

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

ANÁLISE DO NÍVEL DE VIBRAÇÃO EM PLATAFORMAS VIBRATÓRIAS PARA
CONDICIONAMENTO FÍSICO FRENTE À NORMA ISO 2631

por

Alessandro Limberger Cargnelutti

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

Orientador: Prof. Dr. Juan Pablo Raggio Quintas

Co-orientador: Prof. Dr. Herbert Martins Gomes

Porto Alegre, Novembro de 2011



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

ANÁLISE DO NÍVEL DE VIBRAÇÃO EM PLATAFORMAS VIBRATÓRIAS PARA
CONDICIONAMENTO FÍSICO FRENTE À NORMA ISO 2631.

por

Alessandro Limberger Cargnelutti

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

Prof. Dr. Arnaldo Ruben Gonzales
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Mecânica dos Sólidos**

Orientador: Prof. Dr. Juan Pablo Raggio Quintas

Co-orientador: Prof. Dr. Herbert Martins Gomes

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Jackson Nanfredini Vassoler

Prof. Dr. Rogério José Marczak

Prof. Dr. Walter Jesus Paucar Casas

Porto Alegre, 16 de novembro de 2011.

Á todos que lutam pelos seus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Juan Pablo Raggio Quintas, pelo incentivo e o bom humor característico em todas as horas.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Herbert Martins Gomes, por ter sido mentor do assunto do trabalho, pela atenção e pelos conhecimentos transmitidos.

A todos que possibilitaram a realização das medições, em especial às fisioterapeutas Cynthia Vasconcellos e Carolina Bianchi e aos colaboradores da LCmed medicina e estética, Bianca e Fábio.

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

*“A arte maior é o jeito de cada um...
Vivo para ser feliz, não vivo para ser comum.”*

Autor desconhecido

CARGNELUTTI, A. L. **Análise do nível de vibração em plataformas vibratórias para condicionamento físico frente à norma ISO 2631-1 (1997)**. 2011. 31f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

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 então 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 obtiveram 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.

CARGNELUTTI, A. L. **Analysis of the level of vibration in Vibration Plates according to standard ISO 2631-1 (1997)**. 2011. 31f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

ABSTRACT

This work is a study of whole body vibration as a result of exercises on vibration plates. Aims to assess the vibration levels that users of these plates are submitted and for such were made measurements on three different vibration plates with two individuals of different masses in order to verify how occurs the variation of acceleration with the frequency of operation and if differing levels of acceleration to users with different masses exposed to the same regime of operation. Each plate was evaluated according to their usual regimes and the acceleration obtained in each operating regime was then compiled for the simulation of daily routines of 20 minutes of exposure. Each routine was confronted with the curves that determine the daily exposure limit values in accordance with ISO 2631-1 (1997) in order to classify which the potential health risks that exposure to vibration can offer. The results shows that the use of the plates must have some kind of control, given that the simulated routines obtained accelerations which according to the standard, for long-term, has great potential to bring health risks.

KEYWORDS: Vibration transmitted to the whole body, Vibration Plates, daily exposure to vibration.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO.....	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa.....	1
1.2 Objetivos.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 Exposição do corpo humano à vibração.....	2
2.1.1 Os efeitos positivos da vibração	2
2.1.2 Os efeitos negativos da vibração	2
2.2 Metodologia para avaliação da vibração	3
2.2.1 Aplicabilidade da norma ISO 2631-1	3
2.3 Norma ISO 2631-1 (1997)	3
2.3.1 Orientação da medição.....	4
2.3.2 Avaliação da vibração.....	4
2.4 Materiais e métodos	8
2.4.1 Equipamento.....	8
2.4.2 Plataformas avaliadas.....	9
2.4.3 Posições medidas.....	9
2.4.4 Regimes de operação avaliados.....	10
3 RESULTADOS E ANÁLISES	11
3.1 Das medidas de aceleração combinada ponderada.....	11
3.1.1 Da variação da aceleração com a frequência.....	12
3.1.2 Da variação da aceleração com a massa	12
3.2 Da exposição diária	13
4 CONCLUSÕES	14
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

APÊNDICES.....16

ANEXOS.....17

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Principais freqüências de ressonância para segmentos do corpo humano – representado por um sistema massa-mola-amortecedor (Fonte: Bruel & Kjaer, 2000) ...	3
Figura 2.2: Sistemas de coordenadas (Fonte: ISO 2631-1, 1997)	4
Figura 2.3: Curvas de ponderação W_d e W_k em função da freqüência . (Fonte: ISO 2631-1, 1997)	5
Figura 2.4: Gráfico indicando as zonas de segurança (verde), precaução(amarelo) e risco(vermelho) pela ISO 2631-1:1997. (Fonte: ISO 2631-1, 1997)	7
Figura 2.5: Kit de Medição de vibrações VI 400-PRO.	8
Figura 2.6: Representação em corte do <i>seatpad</i> padronizado para medições (Fonte: ISO 2631-1,1997)	8
Figura 2.7: Modelos de plataformas utilizados nas medições	9
Figura 2.8: Posições para medição das vibrações transmitidas pela plataforma	10
Figura 3.1: Gráfico de acelerações combinadas ponderadas medidas nas plataformas.	11
Figura 3.2: Gráfico apontando as acelerações $A(8h)$ para cada rotina simulada.	13

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Guia para aplicação dos fatores de ponderação para análise quanto aos riscos à saúde (<i>Fonte: ISO 2631-1, 1997</i>).....	06
Tabela 2: Características das plataformas utilizadas nas medições	9
Tabela 3: Freqüências de vibração e massas dos usuários para os testes.....	10
Tabela 4: Rotinas simuladas de treino diário divididas por modelo de aparelho.....	13

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.

O 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 como referência a norma ISO 2631-1 (1997).

1.1 Justificativa

As conseqüências 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 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.

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 astronautas 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.

1.2 Objetivos

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:

- 1) Medir os níveis de vibração a que os usuários de plataformas vibratórias estão submetidos por meio de experimentos práticos realizados em 3 diferentes tipos de aparelhos e com 2 indivíduos de massas diferentes. Cada aparelho será avaliado nas faixas de frequência nas quais é usualmente utilizado.
- 2) 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 os dados com os gráficos fornecidos pela norma.
- 3) Por fim, estimar qual o tempo limite de exposição às vibrações sem que possa acarretar algum tipo de risco/prejuízo à sua saúde.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

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), disseram 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 atributos ao efeito placebo. A plataforma utilizada nesse estudo produzia vibrações verticais com frequências entre 35 e 40 Hz, gerando uma aceleração que variava entre 2,28g e 5,09g. Algumas pessoas foram submetidas aos mesmos exercícios somente escutando o ruído do motor e submetidos a uma pequena vibração que gerava apenas 0,40g. 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 conseqüências:

- a) Na atividade muscular/postural, na faixa de 1 a 30Hz, as pessoas apresentam reflexos lentos e dificuldades para manter a postura;
- b) No sistema cardiovascular, em frequências inferiores a 20Hz, 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 10Hz;

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 2.1.

Seidel e Griffin (1998) disseram 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 a conclusões de outros estudos mostram que é para frequências de 30Hz ou mais que se dá a maior suscetibilidade dos humanos às conseqüências negativas da vibração.

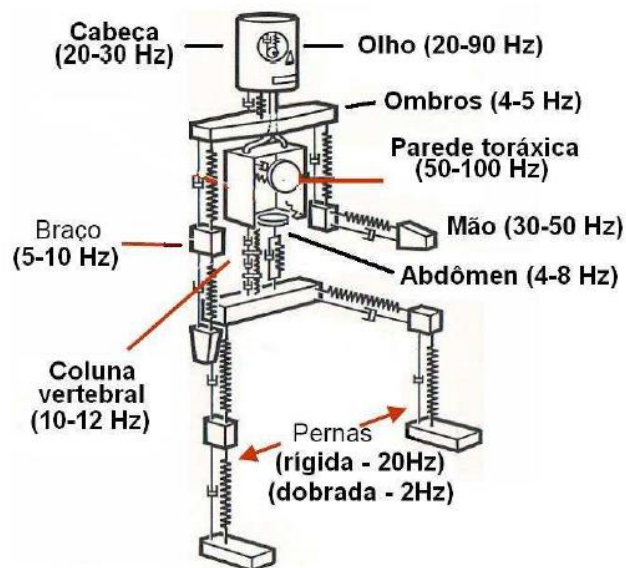


Figura 2.1: Principais freqüências de ressonância para segmentos do corpo humano – representado por um sistema massa-mola-amortecedor (Fonte: Bruel & Kjaer, 2000)

2.2 Metodologia para avaliação da vibração

Segundo J. 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: freqüência, 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.

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 *r.m.s.* da mesma aceleração, como é expresso na equação (1):

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

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

Dessa forma, a norma estabelece que para vibrações com fator de pico menor ou igual a nove, a avaliação através 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.

2.3 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:

1. Limite de conforto;
2. 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;
3. 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.

A 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.

2.3.1 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 2.2. 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 estas 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 feitas o mais próximo possível do apoio dos pés.

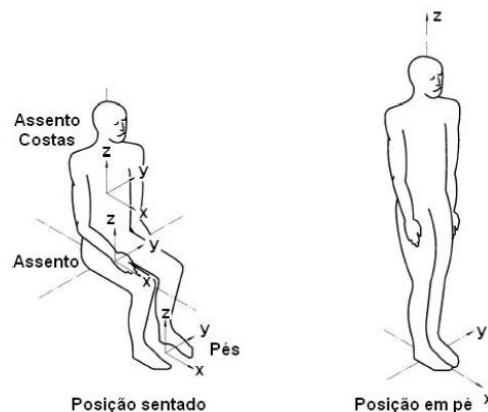


Figura 2.2: Sistemas de coordenadas (Fonte: ISO 2631-1, 1997)

2.3.2 Avaliação da vibração

A análise através da norma ISO 2631-1 é feita em termos da aceleração ponderada (r.m.s.) 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 r.m.s. 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.

Segundo Becker (2006) as formas diretas de quantificar o movimento oscilatório, baseadas no valor *r.m.s.* não levam em conta os possíveis efeitos gerados por diferentes frequências. Dessa forma, para alguns parâmetros, tais como a aceleração *r.m.s.*, 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 2.3 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).

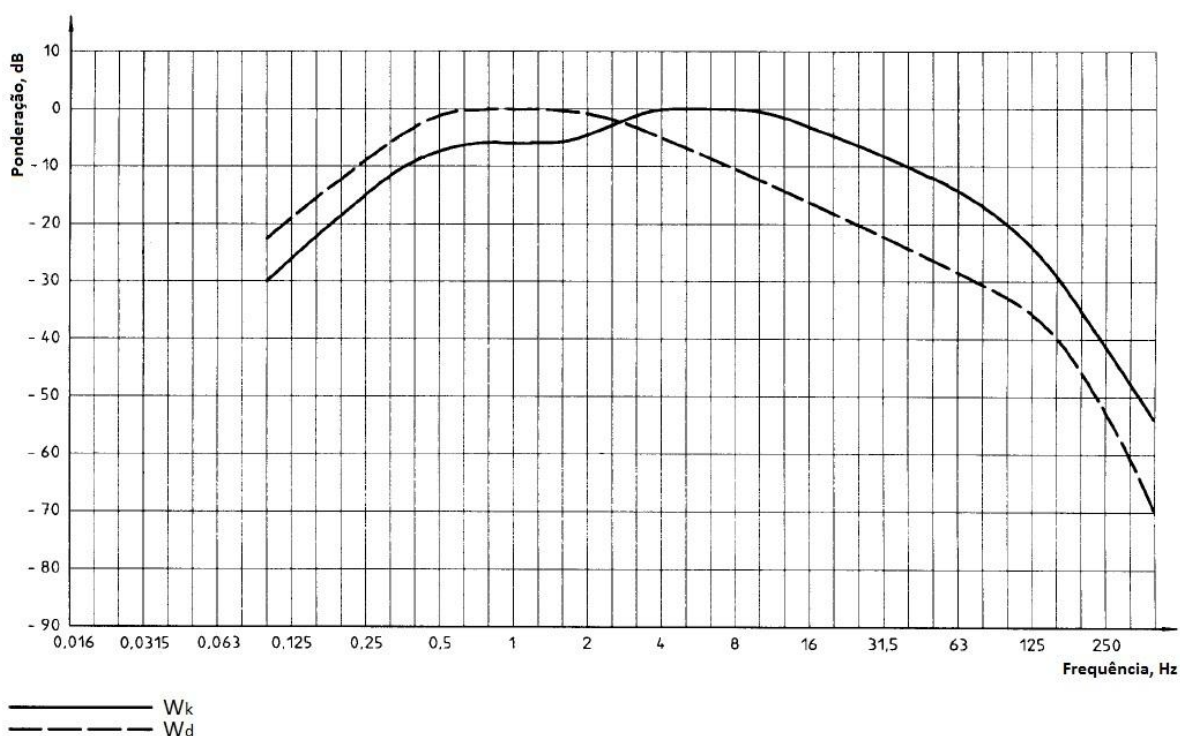


Figura 2.3: Curvas de ponderação W_d e W_k em função da frequência
(Fonte: ISO 2631-1, 1997)

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_i , os quais atribuem pesos diferentes para cada eixo de coordenadas de acordo com a medição realizada. Griffin (1990) 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 2.2. 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.

Tabela 1: Guia para aplicação dos fatores de ponderação para análise quanto aos riscos à saúde (Fonte: 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	1,4	1,4	1

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 *r.m.s.* compensada a_w correspondente à vibração total, conforme a equação (3):

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

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 que os efeitos da vibração são relacionados com energia, dois diferentes tempos de exposição diários são equivalentes quando:

$$a_{w1} \cdot T_1^{1/2} = a_{w2} \cdot T_2^{1/2} \quad (4)$$

onde a_{w1} e a_{w2} são valores de acelerações ponderadas *r.m.s.* 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:

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

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 equação (6):

$$a_{w,e} = \left[\frac{\sum a_{wi}^2 \cdot Ti}{\sum Ti} \right]^{1/2} \quad (6)$$

onde $a_{w,e}$ é a magnitude equivalente de vibração (aceleração *r.m.s.* em m/s^2) para o somatório de todos os tempos T_i , em [s], e a_{wi} é a magnitude de vibração (aceleração *r.m.s.* 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(8h) 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 apontada na equação (7):

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

onde $a_{w,e}$ é a vibração total equivalente em m/s^2 dada pela equação (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 8 horas. O tempo de referência T_0 (8 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 neste 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 ocorrência de riscos à saúde, devendo ser tomadas providências imediatas para diminuir a exposição.

A norma inicialmente fornece duas equações para obter esses limites, que foram apresentadas como equações (4) e (5). Neste trabalho, em se tratando de uma análise da exposição para um período de exposição equivalente a 8 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 2.4 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) através da linha vermelha projetada no eixo das ordenadas a partir do ponto de intersecção entre a linha de tempo equivalente a 8 horas de exposição e a linha de VLE fornecida pela equação (4).

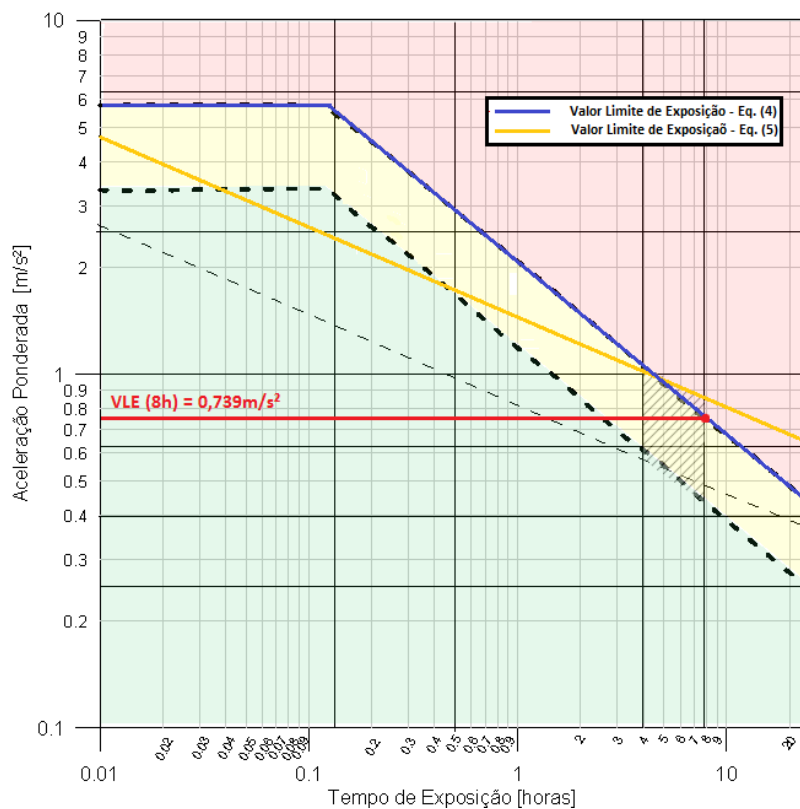


Figura 2.4: Gráfico indicando as zonas de segurança (verde), precaução (amarelo) e risco (vermelho) pela ISO 2631-1:1997. (Fonte: ISO 2631-1, 1997)

2.4 Materiais e métodos

2.4.1 Equipamento

Para a medição da aceleração ponderada (*r.m.s.*) 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 através 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 este 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 2.5 tem-se uma imagem do aparelho junto com o *seatpad* e em seguida, na figura 2.6, uma representação em corte do *seatpad*.



Figura 2.5: Kit de Medição de vibrações VI 400-PRO.

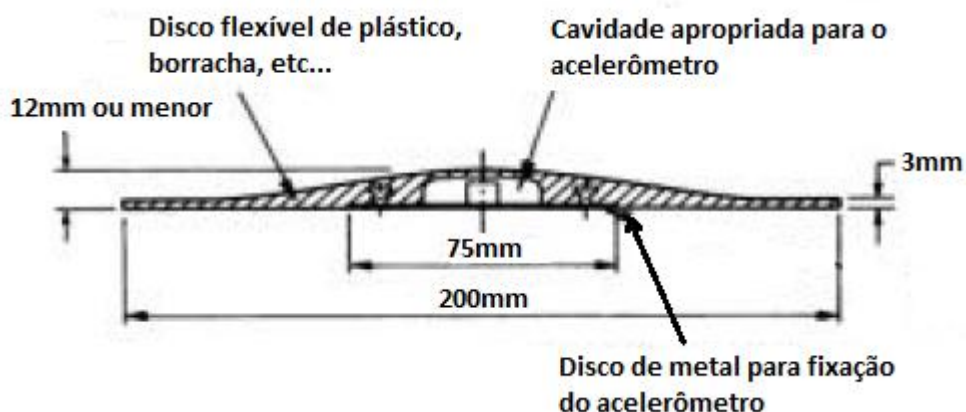


Figura 2.6: Representação em corte do *seatpad* padronizado para medições (Fonte: ISO 2631-1, 1997)

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 em se tratando de aceleração *r.m.s.* a representatividade da vibração avaliada em relação à exposição total àquelas condições/regimes.

2.4.2 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 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 2.7 apresenta-se os três modelos de plataforma utilizados nos experimentos, lembrando que todas estavam em condições normais de operação.



Figura 2.7: Modelos de plataformas utilizados nas medições

Tabela 2: Características das plataformas utilizadas nas medições

CARACTERÍSTICA	POWER PLATE MY5	MAXXI PLATE	V1000
CAPACIDADE	136Kg	120Kg	120Kg
FREQUÊNCIA	30Hz à 40Hz	10Hz à 35Hz	20Hz à 55Hz
AJUSTE DE FREQUENCIA	incremento de 1Hz	incremento de 1Hz	incremento de 5Hz
AJUSTE DO TEMPO	30s ou 60s	30s ou 60s	30s ou 60s
AJUSTE DA AMPLITUDE	alta ou baixa	não possui	não possui
DIMENSÕES DA PLATAFORMA	69cm x 59cm	65cm x 70cm	63cmx75cm
MASSA DO APARELHO	90Kg	67Kg	52Kg
ALIMENTAÇÃO DE FORÇA	90-290VAC, 50/60Hz	110-127VAC, 50/60Hz	110-127VAC, 50/60Hz
POTÊNCIA NOMINAL	350W	não fornecido	560W
TIPO DE VIBRAÇÃO	VIBRAÇÃO VERT.	OSCILATÓRIA	VIBRAÇÃO VERT.

2.4.3 Posições medidas

Nas plataformas em questão, o usuário entra em contato com as vibrações da plataforma através da base do aparelho, observa-se que na posição ereta o usuário recebe as vibrações da plataforma através dos pés, que formam o apoio principal. No segundo caso, a

peessoa estará sentada na base da plataforma, sem apoio nas costas e das mãos, podemos observar as posições de medição na figura 2.8.



Figura 2.8: Posições para medição das vibrações transmitidas pela plataforma

No estudo dos níveis de vibração nas plataformas vibratórias será dada ênfase para as vibrações de corpo inteiro, para as quais temos 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 seguimentos de investigação deste trabalho.

2.4.4 Regimes de operação avaliados

Para cada aparelho, as medições foram feitas nas frequências mais utilizadas em condições normais de treino, segundo seu manual e também 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 a seguir apresentam-se os valores de frequência e massa dos usuários que participaram das medições para cada modelo avaliado.

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

Freq.	POWER PLATE MY5		MAXXI PLATE		Merit Fitness V1000	
	PÉ	SENTADO	PÉ	SENTADO	PÉ	SENTADO
15Hz			87/70Kg			
25Hz			87/70Kg		87/48Kg	87/48Kg
35Hz	87/46Kg	87/46Kg	87/70Kg			87/48Kg
40Hz	87/46Kg	87/46Kg			87/48Kg	
55Hz					87/48Kg	

3 RESULTADOS E ANÁLISES

3.1 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 através de gráficos os resultados da avaliação das acelerações *r.m.s.* 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 instrumento VI 400-PRO, utilizado nas medições. Na figura 3.1 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.

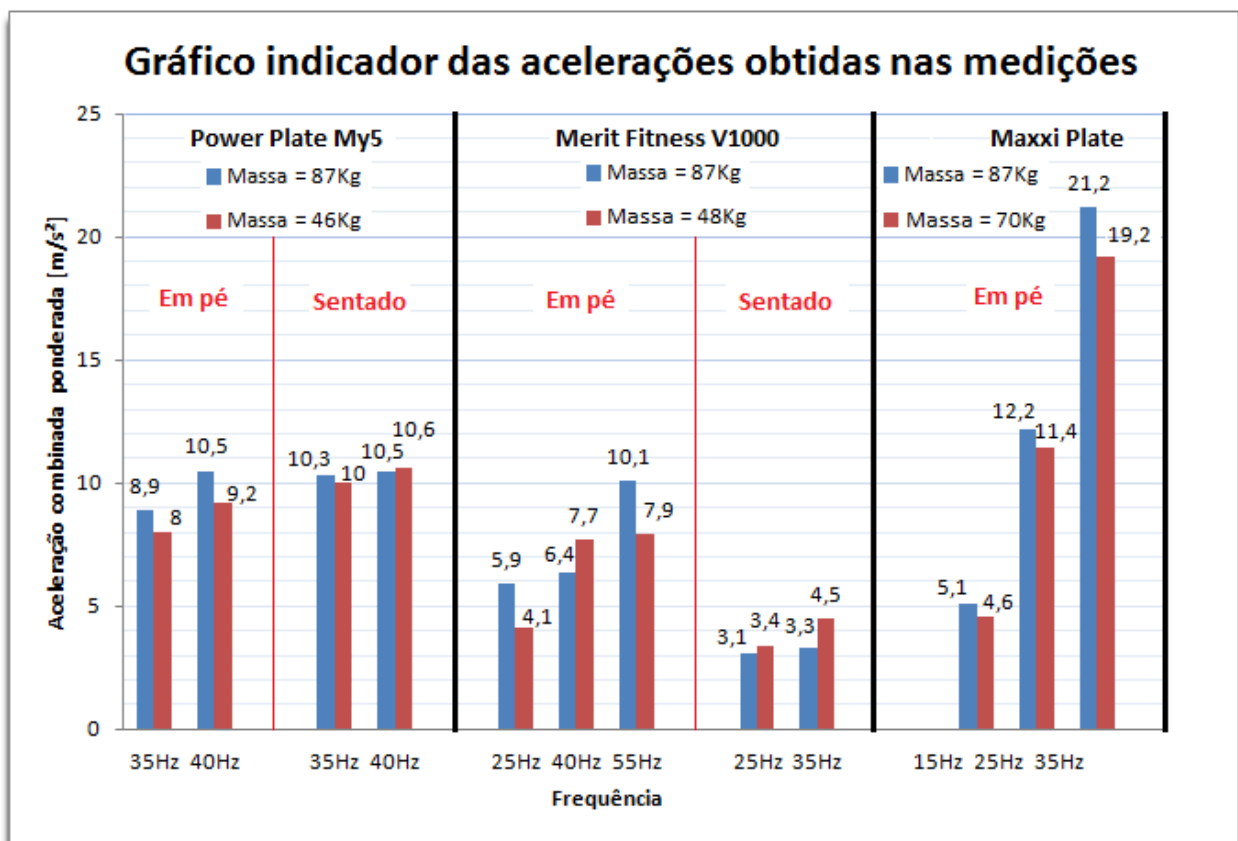


Figura 3.1: Gráfico de acelerações combinadas ponderadas medidas nas plataformas.

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 feito 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 2.4 e então aplica na equação (3) juntamente aos fatores multiplicadores (K_i) apresentados na tabela 1, obtendo a a_w , aceleração combinada ponderada. No eixo das abscissas temos 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.

3.1.1 Da variação da aceleração com a frequência

Através do gráfico da figura 3.1 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 87kg na posição sentada no aparelho Power Plate quando a frequência variou de 35 para 40Hz até a máxima variação registrada equivalente à 147,82% para a massa de 70Kg em pé no aparelho Maxxi Plate quando elevou-se a frequência de 15 para 25Hz. 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 1Hz 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 aqui 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.

3.1.2 Da variação da aceleração com a massa

De forma intuitiva acreditava-se que o aumento da carga sobre o aparelho resultasse em acelerações menores nos usuários, porém na grande maioria dos casos, não foi o que aconteceu. 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 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 possuem algum dispositivo que compensa o fato de haver mais massa para vibrar, elevando a intensidade de vibração, entretanto no que se pode perceber, em vários casos, este aumento mostrou-se maior que o necessário (o aparelho não manteve a aceleração constante com o aumento da massa (usuário) colocada a vibrar). Isto leva a crer 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 35Hz, 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.

3.2 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 20min 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.

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
35Hz	em pé	8min	25Hz	em pé	5min	15Hz	em pé	8min
40Hz	em pé	8min	40Hz	em pé	5min	25Hz	em pé	7min
35Hz	sentado	2min	55Hz	em pé	5min	35Hz	em pé	5min
40Hz	sentado	2min	25Hz	sentado	2,5min			
			35Hz	sentado	2,5min			
Tempo total/dia:		20min				20min		

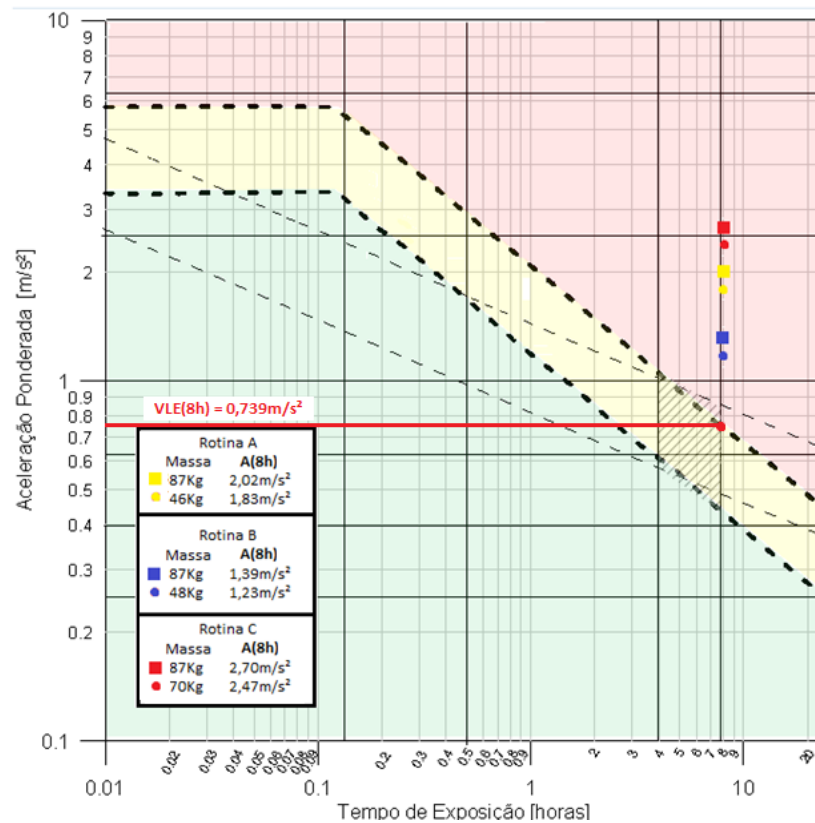


Figura 3.2: Gráfico apontando as acelerações A(8h) para cada rotina simulada.

Com os valores de aceleração para cada regime em mãos e considerando os tempos parciais apresentados na tabela 4 foi aplicada a metodologia apresentada na seção 2.3.2 e então calculadas as acelerações *r.m.s.* combinadas para cada rotina, representadas no gráfico da figura 3.2. A partir então da equação (7) foram obtidas as acelerações equivalentes para o tempo de 8 horas (A(8h)) a fim de compará-las com o valor limite de exposição para 8 horas diárias (VLE(8h)). Com base nos valores de aceleração apontados no gráfico da figura 3.2 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 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 igualar o tempo de exposição se manteve a tendência apresentada para cada 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 aceitáveis 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, que podem ser vistos nas tabelas dos apêndices A e B.

4 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 regulagem 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, como apresentado aqui, 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 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 um banco de dados através 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 de forma confiável tempos seguros para cada regime e rotina de exposição de acordo com as características de cada usuário.

Tendo 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 deve ter um controle mais eficaz por parte dos órgãos de saúde competentes e evidente a necessidade de uma homologação por parte do INMETRO referente à comercialização destes aparelhos, indicando 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.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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 & Kjaer, 2000. **“Le vibration del corpo humano”.** Folheto técnico

DELECLUSE, C., M. ROELANTS, AND S. VERSCHUEREN, 2003 **“Strength Increase after Whole-Body Vibration Compared with Resistance Training.”** Medicine & Science in Sports & Exercise. 1033-1041

ISO 2631-1:1997. **Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 1: General requirements.** International Organization for Standardization, 2009.

ISSUTIN, V.B. LIEBERMANN, G. TENENBAUM, 1999 **“Effect of stimulation training vibratory on maximal force and flexibility.”** J. Sports Cience 12: 561-566.

J. MESTER, 2006 **“ Vibration training: beneficits and risks”** Journal of Biomechanics

JORDAN, M.J., S.R. Norris, D.J. Smith, and W. Herzog **Vibration Training: An Overview of the Area, Training Consequences, and Future Considerations.** Journal of Strength and Conditioning Research. 19(20):459-466, 2005

QUEST-TECHNOLOGY. **Real-time vibration Analyzers, VI-400PRO, Preliminary owner’s manual.** 2005.

APÊNDICES

Apêndice A – Tabela apresentando os valores de exposição diária considerados seguros para cada rotina

ROTINA	MASSA	TEMPO PARA ATINGIR V.L.E.
A - Power Plate My5	87Kg	3,6min
A - Power Plate My5	46Kg	4,8min
B - Merit Fitness V1000	87Kg	7,8min
B - Merit Fitness V1000	48Kg	10,2min
C - Maxxi Plate	87Kg	2,4min
C - Maxxi Plate	70Kg	2,4min

Apêndice B – Tabela apresentando os valores de exposição diária considerados seguros para cada regime das medições

PLATAFORMA	MASSA	POSIÇÃO	FREQUÊNCIA	TEMPO PARA ATINGIR V.L.E.
Power Plate My5	87Kg	Em pé	35Hz	3min
Power Plate My5	87Kg	Em pé	40Hz	2,4min
Power Plate My5	87Kg	Sentado	35Hz	2,4min
Power Plate My5	87Kg	Sentado	40Hz	2,4min
Power Plate My5	46Kg	Em pé	35Hz	4,2min
Power Plate My5	46Kg	Em pé	40Hz	3min
Power Plate My5	46Kg	Sentado	35Hz	2,4min
Power Plate My5	46Kg	Sentado	40Hz	2,4min
Merit Fitness V1000	87Kg	Em pé	25Hz	7,2min
Merit Fitness V1000	87Kg	Em pé	40Hz	6,6min
Merit Fitness V1000	87Kg	Em pé	55Hz	2,4min
Merit Fitness V1000	87Kg	Sentado	25Hz	26,4min
Merit Fitness V1000	87Kg	Sentado	35Hz	24min
Merit Fitness V1000	48Kg	Em pé	25Hz	15min
Merit Fitness V1000	48Kg	Em pé	40Hz	4,2min
Merit Fitness V1000	48Kg	Em pé	55Hz	4,2min
Merit Fitness V1000	48Kg	Sentado	25Hz	22,2min
Merit Fitness V1000	48Kg	Sentado	35Hz	12,6min
Maxxi Plate	87Kg	Em pé	15Hz	10,2min
Maxxi Plate	87Kg	Em pé	25Hz	1,8min
Maxxi Plate	87Kg	Em pé	35Hz	0,6min
Maxxi Plate	70Kg	Em pé	15Hz	12min
Maxxi Plate	70Kg	Em pé	25Hz	1,8min
Maxxi Plate	70Kg	Em pé	35Hz	0,6min

ANEXOS

ANEXO A – Posicionamento do *seatpad* para medição das acelerações nas plataformas para posição em pé e sentado, respectivamente.

