4 tipos de bicicletas e dois ciclistas diferentes, com medições simultâneas em três pontos em cada bicicleta (banco, guidão e garfo) medidos em três eixos para os dois primeiros pontos e em duas direções para o garfo.

Sinais típicos para aceleração em cada um dos pontos medidos e direções analisadas para o caso do usuário A para bicicleta Caloi *Strada* e para bicicleta Itaú são mostrados nas Figuras A.1 e Figura A.2. Percebe-se claramente os instantes em que o usuário para a bicicleta em função dos semáforos e esquinas assim como no momento em que é feita a volta no trajeto.

5 RESULTADOS

5.1 Avaliação sobre o risco à saúde

Ao realizar as medições das vibrações nos 4 modelos de bicicletas estudados e extrapolando os valores de aceleração para uma jornada de 8 horas, é possível avaliar as condições de risco à saúde para usuários frequentes, tanto para VCI quanto para VMB, em cada condição avaliada. As Figuras 5.1 e 5.2 mostram os valores combinados (a_{ve} para 8h) das acelerações RMS observados para cada bicicleta e para cada usuário (usuário A identificado pela cor azul e usuário

B pela cor vermelha), bem como o limite de exposição, indicado pela linha amarela em cada gráfico, para VCI e VMB, respectivamente. Estes valores são baseados na Norma ISO 2631-1, 1997 (semelhantes à NR-15, 2014 e à Diretiva Europeia, 2002) para VCI e na Norma ISO 5349-1, 2001 (semelhantes à NHO-10, 2013 e à Diretiva Europeia, 2002), para VMB.

Percebe-se que ao avaliar a vibração no assento, todos os modelos de bicicletas utilizados no experimento, se usadas como forma de trabalho e nas condições do trajeto avaliado (principalmente asfalto), estariam em condições de insalubridade, independentemente do usuário, visto que os valores observados para as acelerações ultrapassam o limite de exposição diário para 8h. Nota-se também que as medições do usuário A resultam em maiores níveis de vibrações para o assento para todas as bicicletas, sendo a bicicleta Caloi *Strada* a que apresentou a maior diferença entre valores da aceleração, marcando $2,695 \text{ m/s}^2$ para o usuário A e $1,944 \text{ m/s}^2$ para o B. Já na avaliação da vibração no guidão é possível notar que a única bicicleta que se manteve abaixo do limite de exposição para os dois usuários foi a Caloi *Strada*, com valores de aceleração de $3,76 \text{ m/s}^2$ para o usuário A e $3,534 \text{ m/s}^2$ para o B. As bicicletas dos aplicativos Yellow e Itaú tiveram o valor de exposição diária excedido para o usuário A e para o usuário B a exposição ficou dentro do limite de ação, porém os níveis de aceleração observados para os dois usuários na bicicleta do aplicativo Itaú, $5,013 \text{ m/s}^2$ para o usuário A e $4,432 \text{ m/s}^2$ para o B, foram menores que as do aplicativo Yellow. Já para o modelo *Mountain Bike South Legend* o valor de exposição foi excedido pelo usuário B, marcando uma aceleração de $5,614 \text{ m/s}^2$, e se manteve dentro do limite de ação para o usuário A, com uma aceleração de $4,629 \text{ m/s}^2$, sendo este o único caso dentre as medições realizadas em que a aceleração da bicicleta conduzida pelo usuário B foi maior do que a do usuário A.

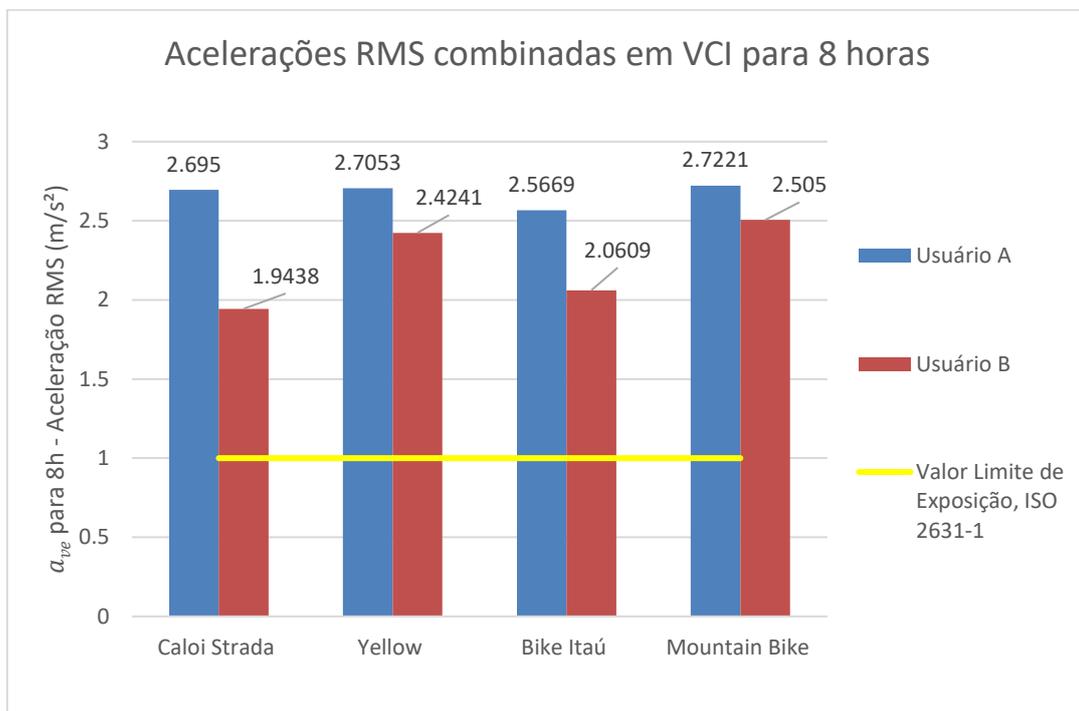


Figura 5.1 – Acelerações RMS combinadas na avaliação de vibração de corpo inteiro para uma jornada de 8 horas.

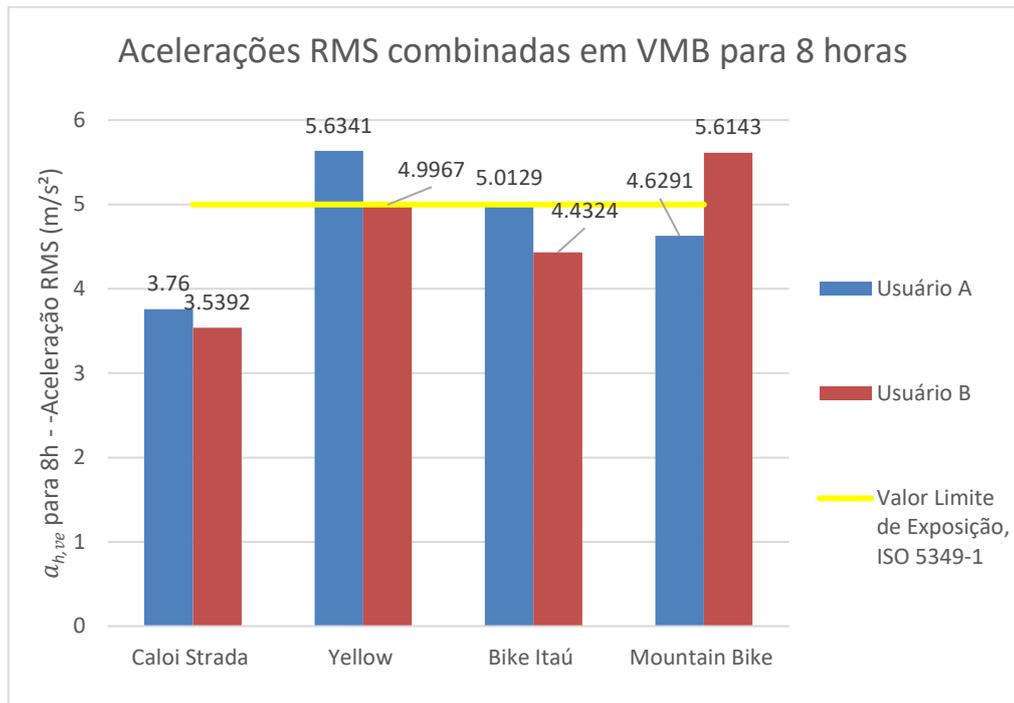


Figura 5.2 – Acelerações RMS combinadas na avaliação de vibração do sistema mão e braço para uma jornada de 8 horas.

5.2 Avaliação do conforto

Para a avaliação do conforto para VCI analisam-se as acelerações sem a utilização das curvas de ponderação. Considerando os critérios da Norma ISO 2631-1, 1997, todas as bicicletas tiveram um mau desempenho em suas classificações de grau de conforto, ficando entre “muito desconfortável” e “muito a extremamente desconfortável”, sendo a bicicleta do aplicativo Itaú o modelo que obteve a melhor avaliação de conforto em relação às demais para os dois usuários, obtendo para ambos a classificação “muito desconfortável”. A classificação quanto ao conforto para VCI e os valores de aceleração RMS medidos estão indicados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Classificação das bicicletas quanto ao conforto, segundo a ISO 2631-1, 1997.

Bicicleta	Usuário	a_v (m/s^2)	Classificação Conforto para VCI
Caloi Strada	A	2,39	Muito a extremamente desconfortável
	B	1,79	Muito desconfortável
Yellow	A	2,49	Muito a extremamente desconfortável
	B	2,33	Muito a extremamente desconfortável
Bike Itaú	A	2,23	Muito desconfortável
	B	1,97	Muito desconfortável
Mountain Bike	A	2,41	Muito a extremamente desconfortável
	B	2,39	Muito a extremamente desconfortável

Por não possuir nenhum sistema de amortecimento no eixo dianteiro ou no assento, esperava-se que os piores resultados para conforto fossem os da bicicleta modelo Caloi *Strada*, porém as bicicletas que tiveram maiores valores para as acelerações foram as do aplicativo Yellow e a do modelo Montain Bike South Legend, ambas recebendo a classificação “muito a extremamente desconfortável” para os dois usuários. Ademais, para o usuário B a bicicleta Caloi *Strada* foi a que mais se aproximou da classificação “desconfortável” que, segundo a Tabela A.1, se encontra entre acelerações de 1 m/s^2 a $1,6 \text{ m/s}^2$, portando, sendo o modelo mais confortável para o usuário B, na análise do conforto para vibração de corpo inteiro.

Com exceção do modelo Caloi *Strada*, todos os outros modelos possuem algum tipo de amortecimento no assento. Os modelos de bicicletas de serviços de aplicativo possuem uma estrutura simples, com boa regulagem do selim. A bicicleta do aplicativo Yellow possui pneus maciços, que não funcionam como amortecedores, enquanto a bicicleta do aplicativo Itáu possui pneus com câmara e, com isso, amortecem melhor as vibrações.

Para a avaliação do conforto para vibração do sistema mão braço, analisam-se as acelerações filtradas pela curva de ponderação W_h . Considerando os critérios da Norma ISO 5349-1, 2001, todas as bicicletas ficam na mesma faixa para os trajetos realizados pelos dois usuários. A classificação quanto ao conforto para todas as situações estudadas é “levemente acima do perceptível, mas abaixo do tolerável”, sendo assim, sem problemas em relação ao conforto para o sistema mão e braço. A Figura 5.3 exemplifica uma das medições para o conforto em VMB onde a linha preta e tracejada indica o limite de percepção, a linha verde indica o limite tolerável e a vermelha o limite de exposição (saúde) em função da frequência [ISO 5349-1, 2001].

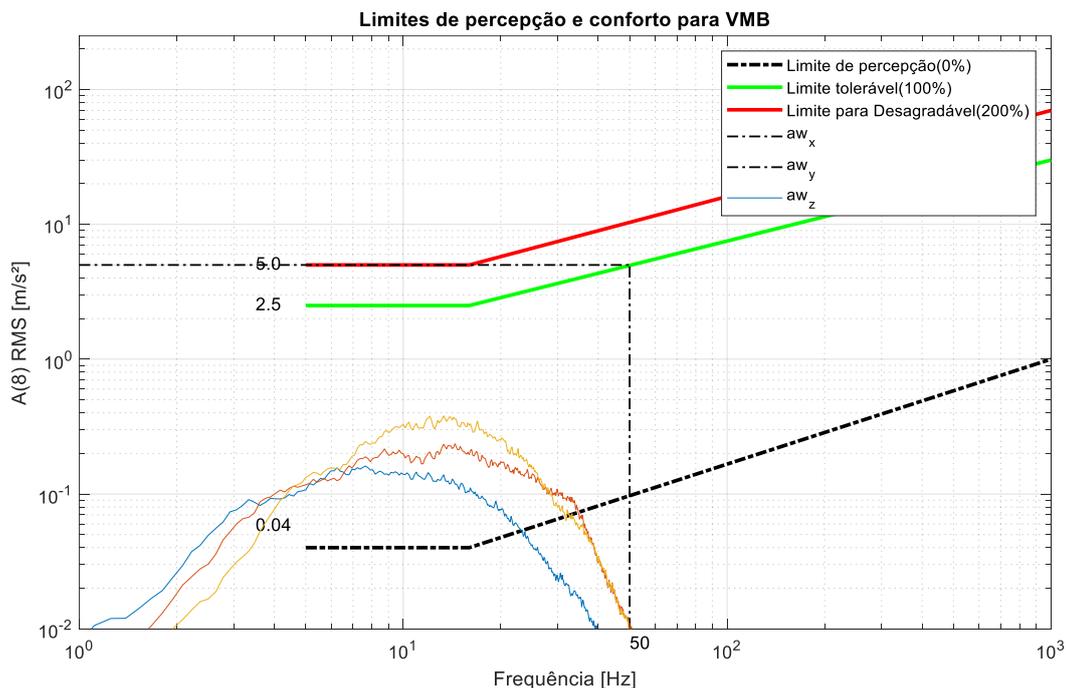


Figura 5.3 – Acelerações RMS combinadas na avaliação de vibração do sistema mão e braço para avaliação de conforto.

5.3 Avaliação da transmissibilidade

Através dos dados obtidos referentes às acelerações no garfo próximo ao eixo dianteiro é possível analisar a transmissibilidade de vibração tanto para o assento das bicicletas quanto para o guidão. Com isso, é possível analisar a ocorrência de amplificação ou atenuação da vibração nas partes das estruturas da bicicleta, ou mesmo a verificação de igualdade entre os sinais de

entrada e de saída para estes pontos medidos. Sendo assim, consegue-se avaliar a eficiência do funcionamento dos sistemas de amortecimento, tanto no garfo próximo ao eixo dianteiro quanto do assento. A bicicleta modelo *Caloi Strada* não possui nenhum sistema de amortecimento (apenas uma fina camada de espuma do banco), já os outros modelos possuem amortecimento nos assentos (molas). Além disso, a bicicleta do modelo *Mountain Bike South Legend* é equipada com amortecedores no garfo dianteiro. A Figura 5.4 mostra os resultados para a transmissibilidade entre garfo dianteiro e assento (para eixo z, todos valores abaixo de 100%), e a Figura 5.5 mostra os resultados para a transmissibilidade entre o garfo dianteiro e guidão. O usuário A está identificado pela cor azul, o usuário B pela cor vermelha e a linha amarela mostra o ponto de transmissibilidade unitária (não há amplificação nem atenuação).

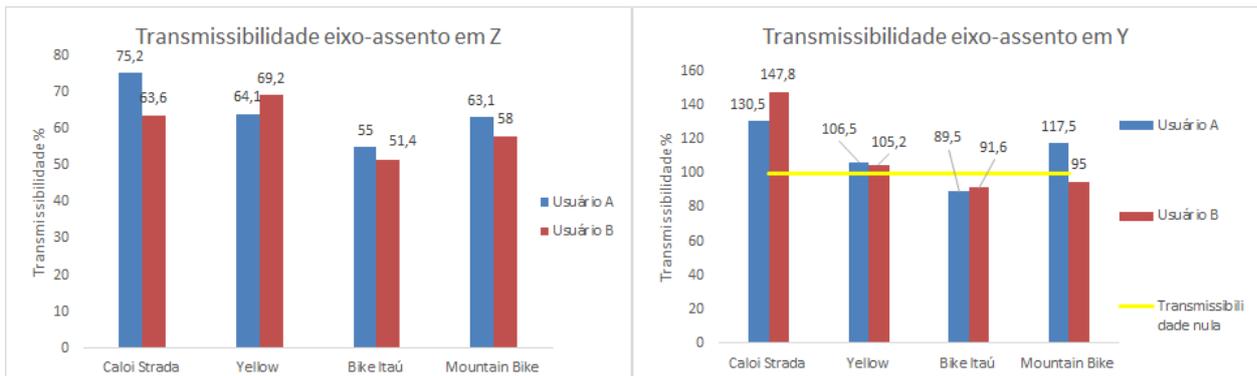


Figura 5.4 – Transmissibilidades garfo-assento nas direções z e y (vertical e longitudinal).

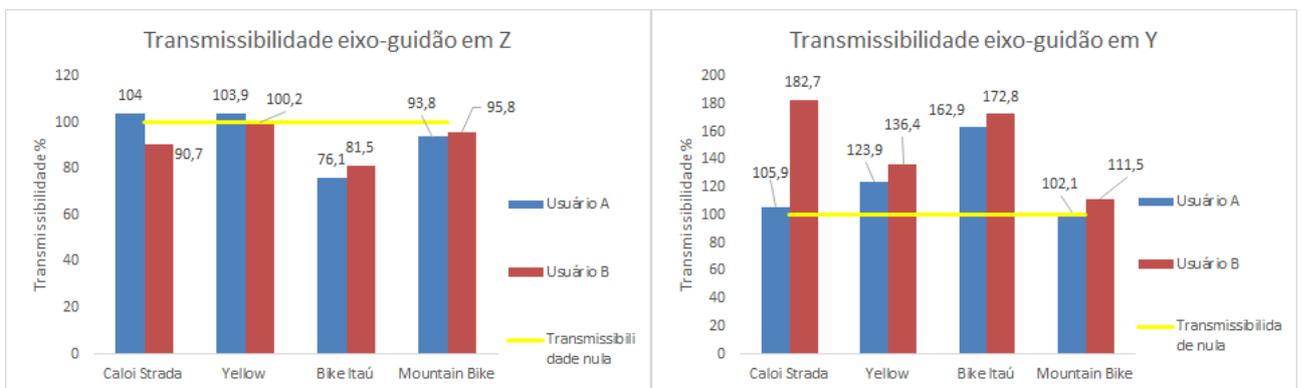


Figura 5.5 – Transmissibilidade garfo-guidão nos eixos z e y (vertical e longitudinal).

Percebe-se que na avaliação da transmissibilidade do garfo para o assento no eixo z, os amortecedores tiveram um bom resultado, em especial o modelo do aplicativo do Itaú que foi o modelo que melhor atenuou as vibrações, atenuando as vibrações em 45% para o usuário A e em 48,6% para o B. Para o eixo y, a bicicleta do aplicativo Yellow teve uma pequena amplificação da vibração para os dois usuários, no modelo *Mountain Bike* a vibração foi amplificada para o usuário A e atenuada para o usuário B. Nota-se que a amplificação de vibração do modelo *Caloi Strada* foi alta, cerca de 30% para o usuário A e quase 50% para o usuário B, isso se dá pelo fato dessa bicicleta não possuir nenhum sistema de amortecimento.

No estudo da transmissibilidade entre eixo dianteiro e guidão, a maioria dos modelos tiveram uma atenuação nos níveis de vibração no eixo z, com exceção do modelo *Caloi Strada* para o usuário A, e do modelo do aplicativo Yellow – que teve uma amplificação baixa – para os dois usuários. Avaliando a transmissibilidade no eixo y nota-se que, apesar da ocorrência de amplificação da vibração para todos os modelos, o modelo que teve uma menor amplificação

para os dois usuários foi o modelo Mountain Bike, pelo fato de possuir amortecedores no eixo dianteiro, amplificando apenas em 2,1% para o usuário A e 11,5% para o usuário B, que possui massa corporal mais baixa, o que atenua menos as vibrações. Vale destacar que no circuito realizado pelo usuário B utilizando a bicicleta Caloi *Strada* ocorreram frenagens mais bruscas, pela dificuldade do usuário conduzir este modelo devido à altura do quadro, resultando em uma transmissibilidade de 82,7%.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho mediu os níveis de vibração em 4 modelos de bicicletas, sob as mesmas condições de pista e conduzidas por dois usuários. As medições foram feitas com três acelerômetros tri axiais e avaliadas para uma jornada de 8 horas, de acordo com as Normas ISO 2631-1/1997 e ISO 5349-1/2001.

Na análise de transmissibilidade entre eixo dianteiro e assento, percebe-se que as molas/amortecedores localizados na parte de baixo do selim possuem, de forma geral, uma boa eficiência pois conseguem atenuar em pelo menos 30% os níveis de vibração no eixo z , chegando a quase 50%, como no caso da bicicleta do aplicativo Itaú. Para a transmissibilidade para o assento no eixo y , o único modelo que teve atenuação de vibração para os dois usuários foi a do aplicativo Itaú, atenuando em 10,5% as vibrações para o usuário A e em 8,4% para o usuário B, uma leve amplificação foi observada para o modelo do aplicativo Yellow na condução dos dois usuários e para o modelo *Mountain Bike* ocorreu uma amplificação para o usuário A e uma leve atenuação para o usuário B. Apesar da verificação do bom funcionamento dos amortecedores no eixo z , verifica-se que para todos os modelos estudados, independentemente do usuário que esteve guiando, os níveis de vibração obtidos no assento para a análise de VCI foram elevados, caracterizando uma condição de uso insalubre no caso de uso intensivo como meio de trabalho.

A transmissibilidade entre eixo dianteiro e guidão no eixo z teve resultados de leve atenuação para os dois usuários no modelo South Legend, devido ao sistema de amortecimento no eixo dianteiro que essa bicicleta possui. Observou-se, para os dois usuários, uma atenuação de cerca de 20% da vibração para o modelo do aplicativo Itaú. Para o modelo do aplicativo Yellow, registrou-se uma leve amplificação para os dois usuários, já para o modelo Caloi *Strada* – que não possui nenhum sistema de amortecimento – foram registradas uma leve amplificação de vibração para o usuário A e uma atenuação para o usuário B. Para o eixo y , todos os modelos tiveram amplificação da vibração, independentemente do usuário. Porém, é importante ressaltar que a amplificação de cerca de 80% para o modelo de bicicleta Caloi *Strada* conduzido pelo usuário B tem influência do fato de que nessa medição o usuário em questão teve dificuldades para guiar a bicicleta por conta da altura do quadro, realizando frenagens bruscas. Em relação à avaliação da exposição de vibração para VMB, o modelo Caloi *Strada* foi o único que se manteve abaixo do limite de exposição diário para os dois usuários, com acelerações de $3,76 m/s^2$ para o usuário A e de $3,54 m/s^2$ para o usuário B, contrariando as expectativas, visto que este modelo não possui sistemas de amortecimento. Os modelos dos aplicativos Yellow e Itaú ficam acima do limite de exposição para o usuário A e abaixo para o usuário B, registrando-se níveis de vibração maiores para o aplicativo Yellow, devido ao fato dos pneus deste modelo serem maciços e não amortecerem bem as excitações. No modelo *Mountain Bike* South Legend registrou-se que a condução do usuário A ficou abaixo do limite de exposição, e para o usuário B ficou acima do limite.

Avaliando-se as condições de conforto para VCI é constatado que nenhuma das bicicletas estão em boas condições de conforto, a bicicleta do aplicativo Itaú recebeu a melhor avaliação para os dois usuários, sendo classificada como “muito desconfortável” para os dois casos. A bicicleta Caloi *Strada* foi a que mais se aproximou da classificação “desconfortável” para o usuário B, mas ainda assim seria uma classificação ruim para conforto. Para VMB todos os

modelos ficaram abaixo do tolerável, portanto, não há problemas de conforto para o sistema mão braço.

Diante da situação de insalubridade e conforto evidenciados por este experimento para o uso de bicicletas em uma jornada de 8 horas e pelo aumento do uso de bicicletas para atividade laboral, é incentivado um estudo mais aprofundado para que sejam verificados diversos tipos de piso e de modelos de bicicletas com o propósito de normatizar e regulamentar as condições laborais dos profissionais que utilizam este transporte como meio de trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

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

G1 Economia, **“Desemprego recua para 12,5% em abril, mas ainda atinge 13,2 milhões de brasileiros”**, <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/05/31/desemprego-recua-para-125percent-em-abril-diz-ibge.ghtml>. Acessado em 09/06/2019.

George, R. **“Dynamic Ride Comfort & Measuring Vibration In Bicycles”**. Cozy Beehive: Dynamic ride comfort & measurement vibration in bicycles. Accessed in 18/03/2019.

Gomes, H. M., Savionek, D. **“Measurement and evaluation of human exposure to vibration transmitted to hand-arm system during leisure cyclist activity”**. Brazilian journal of Biomedical Engineering, V.30, No. 4, p.291-300, 2014. DOI: 10.1590/1517-3151.0546

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.

Hastings, A. Z., Blair, K. B., Culligan, K. F., Prober, D. M. **“Measuring the effect of transmitted road vibration on cycling performance”**. Internal report, Center for Sports Innovation, Massachusetts institute of technology, Cambridge, MA, USA. 2010.

Holzel, C., Hocht, F., Senner, V. **“Cycling comfort on different road surfaces”**. Procedia Engineering, V.34, p.479 – 484, 2012.

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

ISO 2631-1:1997- AMD:2010. **“Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 1: General requirements. AMENDMENT 1”**. International Organization for Standardization, 2010.

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

Leblanc, J. P. P., Lépine, J., Champoux, Y., Drouet, J. M. “**Effect of Structural Damping on Vibrations Transmitted to Road Cyclists**”. J. De Clerck (ed.), Topics in Modal Analysis I, Volume 7: Proceedings of the 32nd IMAC, A Conference and Exposition on Structural Dynamics, 2014a.

Leblanc, J. P. P., Lépine, J., Champoux, Y., Drouet, J. M. “**Effect of Structural Damping on Vibrations Transmitted to Road Cyclists**”. Procedia Engineering, V.72, p.392-397, 2014b.

Lépine, J., Champoux, Y., Drouet, J. M. “**Influence of test conditions on comfort ranking of road bicycle wheels**”.R. Allemang *et al.* (eds.), Special Topics in Structural Dynamics, V.6: Proceedings of the 31st IMAC, A conference on Structural Dynamics, 2013, Conference Proceedings of the Society of Experimental Mechanics, Series 43. 2013.

Lépine, J., Champoux, Y., Drouet, J. M. “**Road bike comfort: on the measurement of vibrations induced to cyclist**”. Sports Eng. 17:113–122. 2014. DOI: 10.1007/s12283-013-0145-8.

Macdermid, P. W., Fink, P. W., Stannard, S. R. “**The Effects of Vibrations Experienced during Road vs. Off-road Cycling**”. Int J Sports Med V.36, p.783–788. 2015. DOI: 10.1055/s-0034-1398534

Mercado & Consumo, “**Delivery de alimentos cresce e movimenta R\$ 10 bilhões**”, <https://www.mercadoeconsumo.com.br/2018/12/04/delivery-de-alimentos-cresce-e-movimenta-r-10-bilhoes/>. Acesso em 09/06/2019.

NHO-09. “**Normas de Higiene Ocupacional. Procedimento Técnico - Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibração de Corpo Inteiro**”. Fundacentro. 64p. 2013. <http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/normas-de-higiene-ocupacional/publicacao/detalhe/2013/4/nho-09-procedimento-tecnico-avaliacao-da-exposicao-ocupacional-a-vibracao-de-corpo-inteiro>. Acesso 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>. Acesso 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> . Acesso em 24/04/2016.

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

Revista Época Negócios, “**Dormir na rua, pedalar 30 km e trabalhar 12 horas por dia: a rotina dos entregadores de aplicativos**”, <https://epocanegocios.globo.com/Empresa/noticia/2019/05/dormir-na-rua-pedalar-30-km-e-trabalhar-12-horas-por-dia-rotina-dos-entregadores-de-aplicativos.html>. Acesso em 09/06/2019.

Fagundes, J. S., Gomes, H. M. “**Evaluation of the floor-seat transmissibility (SEAT) in riding vehicles and verification of vibration levels regarding health and comfort in WBV**”. In: 24th COBEM 2017 December 3-8, 2017, Curitiba, 2017. v. 1. p. 1-8.

APÊNDICE A

Medição No.:1

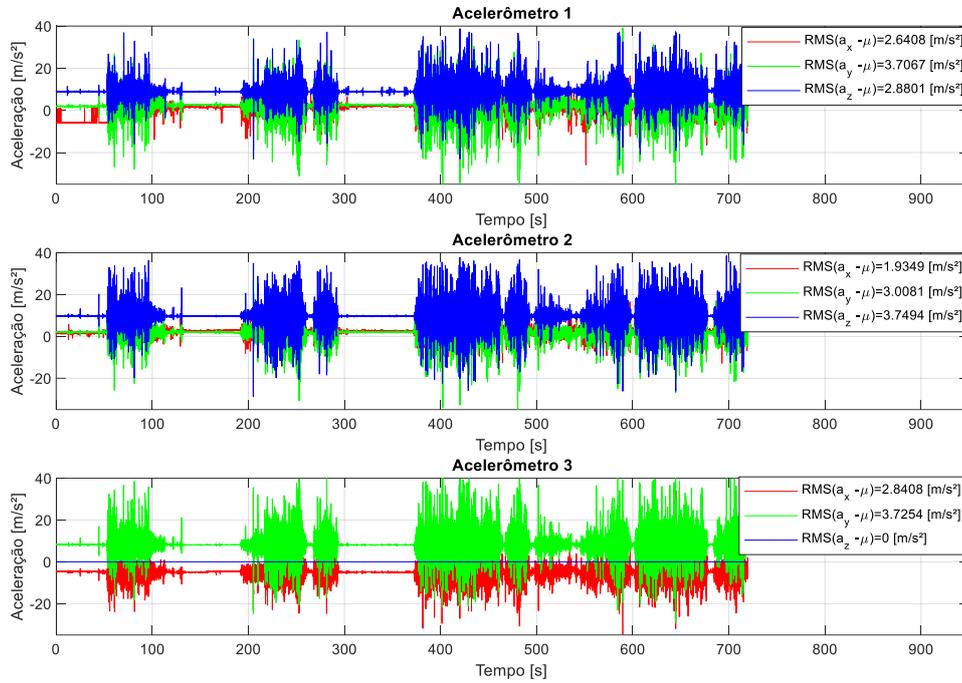


Figura A.1 – Típicos sinais de medição em cada dos 3 acelerômetros para o trajeto medido para o usuário A na bicicleta Caloi *Strada*.

Medição No.:2

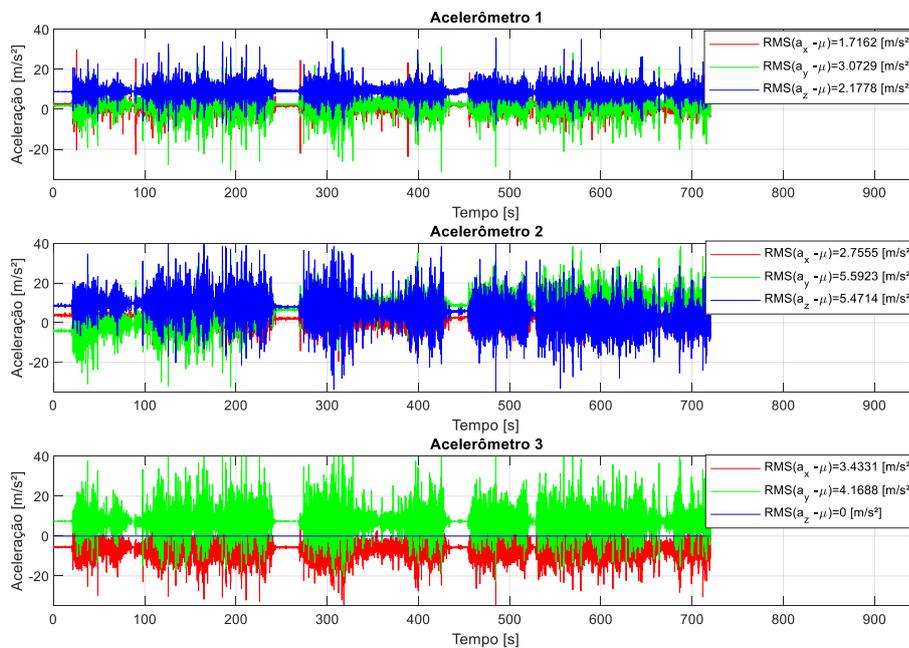
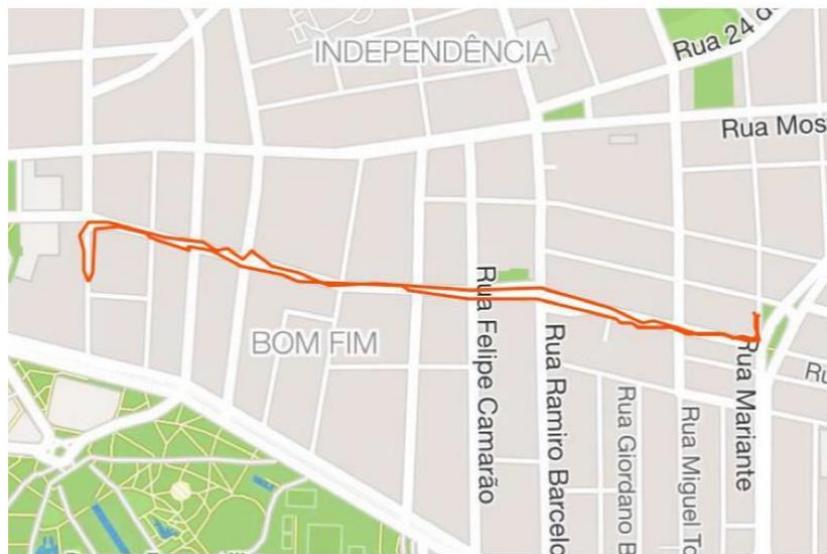


Figura A.2 – Típicos sinais de medição em cada dos 3 acelerômetros para o trajeto medido para o usuário A na bicicleta Itau.



Figura A.3 – Trajeto onde foram realizadas as medições.
(Fonte: STRAVA)

Teste Bike Itaú



Distância	Ganho de elevação
2,95 km	32 m
Tempo de movimentação	Velocidade média
11:58	14,8 km/h
Elevação máxima	Tempo decorrido
32 m	12:14

Figura A.4 – Exemplo de dados medidos pelo Aplicativo STRAVA durante as medições do percurso.
(Fonte: STRAVA)

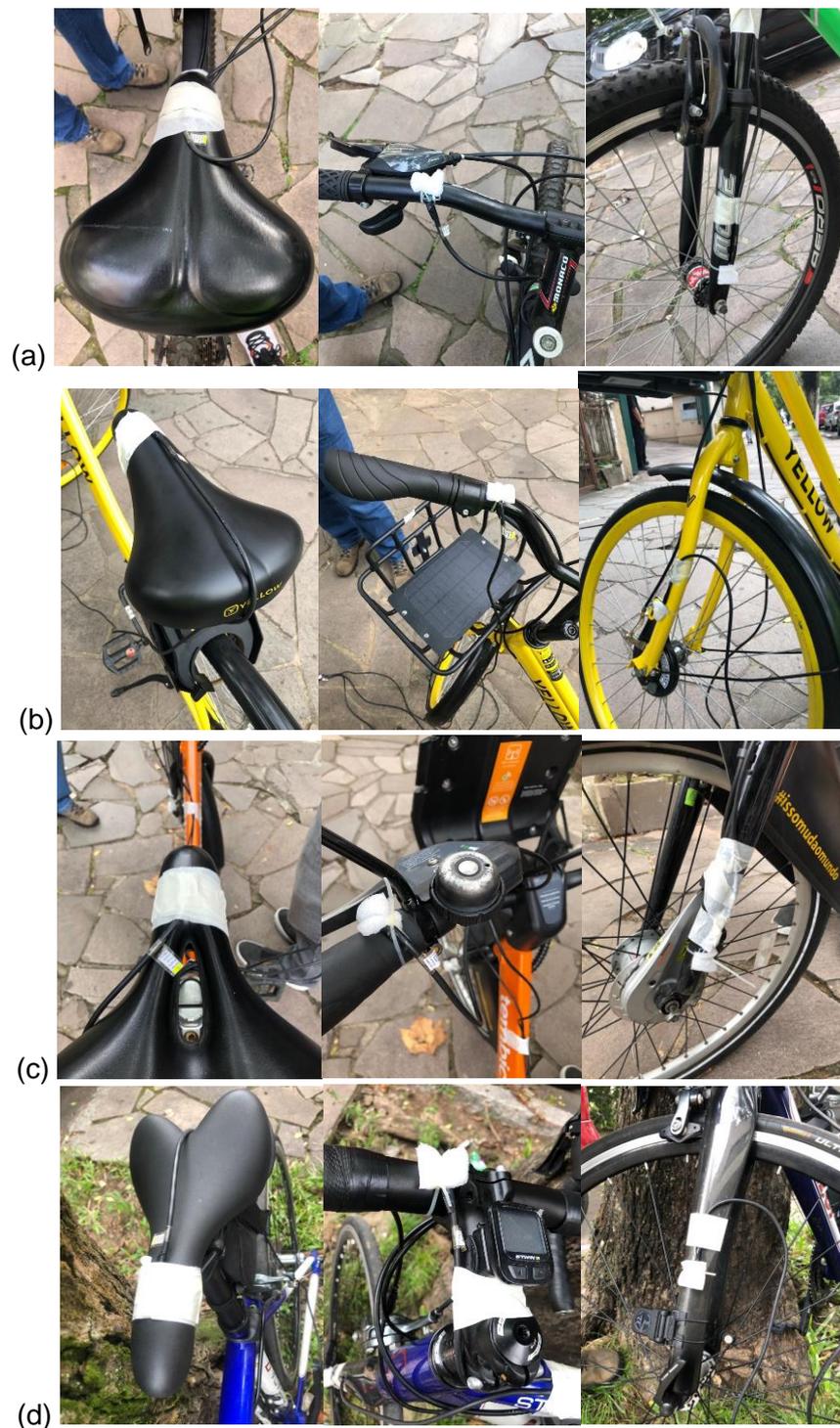


Figura A.5 – Locais de medição para (a) bicicleta Mountain Bike, (b) Yellow, (c) Itaú e (d) Caloi Strada, respectivamente no banco, guidão e garfo (próximo ao eixo da roda dianteira).
(Fonte: Autor)

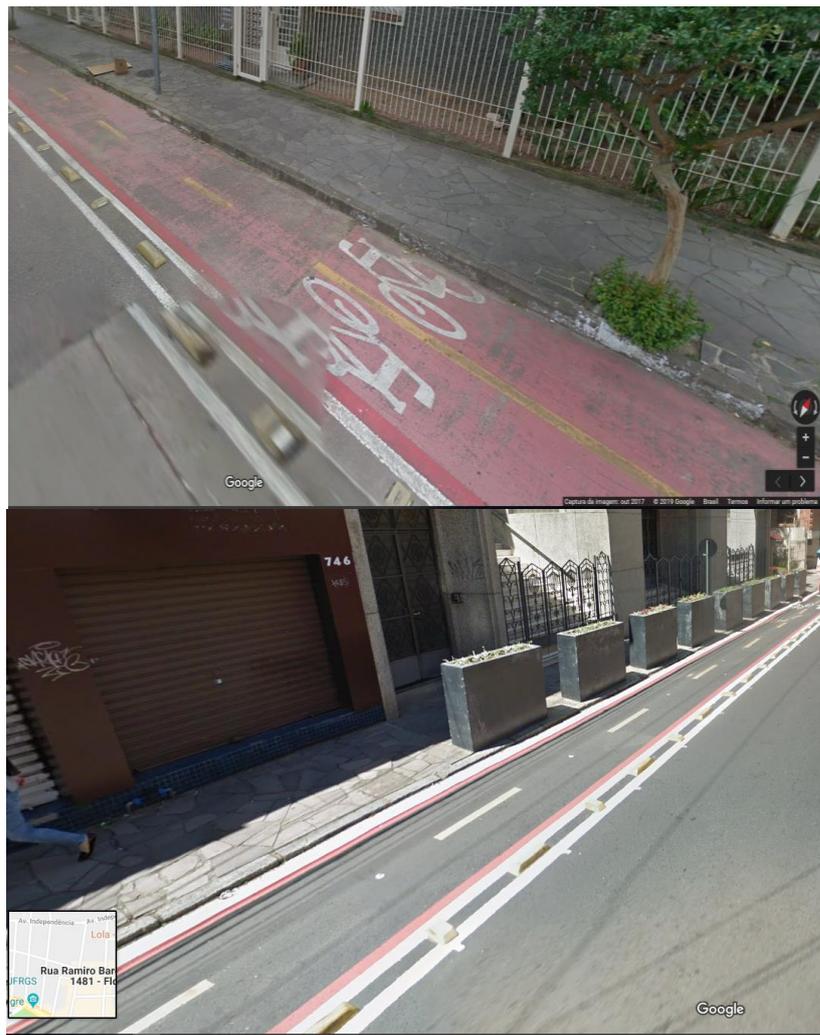


Figura A.6 – Tipo de piso da ciclovia no trajeto medido.
(Fonte: Google Street View)

Tabela A.1 – Classificação de conforto segundo a 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 1,0	Pouco Desconfortável
1,0 a 1,6	Desconfortável
1,6 a 2,5	Muito Desconfortável
>2,5	Extremamente Desconfortável

Tabela A.2 – Especificações Bicicleta Caloi *Strada*.

Especificações Caloi <i>Strada</i>
Quadro Alumínio 6061 tratado, conformado
Garfo em alumínio rígido
Cassete Shimano HG50 11-25 dentes, 8 velocidades
Câmbio Dianteiro Shimano Claris FD-R2000 2 velocidades
Câmbio Traseiro Shimano Claris RD-R2000 8 velocidades
Alavancas de Câmbio Shimano Claris ST-R2000, 16 velocidades
Corrente Shimano HG71, 8 velocidades
Pedivela Shimano Claris FC-R2000, 50-34 dentes, 170mm
Mesa alumínio
Guidão alumínio
Selim Caloi Selle Royal
Freios Shimano Claris BR-R2000
Rodas parede dupla
Pneus Continental Ultra Sport 700x23
Peso: 9,80 kg

Tabela A.3 – Especificações Bicicleta *Mountain Bike South Legend*.

Especificações <i>Bicicleta South Legend</i> - Aro 29 - Alumínio - Câmbio Shimano - 21 Marchas
Modalidade: Mountain Bike
Aro: 29
Marchas: 21
Suspensão: Dianteira
Indicado para: Locomoção
Material do Quadro: Quadro alumínio Legend 29 Southbike
Modelo e Composição do Garfo: Garfo suspensão 60mm de curso
Modelo e Composição do Aro: Aros aero 29 V-Nine VZAN alumínio parede dupla
Pneus: Pneu 29 2.10 MTB
Material do Canote: Canote alumínio com blocagem rápida
Marca e Composição do Selim: Selim MTB Southbike
Marca e Modelo do Sistema de Câmbio: Câmbio dianteiro Shimano TZ-30; Câmbio traseiro 7v Shimano TZ-50
Modelo e Composição do Guidão: Guidão <i>Mountain Bike</i> alumínio 680mm
Tipo de Freio: Freios a disco mecânico
Informação Relevante: Abraçadeira alumínio 31.8 com blocagem rápida; Roda livre 7v index; Mesa MTB alumínio 10° de inclinação;
Peso: 14.9 kg