

Análise do Nível de Vibração em Plataformas Vibratórias para Condicionamento Físico Frente à Norma ISO 2631

Alessandro Limberger Cargnelutti¹
Juan Pablo Raggio Quintas²
Herbert Martins Gomes³

Resumo

Este trabalho consiste no estudo da vibração de corpo inteiro como resultado da realização de exercícios em plataformas vibratórias. Tem por objetivo avaliar os níveis vibratórios a que os usuários dessas plataformas estão submetidos, e para tanto foram realizadas medições em três diferentes plataformas com dois indivíduos de massas diferentes a fim de verificar como se dá a variação da aceleração com a frequência de operação, e se existe diferença nos níveis de aceleração conforme a massa do usuário para o mesmo regime de operação. Cada plataforma foi avaliada conforme seus regimes usuais, e as acelerações obtidas em cada regime de operação foram então compiladas para a simulação de rotinas de treino equivalentes a 20 minutos de exposição diária. Cada uma das rotinas foi confrontada com as curvas que determinam os valores limite de exposição diário (VLE), de acordo com a norma ISO 2631-1 (1997), a fim de classificar qual o potencial de riscos à saúde que a exposição às vibrações pode oferecer. Os resultados obtidos mostram que a utilização das plataformas deve ter algum tipo de controle, já que as rotinas simuladas forneceram acelerações que segundo a norma, em longo prazo, tem grande potencial de oferecer riscos à saúde.

Palavras-chave: Vibração transmitida ao corpo inteiro, Plataformas vibratórias, Exposição diária à vibração.

1 Introdução

A vibração age no corpo humano em diversas situações, na condução de veículos automotores, operação de máquinas e ferramentas até durante atividades físicas. Segundo Becker (2006) a vibração está presente em qualquer sistema mecânico que se mova, diferindo de um sistema para outro apenas em nível e conteúdo espectral. Quando uma pessoa está exposta a essa vibração, as características do movimento, aliadas ao tempo de exposição, vão definir se e em que grau a vibração do sistema poderá ser nociva ao corpo humano.

Este trabalho consiste na realização de medições do nível de vibração em diferentes modelos de plataformas vibratórias, utilizadas para condicionamento físico com o objetivo de verificar se os resultados obtidos estão dentro dos limites seguros para a saúde

humana, utilizando-se como referência a norma ISO 2631-1 (1997).

1.1 Justificativa

As consequências da vibração em projetos de engenharia têm sido motivo de pesquisas de longa data. Essas pesquisas eram, sobretudo, voltadas para análises dos efeitos das vibrações em estruturas, componentes de máquinas e no estudo determinístico de sua resistência mecânica quanto à exposição a vibrações. Engenheiros descobriam que a exposição à vibração poderia danificar e causar o mau funcionamento desses componentes. Sabendo-se do potencial maléfico das vibrações para estruturas e equipamentos em geral, surgiu então outra preocupação, conhecer o comportamento do corpo humano quando submetido a vibrações mecânicas.

- 1 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dep. Engenharia Mecânica, Graduando em Eng. Mecânica, Av. Sarmento Leite, 425, sala 202, 2º. Andar, 90050-170 – Porto Alegre – RS – Brazil. E-mail: alessandro_lc@yahoo.com.br.
- 2 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dep. Engenharia Mecânica, Graduando em Eng. Mecânica, Av. Sarmento Leite, 425, sala 202, 2º. Andar, 90050-170 – Porto Alegre – RS – Brazil. E-mail: pablo@mecanica.ufrgs.br.
- 3 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dep. Engenharia Mecânica, Graduando em Eng. Mecânica, Av. Sarmento Leite, 425, sala 202, 2º. Andar, 90050-170 – Porto Alegre – RS – Brazil. E-mail: herbert@mecanica.ufrgs.br.

Pesquisas referentes à utilização da vibração como fenômeno atuante no melhoramento do condicionamento físico se iniciaram na antiga União Soviética na década de 1970. Surgia então o conceito da plataforma vibratória para servir como preparação aos cosmonautas inseridos no programa de exploração do espaço, já que esses apresentavam perda de massa óssea e muscular em resultado da ausência de gravidade (Issutin, 1999).

Em tempos onde a cultura ao corpo e a preocupação com a saúde está cada vez mais em evidência, novas tecnologias surgem e equipamentos para condicionamento físico estão em constante aprimoramento. Impulsionada pela grande quantidade de artigos revelando os benefícios da vibração em tratamentos estéticos, fisioterápicos e de desempenho nos seres humanos, ocorreu a popularização do uso da vibração como coadjuvante da atividade física.

Em virtude do aumento do interesse nesse tipo de exercício é que cresce a necessidade da realização de novas pesquisas, as quais possam certificar se as plataformas vibratórias produzam unicamente benefícios e bem estar aos usuários. Para tanto o presente trabalho tem como objetivos principais:

- i) medir os níveis de vibração a que os usuários de plataformas vibratórias estão submetidos por meio de experimentos práticos realizados em três diferentes tipos de aparelhos, e com dois indivíduos de massas diferentes. Cada aparelho será avaliado nas faixas de frequência nas quais é usualmente utilizado;
- ii) de posse dos dados experimentais e com base na ISO 2631-1, 1997 – *Mechanical vibration and shock – evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General Requirements* investigar qual o potencial de riscos à saúde quando realizados exercícios a longo prazo, comparando-se os dados com os gráficos fornecidos pela norma;
- iii) por fim, estimar qual o tempo limite de exposição às vibrações sem que possa acarretar algum tipo de risco/prejuízo à sua saúde.

2 Breve Revisão da Literatura

2.1 Exposição do corpo humano à vibração

2.1.1 Os efeitos positivos da vibração

Inúmeros artigos publicados relatam os benefícios da utilização das plataformas vibratórias para condicionamento físico. Jordan *et al.* (2005) relatam

que um excelente exemplo dos benefícios da vibração para a saúde da população em geral é o acréscimo da massa óssea após uma exposição em longo prazo ao treinamento com vibração de corpo inteiro, um efeito que pode ser importante na prevenção da osteoporose. Bogaerts *et al.* (2007) relatam que o treino com plataforma vibratória pode ser visto como um método de treino cardiovascular, sem aumentar os riscos de lesão no coração, se comparado com métodos de treino tradicionais. Além do mais, seus estudos mostraram que treinos com vibração requerem a metade do tempo de um programa de treino convencional para se obter os mesmos resultados.

Delecluse *et al.* (2003) realizaram um estudo mostrando que o acréscimo de força após treinos realizados em plataforma vibratória não eram atribuídos ao efeito placebo. A plataforma utilizada nesse estudo produzia vibrações verticais com frequências entre 35 e 40 Hz, gerando uma aceleração que variava entre 2,28 g e 5,09 g. Algumas pessoas foram submetidas aos mesmos exercícios somente escutando o ruído do motor e submetidos a uma pequena vibração que gerava apenas 0,40 g. Os resultados mostraram que o grupo que foi submetido ao treino com vibração efetiva apresentou significantes melhoras em resistência e força muscular, enquanto que o grupo submetido ao treinamento placebo não apresentou acréscimos consideráveis no seu desempenho muscular.

2.1.2 Os efeitos negativos da vibração

Havendo contato direto entre o corpo humano e a plataforma as vibrações transmitidas podem causar efeitos que dependem de características físicas individuais de cada pessoa, e também do tempo de exposição a essa vibração. Segundo Griffin (2001) e Ishitake *et al.* (2000) determinadas faixas de frequência e níveis de aceleração relacionados podem apresentar no corpo humano as seguintes consequências:

- a) na atividade muscular/postural, na faixa de 1 a 30 Hz, as pessoas apresentam reflexos lentos e dificuldades para manter a postura;
- b) no sistema cardiovascular, em frequências inferiores a 20 Hz, apresentam um aumento da frequência cardíaca;
- c) aparentemente existem alterações de ventilação pulmonar e taxa respiratória com vibrações na ordem de $4,9 \text{ m/s}^2$ na faixa de 1 a 10 Hz;

Cada segmento do corpo humano apresenta frequências naturais distintas. Se uma frequência externa de vibração coincide com a frequência natural de algum segmento do corpo, ocorre ressonância, que implica

amplificação do movimento (Wasserman, 1987). As principais frequências de ressonância do corpo humano são mostradas na Figura 1.

Griffin *et al.* (1998) relatam que a exposição crônica à vibração ocupacional pode apresentar diversos efeitos colaterais negativos, como vertigens, alterações hemodinâmicas, dor lombar e alterações na visão. Os efeitos relatados pelos autores, somados às conclusões de outros estudos, mostram que é para frequências de 30 Hz ou mais que se dá a maior suscetibilidade dos humanos às consequências negativas da vibração.

2.2 Metodologia para avaliação da vibração

Segundo Mester (2006) a dificuldade em formular uma norma para o uso seguro da vibração como atividade física se deve pelo fato de existir, nesse caso, muitos parâmetros envolvidos. Entre esses parâmetros, estariam: frequência, amplitude de vibração, intensidade, carga, duração de cada treino, tempo de descanso entre as séries de exercícios, o período total de treinamento, a posição do corpo com relação à plataforma e assim por diante. A partir disso, optou-se pela norma ISO 2631-1 1997 – *Mechanical vibration and shock – evaluation of human exposure to whole-body vibration* para servir de referência no que diz respeito ao risco apresentado à saúde mediante exposição do corpo humano a determinado nível de vibração.

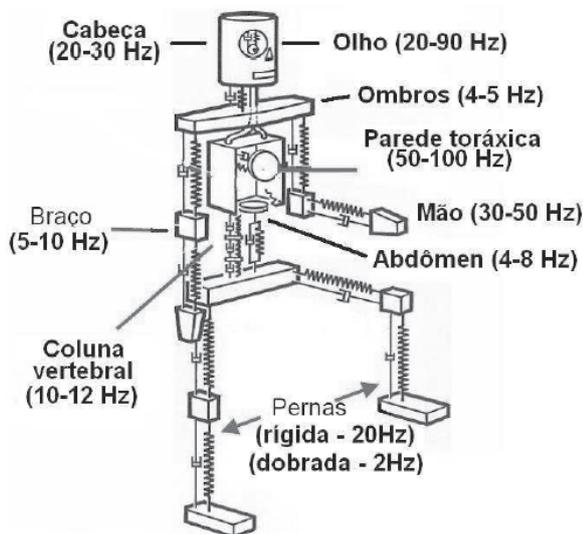


Figura 1 – Principais frequências de ressonância para segmentos do corpo humano – representado por um sistema massa-mola-amortecedor (Bruel e Kjaer, 2000).

2.2.1 Aplicabilidade da norma ISO 2631-1

Basicamente a aplicabilidade dos métodos da norma ISO 2631-1 para avaliação de vibrações no

corpo humano é definida pelo fator de pico. O fator de pico é definido como a razão entre o módulo do maior valor instantâneo da aceleração ponderada e o valor rms da mesma aceleração, como é expresso por:

$$F_p = \frac{\max |a_w(t)|}{a_w} \quad (1)$$

onde $\max |a_w(t)|$ é o maior valor instantâneo da aceleração ponderada e a_w é o valor rms correspondente à essa aceleração.

Dessa forma a norma estabelece que para vibrações com fator de pico menor ou igual a nove, a avaliação por meio dos métodos indicados pela ISO 2631-1 são suficientes. Para fatores de pico superiores a nove a norma classifica como vibração por impacto, e para tal não se aplica os métodos apresentados neste trabalho.

3 Materiais e Métodos

3.1 Norma ISO 2631-1 (1997)

A norma ISO 2631-1 define métodos para medição da vibração periódica, aleatória e transiente no corpo inteiro, determinando em que grau a exposição àquele nível de vibração será aceitável de acordo com três níveis de severidade: (a) limite de conforto; (b) limite de perda de eficiência causado por fadiga, que está relacionado à preservação da eficiência na atividade e é relevante para operadores de máquinas, equipamentos e condutores de veículos automotores; (c) limite de exposição que oferece perigo à saúde, o qual servirá de referência para este trabalho. A metodologia para esse caso se encontra no anexo B da norma.

Essa norma oferece parâmetros para análise das vibrações basicamente para as posições em pé, sentado ou deitado, sendo que para a análise dos efeitos vibratórios das plataformas serão consideradas apenas duas delas, em pé e sentado.

3.1.1 Orientação da medição

A vibração deve ser medida a partir de um sistema de coordenadas que se origina no ponto em que a mesma está agindo no corpo humano, de acordo com os sistemas de coordenadas mostrados na Figura 2. As medidas serão realizadas em duas posições, com a pessoa sentada no aparelho, sem encosto e sem apoio das mãos e com a pessoa em pé, posições essas comuns no uso do equipamento e indicado nos manuais dos aparelhos. A norma ISO 2631-1 diz que as medidas para a pessoa sentada devem ser realizadas na área de sustentação principal, abaixo do cóccix, para a pessoa

em pé devem ser realizadas o mais próximo possível do apoio dos pés.

3.1.2 Avaliação da vibração

A análise por meio da norma ISO 2631-1 é realizada em termos da aceleração ponderada (*rms*) em relação a um sistema de coordenadas. Dependendo da posição de contato com a vibração, a avaliação deve ser ponderada com diferentes pesos. A aceleração *rms* ponderada é calculada com a seguinte expressão:

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (2)$$

onde $a_w(t)$ é a aceleração ponderada em função do tempo em m/s^2 e T é a duração da medição em segundos.

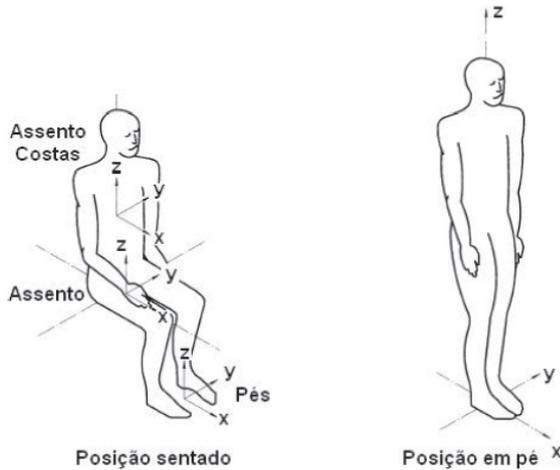


Figura 2 – Sistemas de coordenadas (ISO 2631-1, 1997).

Segundo Becker (2006) as formas diretas de quantificar o movimento oscilatório, baseadas no valor *rms* não levam em conta os possíveis efeitos gerados por diferentes frequências. Dessa forma, para alguns parâmetros, tais como a aceleração *rms*, é possível verificar diferentes efeitos no corpo humano para conteúdos espectrais de valores iguais. Esse fato torna os valores obtidos experimentalmente sem validade para o caso da biodinâmica, já que essa necessita valores que correspondam diretamente magnitude de vibração com o efeito sobre o corpo humano. Com a finalidade de corrigir esse problema foram geradas curvas de ponderação, indicadas pela ISO 2631-1:1997, para as medições do movimento oscilatório do corpo humano. A Figura 3 apresenta as principais curvas de ponderação utilizadas na ISO 2631-1, essas representam fatores que atribuem pesos diferentes para movimentos com frequências diferentes. A curva W_k serve para ponderar as vibrações medidas na direção vertical (eixo z), e a curva W_d deve ser utilizada para ponderar vibrações na direção horizontal (eixos x e y).

Apesar de ficar evidente em função da característica de vibração vertical das plataformas que o eixo z apresentará os valores mais significantes de aceleração, realizam-se as medições dos valores de aceleração ponderada nos eixos x, y e z, representados por a_{wx} , a_{wy} e a_{wz} , dados em m/s^2 , apresentam-se na Tabela 1 os fatores multiplicadores k_f , os quais atribuem pesos diferentes para cada eixo de coordenadas de acordo com a medição realizada. Griffin (1998) justifica a aplicação desses fatores, pois segundo ele, a vibração em diferentes frequências pode produzir diferentes sensações em cada segmento do corpo segundo os eixos coordenados indicados na Figura 2.

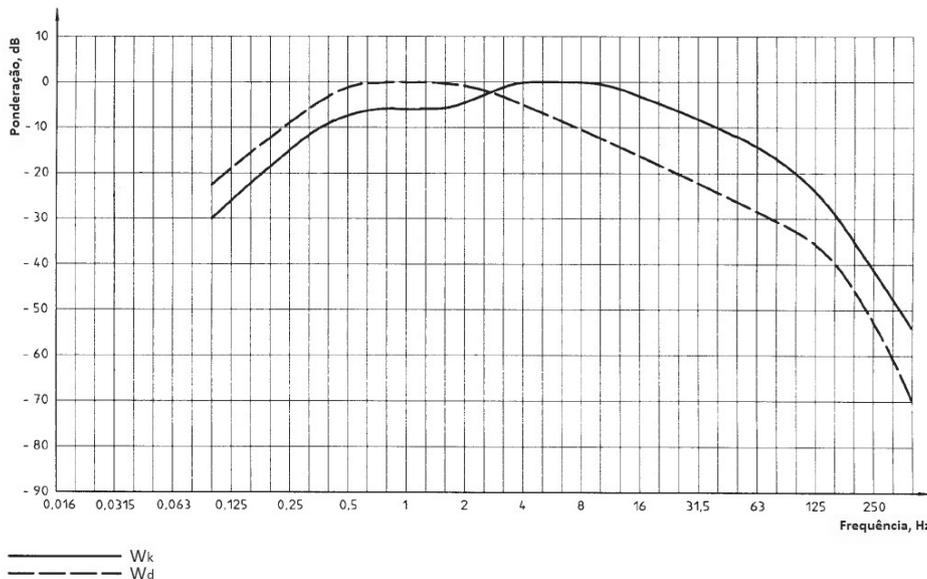


Figura 3 – Curvas de ponderação W_d e W_k em função da frequência (ISO 2631-1, 1997).

Para o eixo z é utilizado o fator unitário, tendo em vista a existência, para esse eixo, de grande número de dados experimentais e conseqüentemente maior confiabilidade. Já para acelerações nos eixos x e y , utiliza-se um fator de segurança igual a 1,4 em função da falta de dados em que se possa depositar maior confiança.

A partir desses valores, aplicando a soma dos quadrados da aceleração de cada componente multiplicados pelo quadrado do fator de multiplicação específico, obtém-se a aceleração *rms* compensada a_w correspondente à vibração total, conforme:

$$a_w = \sqrt{(k_x a_{wx})^2 + (k_y a_{wy})^2 + (k_z a_{wz})^2} \quad (3)$$

onde a_w é a aceleração combinada ponderada em m/s^2 , k_x , k_y e k_z são os fatores multiplicadores respectivos para cada eixo, e a_{wx} , a_{wy} e a_{wz} são valores de aceleração ponderada nos eixos x , y e z , respectivamente.

A norma indica que o tempo de medição deve ter a duração necessária para assegurar razoável precisão estatística a fim de garantir que a vibração medida é representativa da exposição total avaliada. Assumindo-se que os efeitos da vibração são relacionados com energia, dois diferentes tempos de exposição diários são equivalentes quando:

$$a_{w1} T_1^{1/4} = a_{w2} T_2^{1/4} \quad (4)$$

onde a_{w1} e a_{w2} são valores de acelerações ponderadas *rms* para a primeira e a segunda exposição em m/s^2 , respectivamente. T_1 e T_2 são as durações correspondentes para a primeira e a segunda exposição, em [s].

Outros estudos indicam a dependência do tempo de acordo com a seguinte relação:

$$a_{w1} T_1^{1/4} = a_{w2} T_2^{1/4} \quad (5)$$

É importante salientar que, para o caso do treinamento em plataformas vibratórias, os usuários são submetidos ha certo número de séries com vibração em diferentes níveis e tempos para cada série, dessa forma,

a magnitude total equivalente em energia de vibração é dada segundo:

$$a_{w,e1} = \left[\frac{\sum a_{wi}^2 T_i}{\sum T_i} \right]^{1/2} = a_{w2} T_2^{1/4} \quad (6)$$

onde $a_{w,e}$ é a magnitude equivalente de vibração (aceleração *rms* em m/s^2) para o somatório de todos os tempos T_i , em [s], e a_{wi} é a magnitude de vibração (aceleração *rms* em m/s^2) para um exposição T_i , em [s].

A norma ainda define que, para uma dada exposição à vibração, para que se avalie a existência de risco à saúde é necessário comparar os valores medidos em termos de aceleração com os valores limites para exposição diária à vibração. A exposição diária à vibração, definida aqui como $A(8)$, pode ser entendida como um valor de aceleração correspondente para um período total de exposição de oito horas diárias da aceleração medida em um determinado tempo T . Sua expressão é:

$$A(8) = a_{w,e} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (7)$$

onde $a_{w,e}$ é a vibração total equivalente em m/s^2 dada pela expressão (6), sendo que, para casos onde haja apenas um período de exposição, $a_{w,e}$ pode ser substituído por a_w , definido como a aceleração ponderada combinada nos três eixos dada pela equação (3), e T_0 é uma duração de referência de oito horas. O tempo de referência T_0 (oito horas) é adotado a fim de facilitar comparações entre exposições diárias à vibração de diferentes durações.

Então para poder avaliar se uma determinada exposição à vibração está ou não sendo prejudicial à saúde, comparamos a exposição diária à vibração ($A(8)$) aos limites fornecidos pela norma. O limite utilizado nesse caso como referência para a análise do risco à saúde é chamado VLE (Valor Limite de Exposição), o qual indica, segundo a ISO 2631-1, o valor limite de exposição acima do qual existe grande potencial da

Tabela 1 – Guia para aplicação dos fatores de ponderação para análise quanto aos riscos à saúde (ISO 2631-1, 1997).

	FATORES DE PONDERAÇÃO – ANÁLISE QUANTO À SAÚDE					
	Corpo inteiro – em pé			Corpo inteiro – sentado		
	Eixo X	Eixo Y	Eixo Z	Eixo X	Eixo Y	Eixo Z
Curvas de ponderação	Wd	Wd	Wk	Wd	Wd	Wk
Fator multiplicador (k)	1,4	1,4	1,0	1,4	1,4	1,0

ocorrência de riscos à saúde, devendo ser tomadas providências imediatas para diminuir a exposição.

A norma inicialmente fornece duas expressões para obter esses limites, que foram apresentadas como expressões (4) e (5). Neste trabalho, em se tratando de uma análise da exposição para um período de exposição equivalente a oito horas diárias, utiliza-se a equação onde os limites de exposição resultam em valores menores, visando maior segurança. As linhas indicadas na legenda do gráfico da Figura 4 representam o valor limite de exposição de acordo com as equações (4), em azul e (5), em amarelo. Dessa forma, considera-se que valores obtidos acima da linha azul gerada pela equação (4) significam alto potencial de riscos à saúde. No gráfico também é possível observar o valor limite de exposição (VLE) por meio da linha vermelha projetada no eixo das ordenadas a partir do ponto de intersecção entre a linha de tempo equivalente a oito horas de exposição e a linha de VLE fornecida pela expressão (4).

3.1.3 Equipamento

Para a medição da aceleração ponderada (*rms*) o instrumento utilizado é o VI 400-PRO, trata-se de um equipamento utilizado especialmente para medição de aceleração no corpo humano. O aparelho lê as acelerações por meio dos transdutores que reproduzem o movimento que está sendo absorvido pelo corpo, e

então envia sinais elétricos proporcionais a aceleração gerada pela vibração. Os transdutores para esse caso, de aceleração em corpo inteiro, ficam localizados em um dispositivo chamado *seatpad*, o qual está de acordo com a norma e fica localizado na interface entre a base de medição e o local de apoio do corpo humano. É ressaltada aqui a importância do correto posicionamento do *seatpad* para leitura das acelerações, fixando-o de forma que impeça que o movimento do acelerômetro/transdutor seja diferente do movimento do corpo. Na Figura 5 tem-se uma imagem do aparelho junto com o *seatpad* e em seguida, na Figura 6, uma representação em corte do *seatpad*.



Figura 5 – Kit de Medição de vibrações VI 400-PRO (Fonte: Autor).

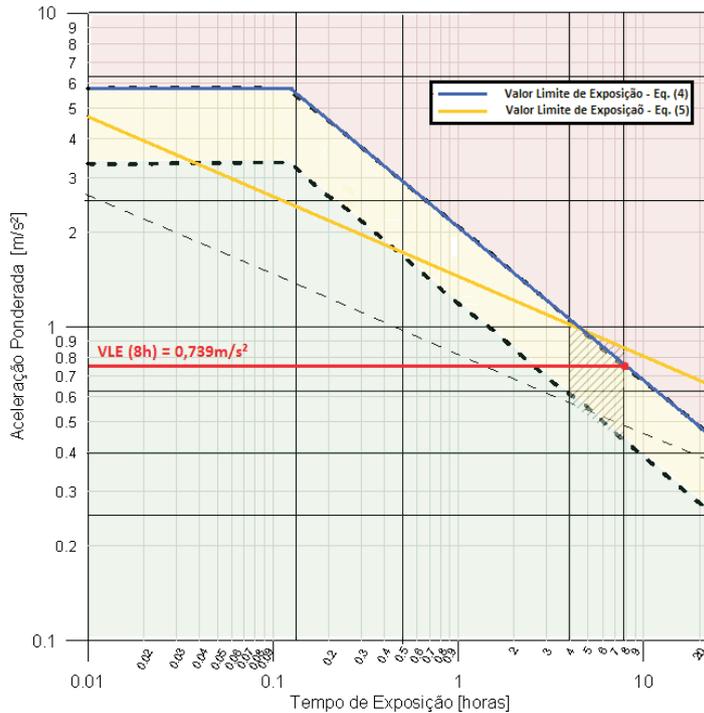


Figura 4 – Gráfico indicando as zonas de segurança (verde), precaução (amarelo) e risco (vermelho) adaptado da ISO 2631-1:1997. (ISO 2631-1, 1997).

Tendo em vista a capacidade das plataformas em estabilizar rapidamente em regime para a frequência escolhida, o aparelho assegura para pequenos intervalos de tempo de medição uma satisfatória precisão estatística, garantindo-se, em se tratando de aceleração *rms*, a representatividade da vibração avaliada em relação à exposição total àquelas condições/regimes.

3.1.4 Plataformas avaliadas

Serão utilizadas nas medições e avaliações três diferentes tipos de plataformas vibratórias. As mesmas

serão postas à prova operando em diferentes frequências, respeitando-se os limites de cada aparelho, e também com o objetivo de simular as frequências geralmente utilizadas nos treinos reais com cada aparelho. As plataformas utilizadas foram: Power Plate My5, Maxxi Plate e Merit Fitness V1000. Na Tabela 2 são apresentados alguns dados técnicos de cada plataforma.

Na Figura 7 apresentam-se os três modelos de plataforma utilizados nos experimentos, lembrando-se que todas estavam em condições normais de operação.

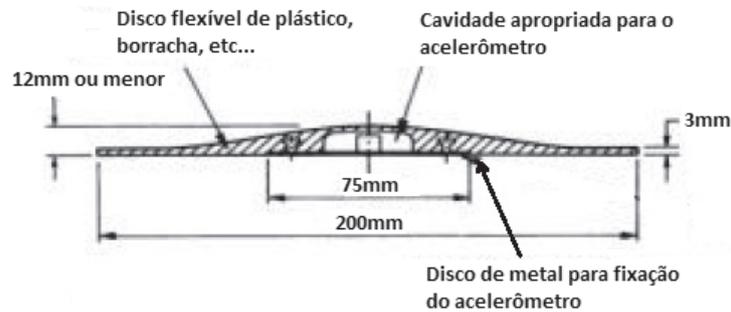


Figura 6 – Representação em corte do seatpad padronizado para medições (ISO 2631-1,1997).



Figura 7 – Modelos de plataformas utilizados nas medições (Fonte: Autor).

Tabela 2 – Características das plataformas utilizadas nas medições.

Característica	Power plate my5	Maxxi plate	Merit fitness V1000
Capacidade	136 kg	120 kg	120 kg
Frequência	30 Hz à 40 Hz	10 Hz a 35 Hz	20 Hz a 55 Hz
Ajuste de frequência	Incremento de 1Hz	Incremento de 1Hz	Incremento de 5Hz
Ajuste do tempo	30 s ou 60 s	30 s ou 60 s	30 s ou 60 s
Ajuste da amplitude	alta ou baixa	não possui	não possui
Dimensões da plataforma	69 cm x 59 cm	65 cm x 70 cm	63 cm x 75 cm
Massa do aparelho	90 kg	67 kg	52 kg
Alimentação de força	90-290VAC, 50/60 Hz	110-127VAC, 50/60 Hz	110-127VAC, 50/60 Hz
Potência nominal	350 W	não fornecido	560 W
Tipo de vibração	Vibração vert.	Oscilatória	Vibração vert.

3.1.5 Posições medidas

Nas plataformas em questão o usuário entra em contato com as vibrações da plataforma por meio da base do aparelho; observa-se que na posição ereta o usuário recebe as vibrações da plataforma nos pés, que formam o apoio principal. No segundo caso a pessoa estará sentada na base da plataforma, sem apoio nas costas e das mãos, podemos observar as posições de medição na Figura 8.

No estudo dos níveis de vibração nas plataformas vibratórias será dada ênfase para as vibrações de corpo inteiro, para as quais tem-se as diretrizes determinadas pela norma ISO 2631-1. No entanto para posição ereta percebe-se que o usuário mantém contato das mãos com o aparelho, a intensidade e as consequências dessa vibração para o mesmo não serão motivo de estudo no presente trabalho, sendo desconsideradas nas análises e sendo uma sugestão para futuras medições e continuação da investigação deste trabalho.

3.1.6 Regimes de operação avaliados

Para cada aparelho as medições foram realizadas nas frequências mais utilizadas em condições

normais de treino, segundo seu manual e relatos dos usuários. Também foram realizadas medições em duas pessoas de massas diferentes, a fim de verificar como a aceleração varia conforme a variação da massa do usuário. Foram realizadas medições em 12 regimes de operação, sendo duas pessoas para cada regime, totalizando 24 resultados em aceleração, sendo que na Tabela 3 a seguir apresentam-se os valores de frequência e massa dos usuários que participaram das medições para cada modelo avaliado.

4 Resultados e Análises

4.1 Das medidas de aceleração combinada ponderada

Para dar início ao estudo da possível ocorrência de riscos à saúde mediante a utilização das plataformas, serão visualizados por meio de gráficos os resultados da avaliação das acelerações *rms* ponderadas, obtidas para cada modelo de plataforma. Esses resultados de aceleração combinada (eixo *x*, *y* e *z*) ponderada pela frequência foram obtidos diretamente do software *QuestSuite Professional II*, o qual torna possível a visualização dos dados experimentais obtidos com o



Figura 8 – Posições para medição das vibrações transmitidas pela plataforma (Fonte: Autor).

Tabela 3 – Frequências de vibração e massas dos usuários para os testes.

Frequência	Power plate my5		Maxxi plate		Merit fitness v1000	
	Pé	Sentado	Pé	Sentado	Pé	Sentado
15 Hz	–	–	87/70 kg	–	–	–
25 Hz	–	–	87/70 kg	–	87/48 kg	87/48 kg
35 Hz	87/46 kg	87/46 kg	87/70 kg	–	–	87/48 kg
40 Hz	87/46 kg	87/46 kg	–	–	87/48 kg	–
55 Hz	–	–	–	–	87/48 kg	–

instrumento VI 400-PRO, utilizado nas medições. Na Figura 9 apresentam-se os resultados de aceleração para cada plataforma sendo que para os modelos Power Plate My5 e Merit Fitness V1000 têm-se resultados para duas posições de medição, sentado e em pé, e para o modelo Maxxi Plate apresenta-se unicamente resultados para a posição em pé.

Nos gráficos cada coluna representa uma medição, os valores de aceleração vistos nos eixos das ordenadas são obtidos mediante a equação (3). O processo de obtenção dos valores de aceleração combinada ponderada é realizado diretamente pelo aparelho, que lê as acelerações obtidas nos três eixos (x , y e z), pondera de acordo com as curvas de ponderação (W_d e W_k) visualizadas na Figura 3 e então aplica na expressão (3) juntamente aos fatores multiplicadores (K_i) apresentados na tabela 1, obtendo-se a_w , aceleração combinada ponderada. No eixo das abscissas tem-se as frequências desenvolvidas durante a medição. Para cada aparelho deve-se observar ainda a legenda que contém a identificação do usuário de acordo com a massa (M).

É importante ressaltar que a massa de um dos usuários é diferente para cada modelo. Também pode ser observada a ausência de valores referentes à posição sentada para o modelo Maxxi Plate, tendo em vista que para esse aparelho, que tem vibração do tipo oscilatória, a colocação do *seatpad* logo abaixo do cóccix como indica a norma, não representaria de forma satisfatória a vibração, já que nessa posição (centro da plataforma) existe um eixo neutro praticamente isento de vibração.

4.1.1 Da variação da aceleração com a frequência

Com o gráfico da Figura 9 verifica-se a tendência de aumento da aceleração com o aumento da frequência de excitação. Para todos os regimes estudados foram constatados aumentos na aceleração, que variaram entre 1,94% para a massa de 87 kg na posição sentada no aparelho Power Plate, quando a frequência variou de 35 para 40 Hz até a máxima variação registrada equivalente à 147,82% para a massa de 70 kg em pé no aparelho Maxxi Plate, quando elevou-se a frequência de 15 para 25 Hz. É possível visualizar também que o aparelho Maxxi Plate apresentou em geral as maiores taxas de aumento da aceleração de acordo com a frequência, variando entre 6,84% à 14,78% para cada Hertz de incremento na frequência. O modelo Power Plate My5 registrou aumentos entre 0,39% a 3,40% em aceleração para cada acréscimo de 1 Hz na frequência, já as taxas para o aparelho Merit Fitness V1000 ficaram entre 0,17% e 5,85% de acréscimo para cada Hertz. É válido esclarecer que a variação da porcentagem de acréscimo em aceleração, em função de cada Hertz de incremento em frequência, não pode ser considerada uma relação linear, pois foi utilizada somente como uma forma de comparação entre os modelos de plataforma, já que essas não apresentavam nas medições variações iguais de frequência para cada regime.

4.1.2 Da variação da aceleração com a massa

De forma intuitiva acreditava-se que o aumento

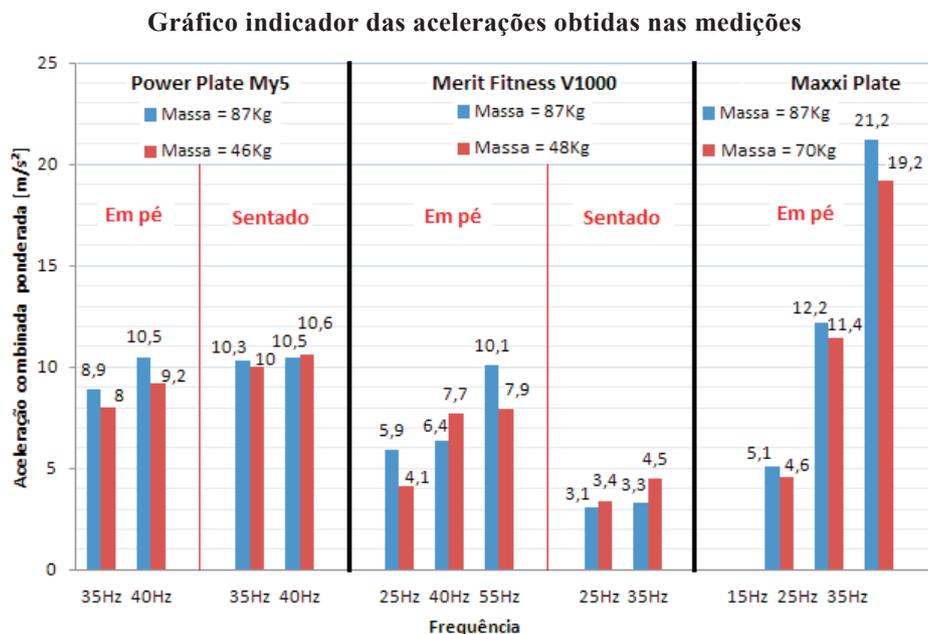


Figura 9 – Gráfico de acelerações combinadas ponderadas medidas nas plataformas.

da carga sobre o aparelho resultasse em acelerações menores nos usuários, porém, na maioria dos casos, não foi o que ocorreu. Em apenas três dos doze regimes de operação foram obtidos valores de aceleração maiores para o usuário com massa menor. Os três casos ocorreram no aparelho Merit Fitness V1000, um deles em posição ereta e dois na posição sentada. Para a posição ereta esse foi o único regime que apresentou menor aceleração para o usuário de maior massa. Pelo fato de não se conhecer neste momento qual é o grau da variação da aceleração com a massa, mas sabendo-se da grande possibilidade de não haver para esse caso uma relação linear, não se pode tirar maiores conclusões para o ocorrido sem antes realizar medições para cada massa em intervalos menores de frequência, e então ter um banco de dados experimentais com os quais se possa averiguar essa relação com mais precisão. Tudo leva a crer que os aparelhos estudados têm algum dispositivo que compensa o fato de haver mais massa para vibrar, elevando-se a intensidade de vibração, entretanto, no que se pode perceber, em vários casos, esse aumento mostrou-se maior que o necessário (o aparelho não manteve a aceleração constante com o aumento da massa (usuário) colocada a vibrar). Isso indica que há um controle muito fraco do nível de vibração que se está impondo ao usuário do aparelho.

É importante salientar que, segundo a norma ISO 2631-1, diferentes posturas dos usuários podem acarretar variações nas medidas de aceleração, fato esse que pode justificar os resultados para a posição sentada, pois mesmo os dois indivíduos estando exatamente no mesmo ponto de apoio sobre a plataforma, podem apresentar uma distribuição de peso diferente em função da altura. O aparelho que registrou as menores variações em aceleração, conforme aumento de massa do usuário, foi o Power Plate My5, registrando para a posição sentada aumentos em aceleração de 0,02 e 0,07%/ kg para as frequências de 40 e 35 Hz, respectivamente. O aparelho Maxxi Plate apresentou valores entre 0,41 e 0,64%/ kg, já as maiores variações se deram para o modelo Merit Fitness V1000, onde foram registrados

aumentos de 0,71 e 1,12% nos níveis de aceleração para cada quilograma. Vale lembrar novamente que as relações de variação entre aceleração e massa não se tratam de relações lineares, e foram somente utilizadas como uma base de comparação entre os modelos de plataformas, já que não foi possível realizar as medições em diferentes plataformas com usuários de mesma massa.

4.2 Da exposição diária

Para avaliar a exposição diária às vibrações é necessário que se conheça o tempo que o usuário permanece efetivamente recebendo o estímulo vibratório durante a rotina de treino. Dessa forma, para efeito de comparação, foi estipulada uma rotina de 20 min. de exercícios diários, na qual os usuários ficam submetidos a uma combinação das vibrações medidas para as plataformas em regime de trabalho durante os experimentos. A partir dos regimes de operação medidos foram simuladas as seguintes rotinas de treino diário.

Com os valores de aceleração para cada regime em mãos e considerando-se os tempos parciais apresentados na Tabela 4, foi aplicada a metodologia apresentada na seção anterior e então calculadas as acelerações *rms* combinadas para cada rotina, representadas no gráfico da Figura 10. A partir da expressão (7) foram obtidas as acelerações equivalentes para o tempo de oito horas (A(8h)) a fim de compará-las com o valor limite de exposição para oito horas diárias (VLE(8h)). Com base nos valores de aceleração apontados no gráfico da Figura 10, é possível afirmar que nas três rotinas simuladas as acelerações às quais o usuário fica submetido encontram-se na zona de alto risco para a saúde. Considerando-se essas rotinas de acordo com as recomendações da norma ISO 2631-1 deveriam ser tomadas providências imediatas para a diminuição da exposição à vibração.

É possível verificar que mesmo ao simular diferentes rotinas buscando-se igualar o tempo de exposição se manteve a tendência apresentada para cada

Tabela 4 – Rotinas simuladas de treino diário divididas por modelo de aparelho.

Rotina A – Power Plate My5			Rotina B – Merit Fitness V1000			Rotina C – Maxxi Plate			
Frequência	Posição	Tempo	Frequência	Posição	Tempo	Frequência	Posição	Tempo	
35 Hz	em pé	8 min.	25 Hz	em pé	5 min.	15 Hz	em pé	8 min.	
40 Hz	em pé	8 min.	40 Hz	em pé	5 min.	25 Hz	em pé	7 min.	
35 Hz	sentado	2 min.	55 Hz	em pé	5 min.	35 Hz	em pé	5 min.	
40 Hz	sentado	2 min.	25 Hz	sentado	2,5 min.				
			35 Hz	sentado	2,5 min.				
Tempo total/dia:		20 min				20 min			20 min

regime em separado, ou seja, aumento da aceleração resultante com aumento da massa, e também foi possível verificar que o aparelho Maxxi Plate continuou apresentando os maiores níveis de aceleração, seguido pelo Power Plate My5 e apresentando os menores níveis, porém, não por isso aceitável de acordo com a norma, o modelo Merit Fitness V1000. A partir daí calculou-se o tempo de exposição diário considerado seguro de acordo com a norma para cada rotina e regime em separado.

5 Conclusões

A partir da avaliação dos dados resultantes das medições de aceleração nas plataformas, mostrou-se evidente a existência de uma relação proporcional entre o aumento da frequência e o aumento da aceleração resultante transmitida ao usuário, o que de certa forma já era esperado. Já o caso da variação da aceleração com a massa do usuário indica que os aparelhos analisados não apresentam um controle adequado da vibração, de forma que assegure a aplicação da vibração de maneira uniforme (constante) em condições diferentes de uso, ou seja, para pessoas com massas diferentes. Acreditava-se que selecionados tempo e frequência para um determinado regime de operação, o aparelho deveria compensar de alguma forma a diferença de carga sobre ele, resultando na mesma aceleração

sobre o usuário, já que, em nenhum dos manuais de operação vistos, relaciona-se a massa do usuário com algum tipo de regulação para intensidade de vibração. Na realidade o que se viu é que essa intensidade de vibração geralmente é determinada diretamente pela frequência selecionada, método esse que se mostrou inadequado, pois, para uma mesma frequência de operação, pessoas de massas diferentes ficam expostas a vibrações de níveis distintos.

Apesar da relação entre frequência e aceleração se mostrar presente e incontestável para todos os regimes mensurados, e nos três modelos de plataforma avaliados é inegável a necessidade da realização de maiores estudos no que diz respeito às plataformas, investigando-se com maiores detalhes diferentes modelos e seus regimes de operação a fim de conhecer o comportamento do corpo humano mediante tal exposição e sua relação com a aceleração resultante. Somente criando-se um banco de dados por meio da realização de mais testes experimentais é que no futuro será possível a elaboração de normas para a segura utilização desse tipo de aparelho, apresentando-se de forma confiável tempos seguros para cada regime e rotina de exposição de acordo com as características de cada usuário.

Tendo-se em vista os níveis de aceleração obtidos nas rotinas simuladas, que em sua totalidade ultrapassaram os valores limite de exposição diário, fica claro que a exposição à vibração das plataformas vibratórias

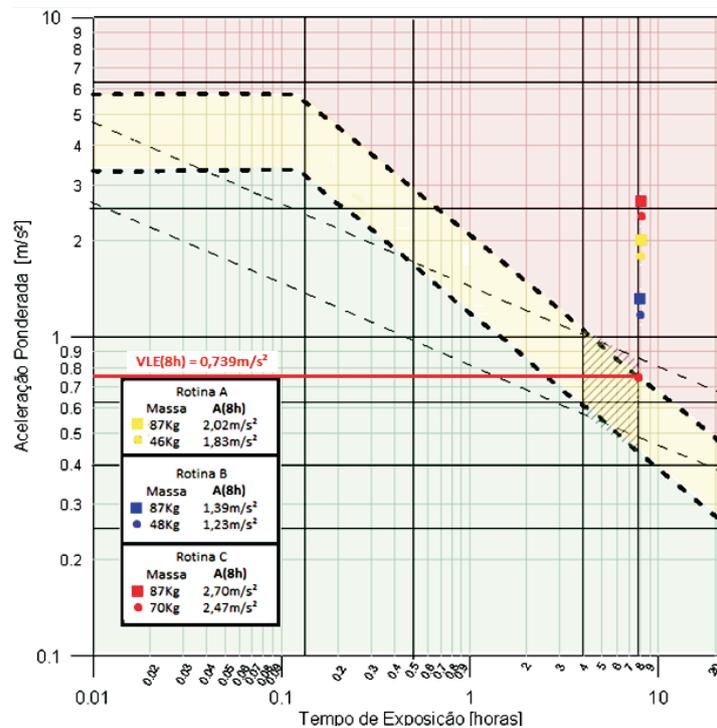


Figura 10 – Gráfico apontando as acelerações A(8h) para cada rotina simulada.

deve ter um controle mais eficaz por parte dos órgãos de saúde competentes, é evidente a necessidade de uma homologação por parte do INMETRO referente à comercialização desses aparelhos, indicando-se especificações mínimas para que se aceite os seus usos e também fazendo alusão aos riscos que a má utilização do aparelho pode acarretar. É importante salientar que as rotinas avaliadas foram simuladas, mas que o tempo de exposição diário de 20 minutos foi determinado com base nos manuais e programas de treinamento existentes para os aparelhos avaliados. Vale lembrar também que para esse trabalho foram consideradas e mensuradas apenas as acelerações de corpo inteiro, as quais foram avaliadas com base na norma ISO 2631-1 (1997), sendo que análises da vibração resultante para o sistema mão braço, que se dá para alguns exercícios pode ser motivo de estudo em trabalhos futuros.

6 Referências

- BALBINOT, A. Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: um enfoque no conforto e na saúde. Tese para obtenção de título de doutor em engenharia. Porto Alegre: UFRGS, 2001.
- BECKER, T., 2006. “Desenvolvimento de uma mesa vibratória para estudos sobre vibração no corpo humano, medições em um grupo de motoristas e ajuste de um modelo biodinâmico.” Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BRUEL oud KJAER, 2000. “Le vibration del corpo humano”. Folheto técnico.
- DELECLUSE, C., ROELANTS, M., VERSCHUEREN, S. 2003. “Strength Increase after Whole-Body Vibration Compared with Resistance Training.” *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1033-1041.
- GRIFFIN, M. J., SEIDEL, H., BOVENZI, M., BENSON, A. J. 1998. Vibration. Chapter 50, In: *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*, Volume 2, 4th Edition, Editor, J. M. Stellman, Published: International Labour Office.
- ISO 2631-1:1997. 2009. Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 1: General requirements. International Organization for Standardization.
- ISSUTIN, V. B. LIEBERMANN, G. TENENBAUM, 1999. “Effect of stimulation training vibratory on maximal force and flexibility.” *J. Sports Science* 12: 561-566.
- MESTER, J. 2006. “Vibration training: benefits and risks” *Journal of Biomechanics*.
- JORDAN, M. J., NORRIS, S. R., SMITH, D. J., HERZOG, W. 2005. “Vibration Training: An Overview of the Area, Training Consequences, and Future Considerations”. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 19(20): 459-466.
- QUEST-TECHNOLOGY. 2005. Real-time vibration Analyzers, VI-400PRO, Preliminary owner’s manual.
- WASSERMAN, D. E. 1987. “Motion and Vibration”. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of Human Factors*. New York: John Wiley & Sons.