

Medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço durante a atividade ciclística

Daniel Savionek¹
Herbert Martins Gomes²

Resumo

Este artigo apresenta um estudo de medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço durante a atividade ciclística. Medições de vibração foram realizadas para três diferentes tipos de pavimento, asfalto (AS), placas moldadas "in loco" de concreto (PC) e blocos intertravados de concreto (BI), utilizando-se dois modelos de bicicleta, *Speed* (S) e *Mountain bike* (MB), além de ciclistas com diferentes características físicas. Para cada configuração pavimento x bicicleta x ciclista, de acordo com a exposição diária à vibração A(8), como definido pela norma ISO 5349-1, foi realizada uma avaliação para uma duração diária de 2h de exposição à vibração, bem como os tempos necessários para que os limites de exposição definidos pela Diretiva 2002/44/EC fossem atingidos. Por meio de uma análise subjetiva, também se avaliou o grau de conforto em cada tipo de pavimento quanto à exposição e à vibração, de acordo com uma pesquisa de opinião, realizada com os ciclistas. Ao final, os resultados são comparados e verifica-se, tanto pelos resultados objetivos, quanto pela avaliação subjetiva, que o tipo de pavimento mais adequado para a atividade ciclística é o asfalto (AS), seguido pelas placas moldadas "in loco" de concreto (PC) e dos blocos intertravados de concreto (BI).

Palavras-chave: Exposição humana à vibração. Pavimentação em ciclovias. Vibração no sistema mão-braço.

Abstract

This article presents a study of measurement and evaluation of human exposure to hand-arm vibration in cycling activity. Vibration measurements were performed for three pavement types, asphalt (AS), "in loco" concrete molded plates (PC) and concrete interlocking pavers (BI), using two bicycle models, Speed (S) and Mountain bike (MB), besides the cyclists with different physical features. For each pavement type x bicycle model x cyclist configuration, according to the daily vibration exposure A(8), as defined by ISO 5349-1 standard, it was done an evaluation for 2-daily hour exposure to vibration, as well as the necessary time to achieve the limited exposure defined by the Directive 2002/44/EC. By a subjective analysis, it was also evaluated the comfort degree on each pavement type, considering exposure and vibration, according to a survey carried out with the cyclists. In the end, the results are compared and it is verified, either from the objective results or from the subjective evaluation, that the most appropriate pavement type for cycling activity is the asphalt (AS), followed by the "in loco" concrete molded plates (PC) and by concrete interlocking pavers (BI).

Keywords: Human exposure to vibration. Pavement on cycling paths. Hand-arm system vibration.

1 Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil e sócio da RGF Propriedade Industrial, Porto Alegre, RS. E-mail: daniel.savionek@rgf-ip.com.br

2 Doutor em Engenharia pela UFRGS e professor do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: herbert@mecanica.ufrgs.br

1 Introdução

A atividade ciclística vem crescendo muito nos últimos anos, seja como meio de lazer, prática de atividade física ou como meio de transporte alternativo. Segundo Gregor, Broker e Ryan (1991), numerosas características de equipamentos relacionados ao desempenho do ciclismo têm sido investigado como, a altura ótima do assento, comprimento do pedivela, correntes e configurações do guidão. Essas investigações têm conseguido melhorar o projeto desses equipamentos e o desempenho do atleta. Embora haja pesquisas em equipamentos e dispositivos comerciais e esforços relacionados à melhoria do sistema de suspensão de bicicletas, muitas das pesquisas têm sua metodologia, critérios de avaliação e resultados restritos aos círculos dos desenvolvedores.

O esforço do Estado na construção de ciclovias adequadas ainda é um fato distante e complexo nas cidades brasileiras que, na sua grande maioria, cresceram de modo desordenado e sem um planejamento que contemple a prática ciclística. Algumas cidades (Porto Alegre, Belo Horizonte e Vitória) possuem, em fase de desenvolvimento, planos que contemplam estudos de viabilidade, projetos, construção e gestão de ciclovias e outras cidades já os têm (por exemplo, Rio de Janeiro, São Paulo e Curitiba). Esses projetos configuram redes de vias cicláveis, que permitam, por exemplo, o deslocamento da população da sua residência até um meio de transporte público, ou mesmo, da sua residência até o seu local de trabalho. Atualmente, o município de Porto Alegre é o único no Brasil que possui um Plano Diretor Cicloviário Integrado (PDCI), institucionalizado pela Lei Complementar nº 626 que prevê uma rede de 495 km de extensão de vias cicláveis.

Por outro lado, a exposição do corpo humano à vibração está presente em inúmeras situações do cotidiano, podendo ser fonte de desconforto e causa de

problemas de saúde, assim como, também fator importante para a manutenção da saúde. Particularmente, no caso da vibração transmitida ao sistema mão-braço (presente na atividade ciclística), podem ocorrer distúrbios de circulação sanguínea nos dedos, distúrbios neurológicos e de função motora nas mãos e braços. Assim, sua investigação em atividades, onde essa exposição possa existir, é de extrema importância.

Considerando os pontos percorridos acima e também o fato de não terem sido encontrados estudos específicos sobre esse tema, surge o presente trabalho, com o objetivo geral de avaliar a exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço durante a atividade ciclística. De forma mais específica, ciclovias que foram construídas em Porto Alegre com blocos intertravados de concreto sofreram críticas dos usuários ciclistas, referentes à trepidação presente, durante sua atividade. Esse estudo é realizado por meio de medições de vibração realizadas para três diferentes tipos de pavimentação, asfalto, placas moldadas *in loco* de concreto e blocos intertravados de concreto, utilizando dois modelos de bicicleta, *Speed* e *Mountain bike*, e ciclistas com diferentes características físicas.

Desta forma, o trabalho apresenta o objetivo específico de avaliar, entre as configurações medidas, se a exposição diária à vibração ultrapassa os limites indicados pela Diretiva 2002/44/EC, para uma dada duração diária de exposição adequada à atividade ciclística. Como objetivo secundário, também pretende-se avaliar o tempo máximo de exposição diária à vibração para cada configuração medida, para que os limites de exposição não sejam atingidos. A informação de qual pavimento é o mais adequado para a atividade ciclística entre os tipos analisados e qual a influência do modelo da bicicleta e da característica física do ciclista nos valores obtidos de exposição diária à vibração são os resultados esperados com a pesquisa.

2 Referencial teórico

Segundo Fernandes (2000), um corpo é dito em vibração, quando ele descreve um movimento oscilatório em torno de um ponto de referência. O número de vezes de um ciclo completo do movimento, durante o período de um segundo, é chamado de frequência, medido em ciclos por segundo ou Hertz (Hz). Esse movimento de vibração pode ser regular, constituído por uma única frequência, ou irregular, com vários componentes de movimento em diferentes frequências.

Um sinal de vibração pode ser representado em um gráfico de amplitude de vibração x tempo ou amplitude de vibração x frequência, este último chamado de espectro de frequência. Além da frequência e da amplitude de vibração, existem outros parâmetros importantes que podem ser identificados em um sinal vibratório, como o valor *rms* (*root mean square*), valor de pico, valor pico-a-pico, valor médio, fator de forma, fator de crista, etc. Entre esses, o valor *rms*, também conhecido como valor eficaz, é o mais importante, pois permite, segundo Fernandes (2000), avaliar a energia média contida no movimento vibratório, mostrando o potencial de dano da vibração. Para uma função variável contínua $f(t)$ definida em um tempo T , o seu valor *rms* é dado pela expressão:

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt} \quad (1)$$

1.1 Exposição humana à vibração

De acordo com Griffin (1990) e Chaffin e Andersson (1999), para análises de vibração, o corpo humano, apesar da sua grande complexidade, pode ser considerado um sistema biomecânico, podendo em alguns casos ser modelado como um sistema linear. Esse sistema é aproximado a um sistema massa-mola-

amortecedor, na faixa de frequência de 1 a 80 Hz, no caso de vibrações de corpo inteiro. Para vibrações do sistema mão-braço, essas frequências podem ser maiores, chegando até a 1250 Hz.

Quando a frequência de uma excitação externa atinge o valor de uma dessas frequências naturais, o fenômeno de ressonância pode ocorrer, aumentando os efeitos da vibração sobre a saúde. A figura 1 apresenta um modelo muito utilizado, para indicar as frequências de ressonância de algumas partes do corpo humano, sujeito à vibração vertical.

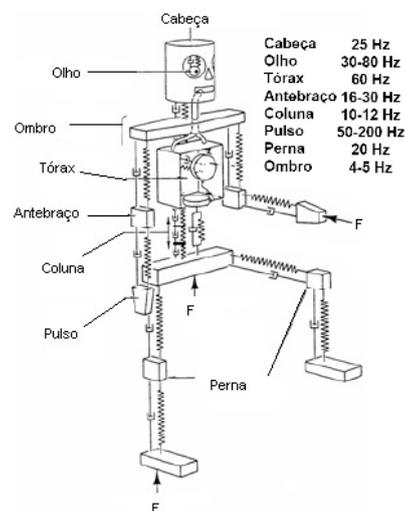


Figura 1 - Modelo mecânico do corpo humano, sujeito à vibração vertical, com suas frequências de ressonância

Fonte: Brüel; Kjaer (2000).

Wang e Hull (1997), em estudo do comportamento de bicicletas *Mountain bike* com suspensões, perceberam que uma fonte de vibração é o próprio gomo dos pneus que são salientes o suficiente para manter aderência em terrenos com superfícies irregulares e soltas. Perceberam que, pelo número de gomos e velocidade angular das rodas, foi possível detectar estas frequências (da ordem de 300 a 400 Hz) em medidas de vibração em partes da bicicleta e, conseqüentemente, agindo nos pulsos e assentos de seus usuários. No mesmo estudo, feito com

medições em situações reais, perceberam que o próprio usuário também contribui para parte da atenuação dessas vibrações (vísceras, principalmente) e que um sistema de amortecimento (nos garfos e selim) pode contribuir significativamente para a atenuação das vibrações da mesma faixa de interesse (300Hz a 400Hz).

Brown (2008) indica que a atividade do ciclismo, feita de maneira incorreta, pode gerar uma série de problemas que podem ter como consequência dores. Dentre essas dores, estão as relacionadas principalmente ao joelho, mãos, cotovelos, ombros, cóccix, coluna cervical e pescoço. Referente às dores ocasionadas pelo ciclismo, Quinn (2010) indica que um tipo comum de incômodo é o adormecimento das mãos e a neuropatia Ulnar. Dores e adormecimento dos dedos mínimo e anelar podem ser sinais dessa neuropatia decorrente da pressão da mão por longos períodos de tempo pelo guidão. Nesse aspecto, Brown (2008) indica que o adormecimento do pulso pode estar relacionado ao seu mau posicionamento. Esse sintoma pode ser aliviado com o tipo de acolchoamento que é colocado no guidão, assim como o posicionamento correto do pulso, alinhado com braço, ao invés de flexionado (como, geralmente, é feito para dar apoio à mão). Ele indica que há importantes nervos na mão e pulso que são pressionados pelo guidão no início da palma da mão, de forma que luvas com gel ou espuma podem aliviar, mas em certos casos, podem até piorar o problema.

Em termos da exposição humana à vibração, ela é classificada, devido as suas particularidades, em:

- Vibrações de corpo inteiro: também conhecidas como vibrações WBV (*Whole Body Vibration*), são as vibrações que atingem o corpo todo, particularmente em uma faixa de frequência de 1 a 80 Hz. Esse tipo de vibração pode estar presente nos meios de transporte, como por exemplo, em um ônibus em movimento.

- Vibrações das extremidades: mais especificamente do sistema mão-braço, também conhecidas como vibrações HAV (*Hand-Arm Vibration*), são as vibrações transmitidas às mãos e aos braços, em uma faixa de frequência de 6,3 a 1250 Hz. Esse tipo de vibração pode estar presente nas ferramentas manuais oscilatórias, como em martelos pneumáticos e motosserras.

2.2 Efeitos sobre a saúde causados pela exposição à vibração

Muitos fatores podem influenciar nos efeitos sobre a saúde ocasionados pela exposição humana à vibração. Como exemplo, pode-se citar o espectro de frequência e amplitude da vibração, a duração da exposição diária à vibração e a exposição pré-acumulada da vibração. Além disso, determinadas pessoas podem ter uma maior suscetibilidade que outras ao desenvolvimento de doenças ocasionadas pela exposição à vibração.

No caso das vibrações transmitidas ao corpo inteiro, os principais efeitos sobre a saúde podem se apresentar sob a forma de enjoos, redução na capacidade visual, distúrbios no labirinto e náuseas, na faixa de 0,1 a 0,7 Hz, e aumento da frequência cardíaca, em frequências inferiores a 20 Hz. Além disso, muitos estudos, como os de Rehn *et al.* (2000), Hoy e Murabarak (2000) e Tripepi, Cantio e Saffioti (2000), indicam que motoristas de veículos (como caminhão de lixo, tratores, empilhadeiras e outros do tipo fora de estrada) apresentam uma grande incidência de problemas na região do dorso e das costas, relacionados à exposição à vibração transmitida ao corpo inteiro.

Já no caso das vibrações transmitidas ao sistema mão-braço podem ocorrer distúrbios de ordem vascular, neurológica e musculoesquelético, de maneira independente ou simultânea, conhecidos como síndrome da vibração mão-braço. O principal problema é o fenômeno de Raynaud ou doença dos "dedos brancos", onde ocorre

uma diminuição dos vasos periféricos e artérias com conseqüente diminuição da irrigação e branqueamento das extremidades dos dedos, ocasionados pela vibração. Esse problema, assim como outros relacionados a problemas de próstata e tendões, já foram relatados por outros autores como incidente em ciclistas (WILBER *et al*, 1995).

2.3 Metodologia de avaliação da exposição humana à vibração

A avaliação da exposição humana à vibração deve ser feita de acordo com as normas Internacionais ISO (*International Organization for Standardization*).

Referente à vibração de corpo inteiro, há a norma ISO 2631-1:1997 - Vibração mecânica e choque - Avaliação da exposição humana à vibração de corpo inteiro - Parte 1: Requisitos gerais.

Quanto à avaliação da vibração do sistema mão-braço, há a norma ISO 5349-1:2001 - Medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida à mão - Parte 1: Requisitos gerais e também a norma

ISO 5349-2:2001 - Medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida à mão - Parte 2: Guia prático para medição no local de trabalho.

2.3.1 Emprego da norma ISO 5349-1:2001

A seguir, será apresentada a metodologia para avaliação da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço, de acordo com a norma ISO 5349-1:2001. A variável primária, utilizada para caracterizar uma vibração, é a sua aceleração *rms*. Essa aceleração *rms* deve sofrer uma ponderação por frequência W_h , e a aplicação de um filtro de banda, produzindo assim, um valor definido como aceleração *rms* ponderada pela frequência a_{h_w} em m/s^2 . Essa ponderação evidencia a importância que as diferentes frequências exercem sobre os efeitos causados à saúde. A figura 2 apresenta a curva de ponderação por frequência W_h , empregada na avaliação da exposição à vibração transmitida ao sistema mão-braço.

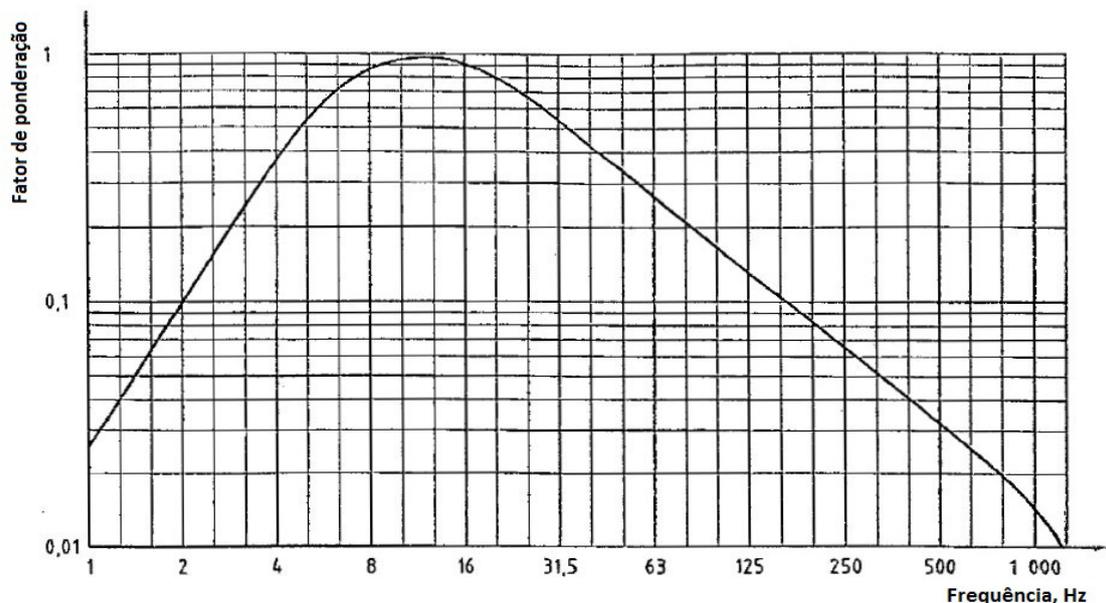


Figura 2 - Curva de ponderação por frequência W_h para vibração mão-braço

Fonte: ISO 5349-1:2001 (2001).

Como se pode observar na figura 2, existe um maior fator de ponderação para uma faixa de frequência entre 4 e 31,5 Hz, a qual corresponde justamente à faixa, onde os efeitos ocasionados à saúde pela vibração no sistema mão-braço são mais prejudiciais.

Segundo a mesma Norma, as vibrações transmitidas ao sistema mão-braço devem ser medidas em três direções, segundo um sistema de coordenadas ortogonal, como definido na figura 3. Existem dois tipos de sistemas: o biodinâmico e o basicêntrico. Entretanto, de acordo com a norma, em medições práticas, o sistema de coordenadas basicêntrico deve ser adotado.

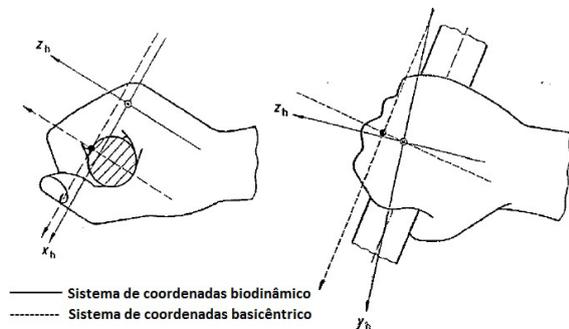


Figura 3 - Sistema de coordenadas biodinâmico e basicêntrico para vibração mão-braço
Fonte: ISO 5349-1:2001 (2001).

Como a medição da vibração deve ser executada, seguindo um sistema de coordenadas tri-axial, obtém-se um valor da aceleração *rms* ponderada pela frequência, para cada um dos eixos *x*, *y* e *z*, representados por a_{hvx} , a_{hvy} e $a_{h vz}$, em m/s^2 .

Combinando esses três valores, por intermédio da raiz da soma dos quadrados de cada componente, obtém-se a vibração total a_{hv} , em m/s^2 , conforme:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hvx}^2 + a_{hvy}^2 + a_{h vz}^2} \quad (2)$$

Além da magnitude da vibração, representada pela vibração total a_{hv} , a avaliação da exposição à vibração leva em consideração a duração diária da exposição *T*, em *h*, definida como o total de tempo que as mãos ficam expostas à vibração durante um dia.

Assim, define-se a exposição diária à vibração *A*(8), em m/s^2 , como:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (3)$$

onde, T_0 é uma duração de referência de 8 horas. Esse tempo de referência T_0 é adotado para facilitar comparações entre exposições diárias à vibração de diferentes durações. A exposição diária à vibração *A*(8) é interpretada como um valor total de vibração ponderado pela frequência, expresso em termos de uma equivalência de 8 horas de exposição diária.

2.4 Limites da exposição humana à vibração

Devido aos vários efeitos causados ao corpo humano e ao grau de severidade que eles podem atingir, a exposição à vibração é tema da legislação aplicada à saúde e segurança no trabalho. No Brasil, o Anexo nº 8 da Norma Regulamentadora Nº 15 (NR 15) define que as atividades e operações que exponham os trabalhadores, sem a proteção adequada, às vibrações localizadas ou de corpo inteiro, serão caracterizadas como insalubres, através de perícia realizada no local de trabalho. E, ainda, segundo a NR 15, a perícia deve tomar por base os limites de exposição definidos pelas normas ISO 2631 e ISO 5349 ou suas substitutas. No entanto, no caso da exposição à vibração transmitida ao sistema mão-braço, a própria norma ISO 5349-1:2001 estabelece no seu escopo que ela não define limites seguros de exposição à vibração e, sim, proporciona um guia para avaliação dessa exposição.

Por outro lado, na União Europeia vigora a Diretiva 2002/44/EC, determinando que seus países membros implementem na sua legislação os requisitos mínimos de saúde e segurança por ela definidos, relativos à exposição dos trabalhadores aos riscos, devido aos agentes físicos (vibrações). No caso da vibração transmitida ao

sistema mão-braço, esses requisitos são estabelecidos por dois valores de referência:

- Valor de Ação de Exposição diária (VAE) de $2,5 \text{ m/s}^2$
- Valor Limite de Exposição diária (VLE) de $5,0 \text{ m/s}^2$

Esses valores de referência correspondem à exposição diária à vibração A(8), definida de acordo com a metodologia de avaliação da exposição à vibração da norma ISO 5349-1:2001 e calculada de acordo com a equação 3.

Segundo a determinação da Diretiva 2002/44/EC, uma exposição à vibração, acima do valor de ação, requer do empregador a implementação de um programa com medidas que visem à diminuição ou à eliminação dessa exposição. Já uma exposição à vibração, acima do valor limite, requer do empregador medidas imediatas para sua diminuição, não sendo permitida a continuidade do trabalho até que esse valor limite de exposição seja respeitado.

Mesmo sendo o ciclismo uma atividade eminentemente de lazer, a ciência desses valores limites, para caracterização de insalubridade, é de importância, até porque alguns atletas possuem uma jornada semanal de treinos que pode, sob certo ponto de vista, ser considerada como laboral.

2.5 Avaliação objetiva da vibração na atividade ciclística

A avaliação objetiva da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço, durante a atividade ciclística, consiste em um levantamento técnico, seguindo a metodologia indicada pela norma ISO 5349-1:2001. Para tanto, realizaram-se medições de vibração para três diferentes tipos de pavimentação, asfalto (AS), placas moldadas "in loco" de concreto (PC) e blocos intertravados de concreto (BI), utilizando dois modelos de bicicleta, *Speed (S)* e *Mountain bike (MB)* e sete ciclistas com diferentes características

físicas. Realizou-se uma medição para cada uma das configurações por ser esta medição representativa dos níveis de vibração a que estão submetidos os ciclistas nas suas atividades. O experimento tratava-se de variar tipo de pavimento x modelo de bicicleta x ciclista – em um trajeto linear de 500 metros, a uma velocidade média padrão de 15 km/h, a qual foi medida e mantida pelo ciclista com velocímetro digital para bicicletas. Para três tipos de pavimento, dois tipos de bicicleta e 7 ciclistas diferentes, obteve-se uma matriz de experimentos de 42 testes. Devido à falta de dois ciclistas em teste, em um dos tipos de pavimentos, efetivamente, obteve-se um total de 38 medições.

2.5.1 Equipamentos de medição

Para a medição de uma vibração, é necessário o emprego de um transdutor que converta a energia mecânica da aceleração em um sinal elétrico proporcional. Nas medições realizadas, o transdutor empregado é um acelerômetro piezoeletrico triaxial Dytran, Model 3023A2, S/N 4147, com sensibilidade nominal de 10 mV/g para cada um dos seus eixos x, y e z. Utilizou-se o VI-400Pro, S/N 12430, (medidor e analisador portátil de vibração), para medir, simultaneamente, em três canais a vibração, com auxílio de um acelerômetro triaxial. A figura 4 abaixo apresenta uma foto contendo o medidor VI-400Pro e o acelerômetro empregados nas medições.



Figura 4 – Medidor VI400-Pro e acelerômetro utilizados nas medições

Fonte: Os Autores (2012).

Diferentemente da abordagem dada por Orendurff e Smith (1996), no qual um acelerômetro foi fixado ao eixo do cubo da roda dianteira e outro no quadro da bicicleta, com intuito de verificar o amortecimento causado por um sistema de suspensão, neste trabalho um único acelerômetro triaxial é fixado no ponto mais próximo à localização da mão no guidão (região da excitação). Como o objetivo é o de verificar uma eventual ultrapassagem dos limites de exposição e de ação, é de interesse apenas obter o nível de vibração na região da excitação, independente do tipo de suspensão que haja na bicicleta. Para avaliar esse item, utilizar-se-á dois tipos de bicicletas que têm sistema de amortecimento diferentes, representativos de modelos bastante comuns e populares para suas categorias.

Entre os parâmetros do sinal vibratório medidos, analisados e armazenados pelo VI-400Pro (QUEST-TECHNOLOGY, 2005) estão o valor da aceleração *rms* ponderada pela frequência para cada um dos eixos a_{hwx} , a_{hwz} , e a_{hwz} , vibração total a_{hv} e exposição diária à vibração $A(8)$, de acordo como o definido pela norma ISO 5349-1:2001. O software QuestSuite Professional II (QUEST-TECHNOLOGY, 2005) é utilizado para calcular o tempo máximo de exposição diária à vibração, para que seja atingido o Valor de Ação de Exposição, T_{max}^{VAE} , e o tempo máximo de exposição diária à vibração, para que seja atingido o Valor Limite de Exposição, T_{max}^{VLE} .

2.5.2 Instrumentação da bicicleta

A instrumentação da bicicleta consiste na fixação do acelerômetro no seu guidão, com o auxílio de uma abraçadeira apropriada com parte em velcro, para facilitar a montagem e desmontagem na troca das bicicletas. A rigidez da fixação é tal que transmite a vibração sem atenuação ou amplificação na faixa de frequências de interesse na vibração do sistema mão-braço.

O acelerômetro é acoplado ao guidão, seguindo o sistema de coordenadas basicêntrico, como definido pela norma ISO 5349-1:2001 e apresentado na figura 3. Além do correto alinhamento dos eixos do acelerômetro, é necessário que ele seja posicionado no ponto mais próximo possível da empunhadura da mão no guidão, porém sem interferir nas condições normais da atividade ciclística. A figura 5 mostra uma imagem do acoplamento do acelerômetro no guidão da bicicleta, juntamente com o sistema de coordenadas adotado.

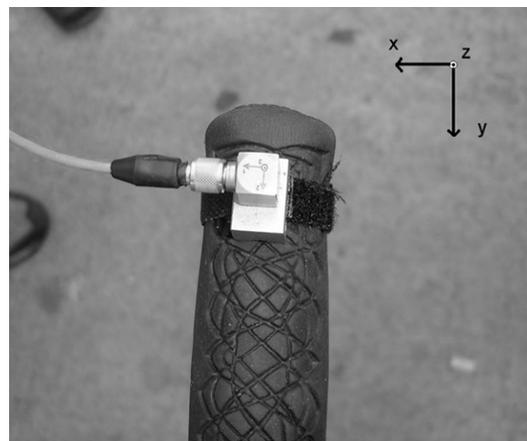


Figura 5 - Acoplamento do acelerômetro no guidão da bicicleta e o sistema de coordenadas adotado nas medições

Fonte: Os Autores (2012).

2.5.3 Tipos de pavimentos avaliados

A pavimentação de asfalto (AS) é considerada do tipo flexível e caracterizada por apresentar uma superfície de rolamento relativamente lisa e sem interrupções.

A pavimentação de placas moldadas "in loco" de concreto (PC) é considerada do tipo rígida e caracterizada por apresentar uma superfície de rolamento com algumas interrupções, devido às juntas entre as placas. No caso avaliado, as placas apresentam dimensões de 2 m de largura por 6 m de comprimento, o que representa uma junta a cada 6 m de extensão da via.

Já a pavimentação de blocos intertravados de concreto (BI), também é considerada do tipo rígida, porém

caracterizada por apresentar uma superfície de rolamento com constantes interrupções, devido às juntas entre os blocos. No caso avaliado, os blocos apresentam dimensões de 10 cm de largura por 20 cm de comprimento e são

dispostos transversalmente em relação à direção da ciclovia, o que representa uma junta a cada 10 cm da sua extensão.

A figura 6 apresenta imagens referentes aos três tipos de pavimentação avaliados.



Figura 6 - Tipos de pavimentação empregados nas medições: asfalto (AS), placas moldadas “in loco” de concreto (PC) e blocos intertravados de concreto (BI)

Fonte: Os Autores (2012).

Tabela 2 – Características dos modelos de bicicleta *Speed* (S) e *Mountain bike* (MB)

Característica	Speed (S)	Mountain bike (MB)
Quadro	Carbono e alumínio	Alumínio
Massa	8,7 kg	12 kg
Altura do quadro	53 cm	18" (45,7 cm)
Distância entre eixos	98 cm	108 cm
Dimensões dos pneus (aro x largura)	700 mm x 23 mm <i>slick</i> (liso)	26" (660,4 mm) x 1,95" (49,5 mm) com garras
Calibragem dos pneus	110 psi	45 psi
Modelo do guidão	<i>Speed</i> – 44 cm de largura	<i>Flat</i> (reto) – 58 cm de largura

Fonte: Os Autores (2012).

2.5.4 Modelos de bicicletas

As medições foram realizadas utilizando dois modelos de bicicleta, *Speed* (S) e *Mountain bike* (MB). As principais características de cada modelo podem ser observadas na tabela 2.

Como podem ser visualizadas na tabela 2, as principais diferenças entre cada modelo de bicicleta referem-se as suas massas, calibragem e largura dos pneus. O modelo MB possui 3,3 kg de massa a mais que o modelo S e um pneu com largura maior que o dobro da largura do pneu do modelo S, com uma

calibragem consideravelmente menor. A figura 7 apresenta fotos dos dois modelos de bicicletas utilizados nas medições.

2.5.5 Caracterização dos ciclistas

As medições nos três tipos de pavimentação e com os dois modelos de bicicleta foram realizadas com sete ciclistas. No entanto, dois ciclistas não participaram das medições no pavimento de placas moldadas “in loco” de concreto (PC), totalizando 38 medições. A tabela 3 apresenta as principais características de cada ciclista. Eles estão ordenados da maior para a menor massa.



Figura 7 - Modelos de bicicleta Speed (S) e Mountain bike (MB) utilizados nas medições

Fonte: Os Autores (2012).

Tabela 3 - Características dos ciclistas (*ciclista não participante das medições no pavimento de placas moldadas "in loco" de concreto)

Identificação	Sexo	Idade (anos)	Massa (kg)	Altura (m)	Índice de Massa Corporal IMC
A	M	28	89	1,86	25,73
B	M	36	81	1,74	26,75
C*	M	31	80	1,82	24,15
D	M	50	73	1,63	27,48
E*	F	29	68	1,64	25,28
F	F	28	61	1,75	19,92
G	M	36	59	1,72	19,94

Fonte: Os Autores (2012).

2.6 Avaliação subjetiva da vibração na atividade ciclística

A avaliação subjetiva da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço, durante a atividade ciclística, consiste em um levantamento que considera a percepção do ciclista, quanto às condições de conforto oferecidas por cada tipo de pavimento. Para tanto, ao final de cada medição, uma entrevista é aplicada ao ciclista, onde ele é solicitado a dar uma nota, segundo uma escala de 0 a 5, quanto ao grau de conforto do trajeto. As notas equivalem a conceitos, que variam de muito ruim (de 0 a 1), ruim (de 1,1 a 2), regular (de 2,1 a 3), bom (de 3,1 a 4) a muito bom (de 4,1 a 5). Além disso, o ciclista é solicitado a emitir sua opinião sobre a qualidade do trajeto, tendo como possibilidades de resposta as alternativas: "aceitável", "inaceitável" e "indeciso".

3 Resultados e análises

3.1 Da avaliação objetiva da vibração na atividade ciclística

Os resultados completos da avaliação objetiva da vibração na atividade ciclística estão apresentados na tabela constante no Apêndice B. A seguir, são apresentados os principais resultados, por intermédio de gráficos comparativos entre as configurações medidas.

Para cada uma das configurações medidas – tipo de pavimento x modelo de bicicleta x ciclista – obtém-se um valor da aceleração *rms* ponderada pela frequência, para cada um dos eixos x, y e z, representados por a_{hwx} , a_{hwy} e a_{hwz} . A partir dessas acelerações e, segundo a equação (2), obtém-se a vibração total a_{hv} .

Da vibração total a_{hv} calcula-se, conforme a equação (3), a exposição diária à vibração A(8). Para o cálculo, no entanto, deve ser estabelecida a duração diária da exposição *T*. Esse parâmetro é difícil de ser estimado para a atividade ciclística, pois os tempos de prática dessa atividade podem variar muito de ciclista para ciclista. Optou-se por analisar a exposição diária à vibração A(8), para uma duração diária da exposição *T* de 2 h, representando um alto tempo, onde se tem uma exposição à vibração mais crítica. Esse tempo, porém, é totalmente compatível com a prática da atividade ciclística. A figura 8 apresenta um gráfico, mostrando a exposição diária à vibração A(8), para a duração diária da exposição *T* de 2h, para os três tipos pavimentos avaliados.

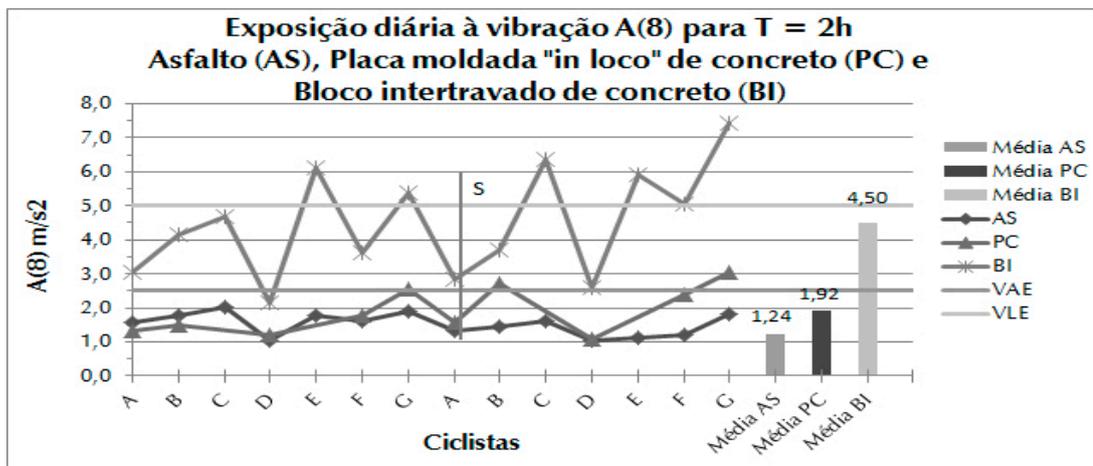


Figura 8 - Exposição diária à vibração A(8) com uma duração diária da exposição T de 2h, para os três tipos de pavimentos avaliados

Fonte: Os Autores (2012).

Cada ponto do gráfico representa uma medição. No eixo das abscissas, estão dispostos os ciclistas e, no eixo das ordenadas, seus respectivos valores de exposição diária à vibração A(8). A linha vertical, na metade do gráfico, indica a divisão entre as medições realizadas com a bicicleta *Mountain bike* (MB) e com a bicicleta *Speed* (S). As barras à direita indicam a média aritmética da exposição diária à vibração A(8), para o pavimento de asfalto (AS), de placas moldadas "in loco" de concreto (PC) e de blocos intertravados de concreto (BI). As linhas horizontais representam o valor de ação de exposição (VAE) e o valor limite de exposição (VLE), como definidos pela Diretiva 2002/44/EC.

Analisando-se o gráfico da figura 8, pode-se ter uma ideia geral da exposição à vibração em cada tipo de pavimento. No pavimento de asfalto (AS), têm-se as menores exposições, com todas as avaliações abaixo do valor de ação de exposição (VAE) e com um valor médio de exposição diária à vibração A(8) de $1,24 \text{ m/s}^2$. Já no pavimento de placas moldadas "in loco" de concreto (PC), têm-se valores de vibração relativamente maiores, inclusive com algumas avaliações acima do valor de ação de exposição (VAE) e com um valor médio de exposição diária à vibração A(8) de $1,92 \text{ m/s}^2$. No pavimento de blocos intertravados de concreto (BI), as exposições atingem valores consideravelmente maiores,

com todas as avaliações, exceto uma, acima do valor de ação de exposição (VAE) e com algumas exposições, acima do valor limite de exposição (VLE). O valor médio de exposição diária à vibração A(8), para esse pavimento, é de $4,5 \text{ m/s}^2$.

Assim, podem-se ordenar os tipos de pavimentos, quanto à exposição diária à vibração A(8), de modo que o asfalto (AS) é o pavimento mais adequado para a atividade ciclística, seguido das placas moldadas "in loco" de concreto (PC) e dos blocos intertravados de concreto (BI).

Para avaliar uma possível influência do modelo da bicicleta sobre os valores da exposição diária à vibração A(8), geraram-se gráficos independentes, mostrando a exposição diária à vibração A(8), para a duração diária da exposição T de 2h, para cada um dos tipos de pavimento, como se pode visualizar nas figuras 9, 10 e 11.

Para o pavimento de asfalto (AS), como indica o gráfico da figura 9, as avaliações com a bicicleta *Speed* (S) apresentaram valores de exposição diária à vibração A(8), ligeiramente menores, com um valor médio de exposição de $1,12 \text{ m/s}^2$ contra $1,37 \text{ m/s}^2$ para a bicicleta *Mountain bike* (MB). O valor médio de exposição diária à vibração A(8), para o pavimento de asfalto (AS), considerando as avaliações com os dois modelos de bicicleta, vale $1,24 \text{ m/s}^2$, como indica a terceira barra do gráfico.

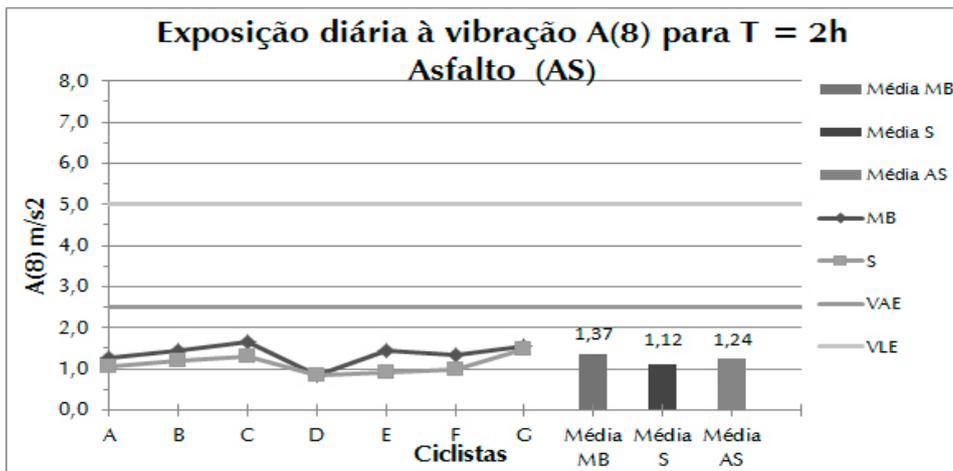


Figura 9 - Exposição diária à vibração A(8) com uma duração diária da exposição T de 2h, para o pavimento de asfalto (AS)

Fonte: Os Autores (2012).

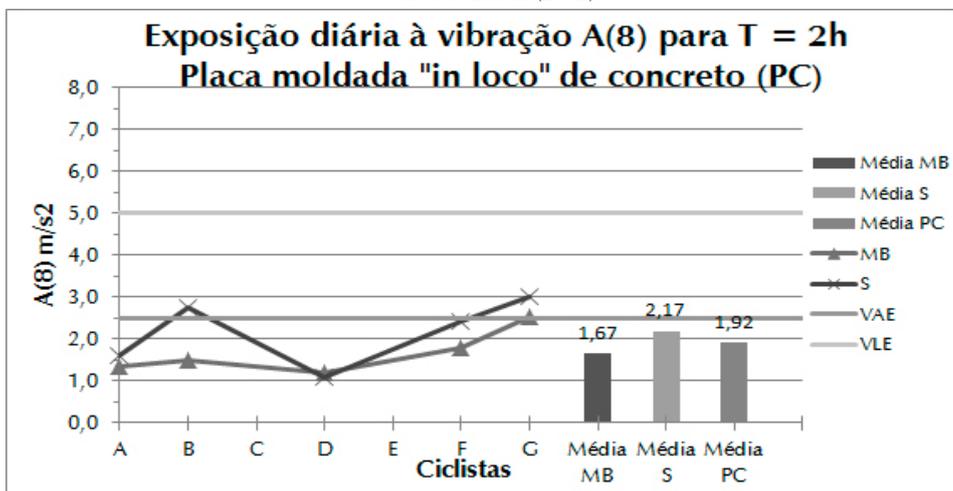


Figura 10 - Exposição diária à vibração A(8) com uma duração diária da exposição T de 2h, para o pavimento de placas moldadas "in loco" de concreto (PC)

Fonte: Os Autores (2012).

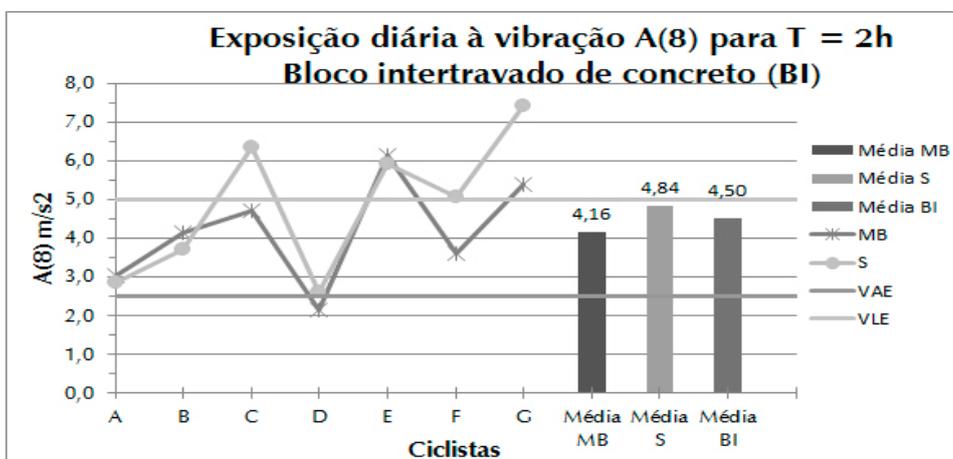


Figura 11 - Exposição diária à vibração A(8), com uma duração diária da exposição T de 2h, para o pavimento de blocos intertravados de concreto (BI)

Fonte: Os Autores (2012).

Já para o pavimento de placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC), como indica o gráfico da figura 10, a situação inverteu-se, ou seja, as avaliações com a bicicleta *Speed* (S) apresentaram valores de exposição diária à vibração A(8) ligeiramente maiores.

Por fim, no pavimento de blocos intertravados de concreto (BI), como mostra o gráfico da figura 11, as avaliações tiveram um terceiro comportamento, com alguns valores de exposição diária à vibração A(8) menores para a bicicleta *Speed* (S) e outros menores para a bicicleta *Mountain bike* (MB).

Esperava-se, principalmente, devido às diferenças de largura e calibragem dos pneus, como é possível visualizar na tabela 2, que o modelo de bicicleta *Mountain bike* (MB) tivesse uma maior capacidade de amortecimento das vibrações, resultando em menores valores de exposição diária à vibração A(8). No entanto, isso não é comprovado pelos resultados, como pode ser observado nas variações de comportamento expostas acima. Por outro lado, pode-se afirmar que, para a maioria das avaliações, ao comparar-se os dois modelos de bicicleta, para um mesmo ciclista e um mesmo pavimento, não houve uma diferença muito significativa entre os valores de exposição diária à vibração A(8).

A partir dos gráficos apresentados nas figuras 9, 10, 11, pode-se analisar também uma possível influência das características físicas dos ciclistas sobre os valores de exposição diária à vibração A(8). Ressalta-se, como exposto na seção 2.2.5, que os ciclistas estão ordenados de A a G, da maior para a menor massa. No entanto, nos gráficos das figuras 9, 10, 11, não é possível identificar uma tendência de comportamento nos valores da exposição diária A(8), em relação à evolução dos ciclistas de A a G. Por exemplo, apesar do ciclista D possuir um valor de massa intermediário em relação aos outros ciclistas, em todas as avaliações,

ele apresenta a menor exposição diária à vibração A(8). Portanto, a afirmação de que a massa do ciclista tenha correlação sobre a exposição diária à vibração A(8) não pode ser feita, sendo necessários mais resultados e testes para que uma análise de variância venha a comprovar o que está sendo visualmente percebido.

Outro parâmetro mensurado é o tempo de cada medição $T_{\text{medição}}$, em segundos. Sabendo esse valor e, sabendo que a distância percorrida em cada medição é de 500 m, pode-se estimar a velocidade média V_{med} , em km/h, desenvolvida pelo ciclista ao longo do trajeto. Os tempos de medição $T_{\text{medição}}$ e as velocidades médias V_{med} para cada medição, estão listados na tabela constante no Apêndice B. A média das velocidades médias V_{med} desenvolvidas em todas as medições foi de 14,1 km/h.

Ao analisarem-se as velocidades médias V_{med} , desenvolvidas pelo ciclista D, pode-se identificar que em todas as suas medições, com exceção da realizada no pavimento de placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) com a bicicleta *Mountain bike* (MB), os seus valores ficaram bem inferiores a média geral de 14,1 km/h. Esse fato pode ser a explicação dos seus baixos valores de exposição diária à vibração A(8), se comparados aos valores dos outros ciclistas.

Em uma análise sob outro ponto de vista, fixa-se na equação (3) o valor da exposição diária à vibração A(8), como sendo o valor de ação de exposição (VAE) ou o valor limite de exposição (VLE) e calcula-se, para cada avaliação, respectivamente, o tempo máximo de exposição diária à vibração, para que seja atingido o valor de ação de exposição, $T_{\text{VAE}}^{\text{max}}$, e o tempo máximo de exposição diária à vibração, para que seja atingido o valor limite de exposição, $T_{\text{VLE}}^{\text{max}}$. Os resultados desses parâmetros podem ser visualizados na sua integralidade na tabela presente no Apêndice B. A figura 12 apresenta um gráfico, mostrando $T_{\text{VAE}}^{\text{max}}$ para os três tipos de pavimento avaliados.

Tempos de exposição maiores que 8h são indicados, por conveniência, como 8h. Essa situação é a apresentada por se caracterizar como a de maior exigência, pois uma vez que os tempos de exposição à vibração para atingir VAE são respeitados, naturalmente, os tempos de exposição à vibração para atingir VLE também serão.

Como pode ser observado na figura 12, os maiores tempos máximos de exposição à vibração, para que seja atingido VAE,

T_{max}^{VAE} , são encontrados no pavimento de asfalto (AS), seguido pelo pavimento de placas moldadas "in loco" de concreto (PC) e pelo pavimento de blocos intertravados de concreto (BI). Nesse último, o valor médio de T_{max}^{VAE} vale 0,91 h, o equivalente a 55 min, o que representa um tempo admissível de exposição diária relativamente baixa, para a prática da atividade ciclística. Em algumas avaliações, inclusive, os tempos T_{max}^{VAE} são próximos ou inferiores a 30 min.

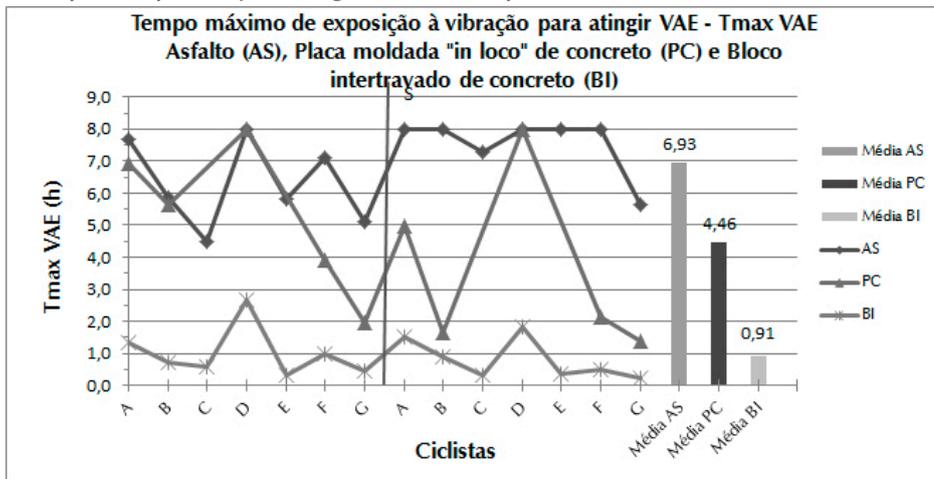


Figura 12 - Tempo máximo de exposição à vibração para atingir VAE para os pavimentos avaliados

Fonte: Os Autores (2012).

3.2 Da avaliação subjetiva da vibração na atividade ciclística

Os resultados completos da avaliação subjetiva da vibração na atividade ciclística estão apresentados na tabela constante no Apêndice C. A seguir, são apresentados os principais resultados, por intermédio de gráficos comparativos entre as configurações avaliadas.

Ao final de cada medição, o ciclista foi solicitado a dar uma nota, segundo uma escala de 0 a 5, quanto ao grau de conforto do trajeto. As notas equivalem a conceitos que variam de muito ruim (de 0 a 1), ruim (de 1,1 a 2), regular (de 2,1 a 3), bom (de 3,1 a 4) a muito bom (de 4,1 a 5). A figura 13 apresenta os conceitos atribuídos pelos ciclistas para cada um dos tipos de pavimentos avaliados.

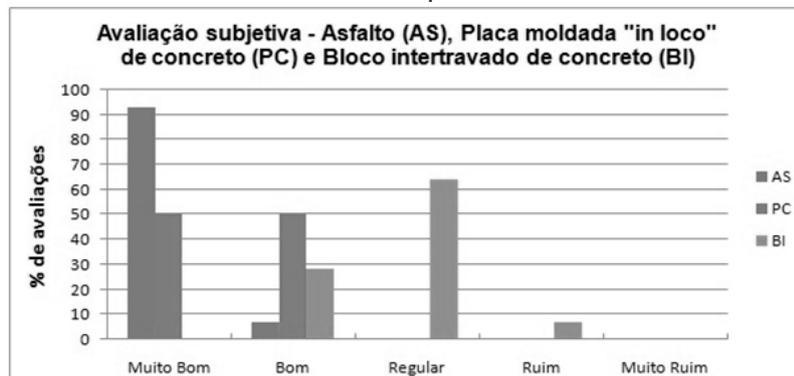


Figura 13 - Conceitos atribuídos pelos ciclistas para cada um dos pavimentos avaliados

Fonte: Os Autores (2012).

Como visualizado no gráfico acima, para o pavimento de asfalto (AS), os conceitos atribuídos se concentraram em mais de 90% para muito bom, com o restante em bom. Já para o pavimento de placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC), os conceitos dividiram-se igualmente entre muito bom e bom. Por fim, para o pavimento de blocos intertravados de concreto (BI), os conceitos atribuídos dividiram-se entre bom, com 29% das avaliações, regular, com 64% das avaliações, e ruim, com 7% das avaliações.

Além disso, o ciclista foi solicitado a emitir sua opinião sobre a qualidade do trajeto, tendo como possibilidades de resposta as alternativas: “aceitável”, “inaceitável” e “indeciso”. Para esse quesito, todas as opiniões foram para a opção “aceitável”, com exceção de uma opinião para “indeciso” e uma opinião para “inaceitável” nas avaliações do pavimento de blocos intertravados de concreto (BI).

Assim, segundo a avaliação subjetiva dos ciclistas, podem-se ordenar os tipos de pavimentos, quanto ao grau de conforto oferecido em relação à vibração, sendo o asfalto (AS) o pavimento mais adequado para a atividade ciclística, seguido das placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) e dos blocos intertravados de concreto (BI). Essa classificação é a mesma que foi obtida pela avaliação objetiva da vibração na atividade ciclística.

4 Conclusões

Segundo a avaliação objetiva da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço, dependendo das condições de exposição, esse fenômeno pode estar, consideravelmente, presente na atividade ciclística, de modo que a manutenção da exposição diária à vibração A(8), dentro dos limites estabelecidos pela Diretiva 2002/44/EC, é de fundamental importância para a garantia da conservação da saúde dos ciclistas.

Para uma duração diária de exposição T de 2h, as avaliações realizadas

no pavimento de asfalto (AS) apresentaram os menores valores de exposição diária a vibração A(8), com todos os valores abaixo do valor de ação de exposição (VAE). Já no pavimento de placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC), têm-se exposições relativamente maiores, inclusive com algumas avaliações acima do valor de ação de exposição (VAE). No pavimento de blocos intertravados de concreto (BI), as exposições atingem valores consideravelmente maiores, com todas as avaliações, exceto uma, acima do valor de ação de exposição (VAE) e com algumas exposições acima do valor limite de exposição (VLE).

Em relação à análise do tempo máximo de exposição diária à vibração, para que seja atingido o valor de ação de exposição, T_{\max}^{VAE} , os maiores tempos admissíveis são encontrados no pavimento de asfalto (AS), seguido pelo pavimento de placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) e pelo pavimento de blocos intertravados de concreto (BI). Nesse último pavimento, o valor médio de T_{\max}^{VAE} é inferior a 1 h, com algumas avaliações com valores próximos a 30 min.

Dessa maneira, em relação à exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço, considera-se o pavimento de asfalto (AS) como o mais indicado para a atividade ciclística, seguido pelo pavimento de placas moldadas “*in loco*” de concreto (PC) e do pavimento de blocos intertravados de concreto (BI). Essa classificação também é a resultante da avaliação subjetiva da exposição à vibração.

Em relação à influência do modelo de bicicleta na exposição à vibração, em algumas avaliações, a bicicleta *Speed* (S) apresentou melhor desempenho e, em outras, a bicicleta *Mountain bike* (MB). Porém, no geral, não houve uma variação muito significativa nas exposições à vibração entre os dois modelos.

Em relação à influência das características físicas dos ciclistas na exposição

à vibração, particularmente em relação as suas massas, não é possível identificar uma tendência de comportamento dos valores de exposição à vibração, devido a essa variação.

Referências

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15 - Norma Regulamentadora N° 15: atividades e operações insalubres.** Anexo N° 8 vibrações. p. 60. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2010.

BROWN, S. **Bicycling and Pain.** 2008. Disponível em: <<http://sheldonbrown.com/pain.html>>. Acesso em: 10 maio 2011.

BRÜEL; KJAER. **Le vibrazioni del corpo humano.** Folheto Técnico, 2000.

CHAFFIN, D. B.; ANDERSSON, G. B. J.; MARTIN, B. J. **Occupational Biomechanics.** U.S.A: Wiley-Interscience, 1999.

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, p. 13-19, 25 jun. 2002.

FERNANDES, J. C. **Segurança nas vibrações sobre o corpo humano:** notas técnicas. 2000. Disponível em: <<http://www.saudeetrabalho.com.br>>. Acesso em: 10 abr. 2011.

GREGOR, R.J.; BROKER, J.P.; RYAN, M.M. **The biomechanics of cycling:** exercise & sports sciences reviews, n. 19, p. 127-169, 1991.

GRIFFIN, M. J. **Handbook of human vibration.** U.S.A: Academic Press, 1990.

HOY, J.; MURABARAK, N. The effects of whole body vibration on forklift drivers. **International Conference on Whole-Body Vibration Injuries**, 2nd, p. 19-20, 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2631-1:1997:** Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 1: General requirements. 1997.

_____. **ISO 5349-1:2001:** Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 1: General requirements. 2001.

_____. **ISO 5349-2:2001:** Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace. 2001.

ORENDURFF, M. S.; SMITH, G. A. Impact acceleration dampening with mountain bike suspension forks. **Medicine & Science in Sport & Exercise**, n. 28, S184, 1996.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. **Lei complementar n° 626, de 15 de julho de 2009.** Institui o Plano Diretor Cicloviário Integrado. Disponível em: <<http://www.camarapoa.rs.gov.br/biblioteca/integrais/LC%20626.pdf>>. Acesso em: 10 maio. 2011.

QUEST-TECHNOLOGY. **Real-time vibration analyzers:** VI-400PRO, preliminary owner's manual. 2005.

QUINN, E. The most common causes of cycling pain and injuries: diagnosis, treat and prevent the most common cycling pain and injuries. **Sports Medicine, Health's Disease and Condition.** 03 Oct. 2010. Disponível em: <<http://sportsmedicine.about.com/od/bicyclinginjuries/a/bikeinjury.htm>>. Acesso em: 10 maio 2010.

REHN, B. *et al.* Musculoskeletal symptoms among drivers of all-terrain vehicles. **2nd International Conference on Whole-Body Vibration Injuries**, n. 1, p. 7-9, 2000.

TRIPEPI, M. G.; CANTIO, M.; SAFFIOTI, G. Risk and effects of WBV in locomotive engineers. **2nd International Conference on Whole-Body Vibration Injuries**, n. 1, p. 27-28, 2000.

WANG, E. L.; HULL, M. L. A dynamic system model of an off-road cyclist. **Journal of Biomechanical Engineering**, v. 119, p. 248–253, 1997.

WILBER, C. A. *et al.* An Epidemiological analysis of overuse injuries among recreational cyclists. **Journal of Sports and Medicine**, v. 16, n. 3, p. 201-206, 1995.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Questionário para avaliação subjetiva da vibração na atividade ciclística

Medida subjetiva de conforto para pavimentos cicloviários		
Dados	Avaliação	Observações
Data:		
Pavimento: AS () BI () PC ()		
Extensão do trecho (km):		
Tipo de bicicleta: MB () S ()		
Ciclista		
Nome:		
Sexo: M () F ()		
Idade (anos):		
Massa (kg):		
Altura (m):		
IMC:	<p>Emita sua opinião sobre a qualidade do trecho:</p> <p>() aceitável</p> <p>() inaceitável</p> <p>() indeciso</p>	

Fonte: Os Autores (2012).

APÊNDICE B – Tabela geral dos resultados da avaliação objetiva da vibração na atividade ciclística

Medição	ID	Pavimento	Bicicleta	Ciclista	T medicação (s)	V _{med} (km/h)	a _{hw} (m/s ²)	a _{hwv} (m/s ²)	a _{hwz} (m/s ²)	a _{hwz} (m/s ²)	T (h)	A(8) (m/s ²)	T _{max} VAE (h)	T _{max} VLE (h)
1	BIC18	AS	MB	A	120	15,0	0,9886	1,6711	1,6520	2,5493	3,0	1,56	7,69	24,00
2	BIC21	AS	MB	B	110	16,4	1,0316	1,5922	2,2233	2,9227	3,0	1,79	5,85	23,41
3	BIC16	AS	MB	C	112	16,1	0,9441	1,673	2,7258	3,3347	3,0	2,04	4,50	17,99
4	BIC20	AS	MB	D	163	11,0	0,8026	1,0012	1,0977	1,6866	3,0	1,03	17,58	24,00
5	BIC17	AS	MB	E	121	14,9	0,7931	1,6711	2,2673	2,9262	3,0	1,79	5,84	23,36
6	BIC19	AS	MB	F	134	13,4	0,7272	1,6924	1,9099	2,6536	3,0	1,62	7,10	24,00
7	BIC15	AS	MB	G	117	15,4	0,7656	1,6051	2,5674	3,1232	3,0	1,91	5,13	20,50
8	BIC26	AS	S	A	123	14,6	1,3788	0,6259	1,5118	2,1397	3,0	1,31	10,92	24,00
9	BIC27	AS	S	B	114	15,8	1,556	0,8385	1,6218	2,3988	3,0	1,47	8,69	24,00
10	BIC23	AS	S	C	115	15,7	1,3772	0,9173	2,037	2,6244	3,0	1,61	7,26	24,00
11	BIC28	AS	S	D	188	9,6	1,135	0,7228	1,0814	1,7263	3,0	1,06	16,78	24,00
12	BIC24	AS	S	E	157	11,5	1,1429	0,6902	1,2274	1,8136	3,0	1,11	15,20	24,00
13	BIC25	AS	S	F	146	12,3	1,1337	0,6501	1,4355	1,9413	3,0	1,19	13,27	24,00
14	BIC22	AS	S	G	107	16,8	1,7478	0,86	2,2491	2,9754	3,0	1,82	5,65	22,59
15	BICE8	PC	MB	A	135	13,3	1,8514	0,8902	1,7358	2,6895	3,0	1,65	6,91	24,00
16	BIKE11	PC	MB	B	140	12,9	1,9165	0,9473	2,0678	2,9742	3,0	1,82	5,65	22,61
17	BIKE10	PC	MB	D	119	15,1	1,4272	0,9068	1,7041	2,4007	3,0	1,47	8,68	24,00
18	BIKE9	PC	MB	F	122	14,8	2,3442	0,864	2,5556	3,5740	3,0	2,19	3,91	15,66
19	BIKE7	PC	MB	G	105	17,1	3,4002	1,1363	3,5851	5,0700	3,0	3,10	1,95	7,78
20	BIKE5	PC	S	A	116	15,5	2,3308	0,6060	2,0701	3,1757	3,0	1,94	4,96	19,83
21	BIKE6	PC	S	B	120	15,0	3,8282	0,9784	3,7888	5,4743	3,0	3,35	1,67	6,67
22	BIKE4	PC	S	D	152	11,8	1,3002	0,9716	1,4421	2,1712	3,0	1,33	10,61	24,00
23	BIKE3	PC	S	F	129	14,0	2,9957	0,7219	3,7025	4,8171	3,0	2,95	2,15	8,62
24	BIKE2	PC	S	G	110	16,4	4,2806	1,1455	4,121	6,0513	3,0	3,71	1,37	5,46
25	BIC13	BI	MB	A	131	13,7	2,4071	4,4566	3,3458	6,0704	3,0	3,72	1,36	5,43
26	BIC14	BI	MB	B	118	15,3	3,5197	4,9204	5,6951	8,3086	3,0	5,09	0,72	2,90
27	BIC9	BI	MB	C	115	15,7	1,7844	6,3168	6,7143	9,3898	3,0	5,75	0,57	2,27
28	BIC11	BI	MB	D	177	10,2	1,7179	2,904	2,6946	4,3181	3,0	2,64	2,68	10,73
29	BIC10	BI	MB	E	100	18,0	3,281	7,7268	8,9125	12,2434	3,0	7,50	0,33	1,33
30	BIC12	BI	MB	F	165	10,9	1,8772	5,3027	4,4978	7,2023	3,0	4,41	0,96	3,86
31	BIC8	BI	MB	G	107	16,8	2,1208	7,4559	7,4473	10,7495	3,0	6,58	0,43	1,73
32	BIC7	BI	S	A	153	11,8	3,8827	1,803	3,8282	5,7093	3,0	3,50	1,53	6,14
33	BIC6	BI	S	B	163	11,0	4,6505	2,1928	5,315	7,3949	3,0	4,53	0,91	3,66
34	BIC2	BI	S	C	102	17,6	7,5249	2,1135	10	12,6922	3,0	7,77	0,31	1,24
35	BIC5	BI	S	D	200	9,0	3,0514	1,0877	4,0785	5,2085	3,0	3,19	1,84	7,37
36	BIC3	BI	S	E	130	13,8	6,8549	1,758	9,4842	11,8316	3,0	7,25	0,36	1,43
37	BIC4	BI	S	F	145	12,4	5,5271	1,2345	8,3849	10,1183	3,0	6,20	0,49	1,95
38	BIC1	BI	S	G	107	16,8	8,356	4,3652	11,4683	14,8459	3,0	9,09	0,23	0,91

Os Autores (2012).

APÊNDICE C – Tabela geral dos resultados da avaliação subjetiva da vibração na atividade ciclística

ID - Avaliação Objetiva	Pavimento	Bicicleta	Ciclista	Avaliação Subjetiva		
				Escala	Conceito	Opinião
BICI 1	BI	S	G	3,0	Regular	Aceitável
BICI 2	BI	S	C	2,5	Regular	Aceitável
BICI 3	BI	S	E	2,5	Regular	Aceitável
BICI 4	BI	S	F	3,0	Regular	Aceitável
BICI 5	BI	S	D	3,0	Regular	Aceitável
BICI 6	BI	S	B	1,5	Ruim	Inaceitável
BICI 7	BI	S	A	2,5	Regular	Indeciso
BICI 8	BI	MB	G	3,5	Bom	Aceitável
BICI 9	BI	MB	C	2,5	Regular	Aceitável
BICI 10	BI	MB	E	2,5	Regular	Aceitável
BICI 11	BI	MB	D	4,0	Bom	Aceitável
BICI 12	BI	MB	F	4,0	Bom	Aceitável
BICI 13	BI	MB	A	3,5	Bom	Aceitável
BICI 14	BI	MB	B	3,0	Regular	Aceitável
BICI 15	AS	MB	G	4,5	Muito Bom	Aceitável
BICI 16	AS	MB	C	4,5	Muito Bom	Aceitável
BICI 17	AS	MB	E	5,0	Muito Bom	Aceitável
BICI 18	AS	MB	A	5,0	Muito Bom	Aceitável
BICI 19	AS	MB	F	5,0	Muito Bom	Aceitável
BICI 20	AS	MB	D	5,0	Muito Bom	Aceitável
BICI 21	AS	MB	B	4,5	Muito Bom	Aceitável
BICI 22	AS	S	G	5,0	Muito Bom	Aceitável
BICI 23	AS	S	C	5,0	Muito Bom	Aceitável
BICI 24	AS	S	E	5,0	Muito Bom	Aceitável
BICI 25	AS	S	F	5,0	Muito Bom	Aceitável
BICI 26	AS	S	A	5,0	Muito Bom	Aceitável
BICI 27	AS	S	B	4,7	Muito Bom	Aceitável
BICI 28	AS	S	D	4,0	Bom	Aceitável
BIKE 2	PC	S	G	3,5	Bom	Aceitável
BIKE 3	PC	S	F	5,0	Muito Bom	Aceitável
BIKE 4	PC	S	D	4,0	Bom	Aceitável
BIKE 5	PC	S	A	4,0	Bom	Aceitável
BIKE 6	PC	S	B	4,0	Bom	Aceitável
BIKE 7	PC	MB	G	4,0	Bom	Aceitável
BIKE 8	PC	MB	A	4,5	Muito Bom	Aceitável
BIKE 9	PC	MB	F	5,0	Muito Bom	Aceitável
BIKE 10	PC	MB	D	5,0	Muito Bom	Aceitável
BIKE 11	PC	MB	B	4,5	Muito Bom	Aceitável

Fonte: Os Autores (2012).