

Dose de vibração, uma abordagem diferente sobre o tema

Sousa, V. C.¹ ; Teixeira, J. A. M. S.² 

¹ Engenharia de Segurança do Trabalho, Faculdade Unyleya, Rio de Janeiro, RJ, valdineyeng2015@gmail.com

² Engenharia Mecânica, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, j.alexandre@unescc.net

Resumo

O estudo de vibrações remonta à antiguidade, analisando-se à época especialmente fenômenos ligados à música. Contudo, apenas nas últimas décadas que órgãos nacionais e internacionais ligados à saúde e segurança têm se preocupado com os danos decorrentes dessas oscilações mecânicas. Nos ambientes ocupacionais, a exposição à vibração normalmente é transferida para o corpo todo. Atualmente no mundo são 58 países que estabelecem limites para vibração de corpo inteiro, e a maioria deles adota metodologias previstas na *Parte um* da norma internacional ISO 2631-1:1997, isto é, o método básico de segunda potência (r.m.s. ou *root-mean square*). Todavia, apenas 12% dos países analisados adotam de forma complementar o VDV (Valor de Dose de Vibração), que utiliza a aceleração na quarta potência, sendo assim muito mais sensível à existência de picos de amplitude, e estes tendem a ser um dos causadores de desconforto no ser humano. Quanto mais tempo uma pessoa estiver exposta à vibração, menor será a intensidade da vibração para preservar o critério limite. Para avaliação de ruído, uma dose adimensional é extraída da relação entre o tempo limite e o tempo de exposição, e essa dose é utilizada para medir o risco de exposição. Utilizado esse mesmo raciocínio, uma dose adimensional para vibração de corpo inteiro foi definida neste artigo e aplicada em exemplos conhecidos em guias técnicos. Os resultados demonstram que a nova abordagem de dose de vibração é mais simples, de fácil interpretação pelos profissionais de higiene e segurança do trabalho, assim como por trabalhadores e empregadores. Além disso, essa métrica poderia ser utilizada em medidores de vibração, assim como é feita nos dosímetros de ruído.

Palavras-chave: vibração de corpo inteiro, valor de dose de vibração, saúde ocupacional.

PACS: 43.40.Yq, 46.40.-f, 43.40.Ng.

Vibration dose, a different approach to the subject

Abstract

The study of vibrations dates back to antiquity, analyzing at that time phenomena related to music, especially. However, only in recent decades have national and international bodies linked to health and safety been concerned about the damage resulting from these mechanical oscillations. In work environments, vibration exposure is typically transferred to the whole body. There are currently 58 countries that set limits for whole body vibration, and most of them adopt measurement methodologies described in *Part one* of the international standard ISO 2631-1:1997, and of these, the basic second power method (r.m.s., or root-mean square) is preferred worldwide. However, only 12% of analyzed countries adopt, albeit complementarily, the VDV (Vibration Dose Value), which uses acceleration to the fourth power, thus being much more sensitive to amplitude peaks, which tend to be a primary cause of discomfort. The longer a person is exposed to vibration, the lower the vibration intensity must be in order to preserve threshold criterion. For noise assessment, a dimensionless dose is calculated from the relationship between cut-off time and exposure time, and this dose is used to measure the risk of exposure. Using this same reasoning, a dimensionless dose for whole-body vibration was defined in this article and applied to known examples from technical guides. The results show that the new vibration dose approach is simpler and easier to interpret by occupational health and safety professionals, as well as by workers and employers. In addition, this metric, which is already used in noise dosimeters, could also be used in vibration meters.

Keywords: whole body vibration, vibration dose value, occupational health.

1. INTRODUÇÃO

O uso dos conceitos de vibrações remontam aos primeiros instrumentos musicais, em aproximadamente 4000 a.C.. Contudo, as primeiras investigações científicas foram feitas por Pitágoras, no séc. VI a.C.. Ainda na Grécia antiga, a maioria dos estudos focavam especialmente em fenômenos relacionados à música, com Aristóteles, Aristóxenes e Euclides. A exceção foi a publicação do romano Vitruvius, em 20 a.C., tratando da acústica de teatros. Mais nenhuma contribuição relevante na área foi registrada até o séc. XVII, com o estudo de pêndulos de Galileu Galilei [1].

caracterizada por oscilações em torno de um ponto de referência, e a sua propagação ocorre através de uma estrutura mecânica, que pode ser uma máquina, ferramenta ou mesmo uma pessoa [2]. Nos ambientes ocupacionais, os estudos costumam focar nas vibrações transmitidas para o corpo inteiro [3–6], ou apenas para alguma parte específica, como o sistema mãos e braços [3].

Cada vez mais tem aumentado a preocupação dos órgãos nacionais e internacionais ligados à saúde e segurança acerca dos danos causado ao corpo humano decorrente das vibrações, reconhecendo-as como um fator de risco nos ambientes de trabalho. Atualmente, no mundo, 58 países adotam limites legais de exposição ocupacional para vibração de corpo. A *International Organization for Standardization* (ISO), por meio da sua norma 2631-1:1985, definiu importantes limites: o “limite de conforto reduzido”, o “limite de proficiência diminuído por fadiga” (PDPF) e o “limite de exposição”, sendo que este corresponde ao dobro do PDPF [5]. A *British Standard* (BS) 6841, de 1987, também se refere a um “nível de ação” para vibração de corpo inteiro [7].

O padrão ISO é adotado por quase a totalidade dos países que determinam limites para vibração. Ao longo dos anos, esse padrão passou por diversas revisões, sendo que, em uma delas, foram retirados os limites de exposição da parte normativa, passando a conter, em um anexo in-

formativo, um guia de efeitos à saúde para orientação ao usuário. Tal guia foi construído baseado em estudos que, em sua maioria, avaliaram a resposta humana à vibração na direção z (vertical) e uma experiência nas direções x (frontal) e y (lateral), ambas para pessoas sentadas [6]. A BS, por sua vez, não sofreu alterações e é válida até os dias atuais.

Segundo uma revisão literária sobre o tema, realizada pelo órgão britânico *Health and Safety Executive* (HSE) [8], os preparativos do padrão ISO começaram em 1966, tendo a primeira versão da norma internacional 2631 “*Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration*” publicada em 1974 (ISO 2631, 1974) e republicada em 1978 (ISO 2631, 1978), com alterações editoriais que incluíram erros em tabelas e figuras. Na versão de 1982, uma série de emendas foi publicada e, em 1985, foi realizada uma condensação do conteúdo das versões de 1978 e 1982 e republicada sob o título “*Assessment of human exposure to whole body vibration - Part 1: general requirements*” [9].

As Partes 1 e 3, da versão de 1985, permaneceram vigentes até meados de 1997, quando uma nova atualização foi publicada sob o título de “*Mechanical vibration and shock-Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements*”, substituindo a versão de 1985. Em 2010, a Emenda 1 trouxe algumas correções no texto anterior, bem como a inserção de notas, itens gráficos e o uso da exposição à vibração, equivalente para um período de oito horas.

Mediante a diversidade de limites de exposição ocupacional adotadas mundialmente para vibração de corpo inteiro, este trabalho tem como objetivo apresentar uma abordagem diferente sobre o tema, propondo uma versão de dose de vibração aplicável a qualquer limite adotado.

2. METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica referente às normas técnicas e legislações sobre o tema, de 190 países, a fim de identificar os métodos de avaliação e limites adota-

dos, e foi realizado um estudo comparativo destes limites, com as zonas de orientação da Figura B.1 do Anexo B da ISO 2631-1:1997/Amd.1:2010(E) [10].

Para a nova abordagem (deste artigo) de dose de vibração, foram utilizadas as dependências de tempo da segunda e quarta potência, utilizadas no padrão ISO e legitimadas na maioria dos países, adotando, portanto, regras equivalentes à composição de dose utilizada para ruído. Para verificar a coerência dos resultados, o método de dose proposto foi aplicado nos exemplos contidos no “EU Good Practice Guide WBV” [11].

3. MÉTRICAS ADOTADAS PARA AVALIAÇÃO DE VIBRAÇÃO

Embora existam boas razões para quantificar a gravidade da magnitude das vibrações em termos de velocidade, os padrões e instrumentos utilizados atualmente preferem verificar a severidade da exposição humana em termos de aceleração, que no S.I. utiliza a unidade de m/s^2 [3].

A aceleração eficaz ponderada, ou *root-mean square* (r.m.s.) [12], é utilizada mundialmente para avaliar o risco da exposição à vibração de corpo inteiro, sendo essa métrica descrita pelo padrão ISO 2631-1 (1997+Adm. 2010) como um método básico [6]. Os valores de aceleração eficaz média em uma determinada direção, denotados por a_w , são obtidos para cada eixo ortogonal e calculados por:

$$a_w = \left[\int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad [m \cdot s^{-2}] , \quad (1)$$

ou seja, a_w é a raiz da média quadrática, expressa em m/s^2 , dos diversos valores da aceleração instantânea $a_w(t)$, ocorridos durante um período de medição T (em segundos) na direção escolhida, que corresponde a um dos eixos ortogonais x , y ou z [6].

Na versão do padrão de 1985, o a_w é obtido para cada frequência de 1 a 80 Hz e comparado com limites de tempo definidos por linhas retas em um gráfico log-log de aceleração *versus*

frequência [5, 13]. Além disso, a norma orienta que, caso dois ou mais eixos apresentem valores próximos, a aceleração média resultante (a_v) pode ser usada de forma adicional para estimar o risco à saúde, sendo ela a soma quadrática das acelerações a_w de cada um dos eixos similares:

$$a_v = \left((k_x a_{wx})^2 + (k_y a_{wy})^2 + (k_z a_{wz})^2 \right)^{\frac{1}{2}} , \quad (2)$$

expressa em m/s^2 , na qual os fatores ponderadores são $k_x = k_y = 1,4$ e $k_z = 1$.

Em 2010 a norma passou a recomendar o uso de um valor normalizado para uma jornada padrão de oito horas. Essa métrica, já praticada por países europeus desde 2002, foi inicialmente definida na Diretiva 2002/44/CE [14], cujo valor é obtido por:

$$A_I(8) = k_I \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_i a_{wi}^2 T_i} \quad [m \cdot s^{-2}] , \quad (3)$$

em m/s^2 . Nesse caso, $A_I(8)$ é a aceleração normalizada na direção I (que equivale a x , y ou z), calculada para um tempo padrão exposição de referência T_0 , que corresponde a 28800 s, ou 8 h. A soma na equação significa que podem ser somados vários períodos de tempo T_i equivalentes, sendo que em cada um deles tem-se uma aceleração média ponderada por frequência $a_w I_i$ no I -ésimo eixo. Os fatores k_x , k_y e k_z são os mesmos utilizados na Equação (2).

A métrica $A_I(8)$ permite avaliar a exposição em qualquer período de tempo e comparar o valor normalizado com um único valor limite para um dia típico de trabalho. Ainda há a opção de utilizar as acelerações por bandas de 1/3 de oitava, havendo tabelas de pesos a serem dados para cada uma das bandas baseados em estudos de percepção humana. A norma também remete ao uso de outro método, o valor máximo de vibração transiente (MTVV), para avaliar a exposição às vibrações caracterizadas pela maior impulsividade no sinal, ou seja, que contêm choques ocasionais ou intermitentes. Sinais com essas características não são bem avaliados pelo método básico devido às suas limitações, portanto a norma recomenda a aplicação de metodologias adicionais.

Outro método mencionado que é mais sensível a picos de vibrações é o valor de dose de vibração (VDV), que será melhor abordado na Seção 3.1. Independentemente da medida empregada para descrever a amplitude da vibração, a frequência é expressa em oscilações por segundo (Hz) [12]. O corpo humano, assim como qualquer objeto submetido a oscilações próximas à frequência natural, sofre ressonâncias, nas quais a amplitude da vibração é aumentada [12, 15].

A norma ISO 2631-1 (1997) [6] também fornece curvas de ponderação de frequência para uso na avaliação da vibração de corpo inteiro, e o valor de ponderação depende da aplicação (saúde, conforto, percepção ou enjoo de movimento), do eixo de vibração, da postura (sentado, em pé ou deitado) e do ponto de medição. Para a aplicação à saúde, são indicadas como W_k para a direção z e W_d para as direções x e y , as curvas estão mostradas na Figura 1.

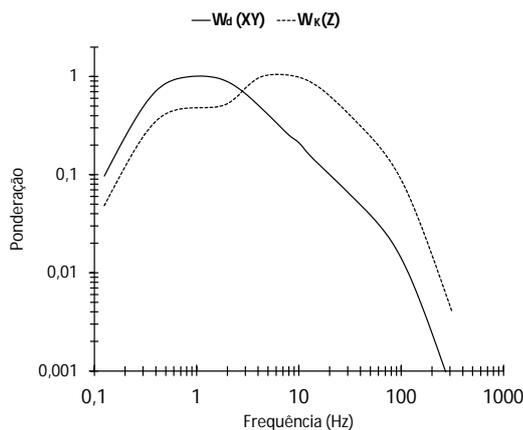


Figura 1: Ponderações de frequência aplicadas à saúde fornecidas pela ISO 2631-1 (1997) para medição de vibração de corpo inteiro em um assento [6].

3.1 Aceleração na quarta potência

O uso da quarta potência para avaliação da vibração foi proposto e discutido por Griffin e Whitham (1980), e validado por meio de quatro experimentos aplicados nas frequências de 4, 8, 16 e 32 Hz [16]. Os resultados indicaram uma maior sensibilidade aos picos, sendo que o r.m.q.¹ indica que os movimentos de mesma

¹O termo r.m.q. significa *root mean quad*, para mais detalhes os trabalhos originais devem ser consultados [16, 17].

frequência e mesmo nível r.m.s. causam maior desconforto com o aumento dos níveis de pico [16, 17]. O valor do método r.m.q., assim como o r.m.s., é um valor médio destinado à comparação de movimentos que contêm altos valores de pico com um valor limite de tempo fixo, ou seja, para cada fração de tempo, um limite de r.m.q. é definido [3]. Os valores de aceleração r.m.q. para cada eixo são calculados por:

$$\text{r.m.q.} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^4(t) dt \right]^{\frac{1}{4}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (4)$$

3.1.1 Valor de Dose de Vibração — VDV

A primeira versão da dose de vibração foi idealizada e apresentada por Griffin (1982) na reunião do “Grupo Informal do Reino Unido sobre Resposta Humana à Vibração”, realizado pela *Health and Safety Executive* (HSE) em Criclewood, Londres, em setembro de 1982. Naquela ocasião, chamava-se HDV (*Hazard Dose Value*), que é uma medida cumulativa de vibração utilizando a dependência na quarta potência, e era definida por [18]:

$$\text{HDV} = \frac{1}{60} \int_{t=0}^{t=T} a(t) dt \quad [\text{m}^4 \cdot \text{s}^{-7}] \quad (5)$$

Uma versão revisada do método de dose de vibração foi apresentada por Griffin, ao mesmo grupo, na reunião ocorrida na Universidade Heriot-Watt, em Edimburgo, em setembro de 1984, dois anos após a primeira versão ser discutida [18]. Com a atualização do método, o então HDV se tornou o VDV (valor de dose de vibração), calculado por:

$$\text{VDV} = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1,75}] \quad (6)$$

O VDV é oferecido como um método robusto de avaliar a gravidade de todos os movimentos (determinísticos ou aleatórios, estacionários ou não estacionários, transitórios ou choques) que estão acima do limiar de percepção e se enquadram na faixa de frequência do método de análise [3].

Além disso, o VDV é um valor acumulado e é alcançado matematicamente somando (ou seja, integrando) a quarta potência da aceleração ponderada em frequência [3]. Quando a exposição à vibração consiste em dois ou mais períodos i , de diferentes magnitudes, o valor da dose de vibração para a exposição total deve ser calculado a partir da quarta raiz da soma da quarta potência dos valores individuais da dose de vibração, conforme:

$$VDV_{total} = \left(\sum_i VDV_i^4 \right)^{\frac{1}{4}} \left[m \cdot s^{-1,75} \right]. \quad (7)$$

3.2 Mensuração de vibração

Os valores de aceleração utilizados para os cálculos de a_w e VDV são obtidos utilizando-se um transdutor/acelerômetro montado sobre o assento do banco do operador [2–5, 7, 14, 19]. O acelerômetro deve ser montado no centro de um disco semirrígido de borracha ou plástico, com diâmetro aproximado de $250 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}$ e fixados a um disco fino de metal, com espessura de $1,5 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ e diâmetro de $75 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ [19]. Esse disco deve ser instalado no assento ou no encosto do banco do operador, conforme apresentado na Figura 2, e deve estar localizado no meio do caminho entre as tuberosidades isquiáticas do ocupante do assento [19], demonstrado na Figura 3.

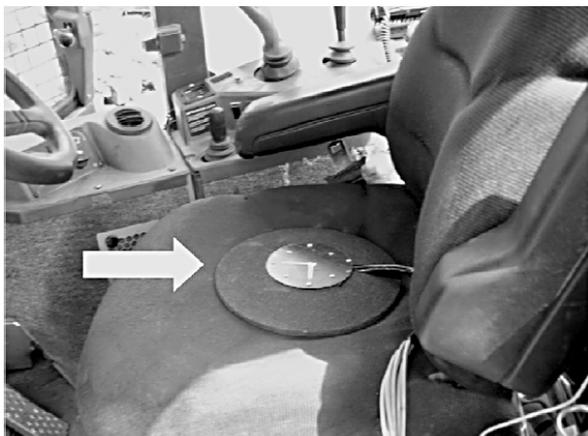


Figura 2: Acelerômetro montado sob o assento do operador (retirado de Cation [15]).

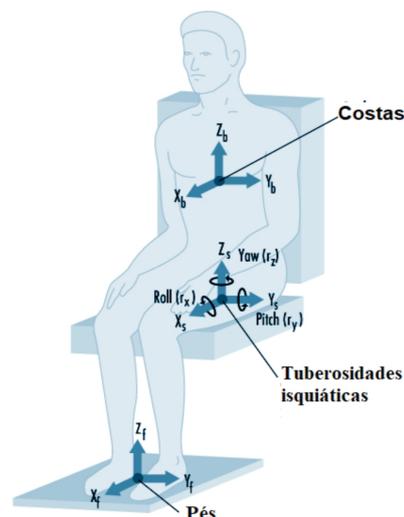


Figura 3: Localização do acelerômetro (adaptado de Griffin [20]).

3.3 Dependência de tempo

A dependência de tempo é definida como a relação entre a magnitude e duração de vibração [7]. Quanto mais tempo uma pessoa estiver exposta à vibração, menor será a intensidade da vibração para preservar o critério limite [21]. Assim, o tempo máximo permissível de exposição à um determinado nível de vibração cai pela metade ou dobra seu valor quando um aumento ou decaimento de 3 ou 1,5 dB no valor de referência ocorrer, dependendo do método utilizado [3, 21]. A taxa de 3 dB é utilizada para método r.m.s., com esse mesmo valor sendo definido para o ruído, enquanto que o método r.m.q., que é mais sensível, utiliza metade deste valor. As dependências de tempo adotadas nos dois métodos são apresentadas na Figura 4 de forma comparativa.

A diferença entre as dependências de tempo para os dois métodos é significativa. Por exemplo: para um aumento de 4 vezes do valor de referência, tem-se um tempo limite 16 vezes menor para r.m.q. em comparação ao tempo limite para r.m.s.. Essa diferença justifica a maior sensibilidade a picos para a quarta potência [3]. O tempo máximo permitido (T_1) para cada nível de vibração, tanto r.m.s. quanto r.m.q., é calculado por [22]:

$$T_1 = \left(\frac{a_{w2}}{a_{w1}} \right)^e \cdot T_2, \quad (8)$$

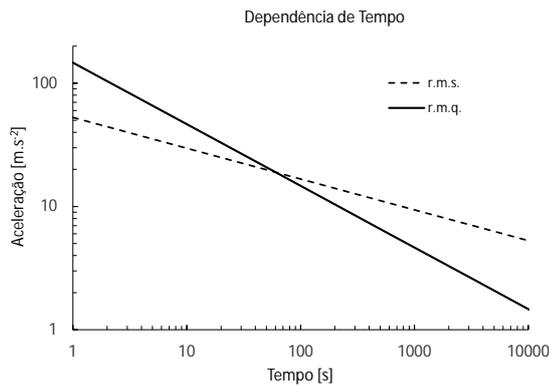


Figura 4: Comparação de dependência de tempo entre r.m.s. e r.m.q. Os valores de referência de vibração e tempo são os mesmos em 10 min (adaptado de Griffin [3]).

em que a_{w2} é o valor de vibração limite, a_{w1} é o valor de magnitude medido, e vale 2 para r.m.s. e 4 para r.m.q., e T_2 é o tempo máximo permitido para a_{w2} . Quando se utiliza o VDV, o tempo máximo permitido é calculado por:

$$T_{VDV} = T_{mens} \left(\frac{VDV_2}{VDV_1} \right)^4, \quad (9)$$

na qual T_{VDV} é o tempo máximo permitido, T_{mens} é o tempo da amostra, VDV_2 é o valor de dose limite² e VDV_1 é o valor de dose da exposição.

3.4 Limites de exposição ocupacional

O limite de exposição ocupacional (LEO) é definido como a concentração, ou intensidade permitida, de um agente perigoso no ambiente de trabalho, que se relaciona diretamente com o tempo de exposição [13]. A vibração de todo o corpo constitui um fator de risco nos ambientes laborais, mas não existe uma dose segura convencional [15, 23–30]. A partir de 1997 foi inserido o Anexo B na ISO 2631-1, que contém um guia de orientação para efeitos à saúde [6]. O guia apresentado no anexo do padrão ISO mencionado consiste em um gráfico log-log de aceleração *versus* tempo que apresenta três zonas de orientação, que são de efeitos à saúde não presumido (1), de cautela (2) e provável (3), que podem ser observadas na Figura 5. Os valores que constituem os limites superiores e inferiores

²O VDV_2 é um limite que depende do órgão legislador do país que queira adotar essa métrica [18].

da zona de cautela estão descritos na Tabela 1, que mostra também os valores de eVDV, que, segundo o Anexo C da própria norma ISO 2631-1 (1997) [6] (que trata de conforto e percepção), é a dose de vibração recebida após um dia de exposição.

Tabela 1: Valores da zona de cautela [13].

Tempo limite	r.m.s. [$m \cdot s^{-2}$]		eVDV [$m \cdot s^{-1,75}$]	
	Superior	Inferior	Superior	Inferior
10 min	6,000	3,000	17	8,5
1h	2,449	1,225	17	8,5
2h	1,732	0,866	17	8,5
4h	1,225	0,612	17	8,5
8h	0,866	0,433	17	8,5
16h	0,612	0,306	17	8,5
24h	0,500	0,250	17	8,5

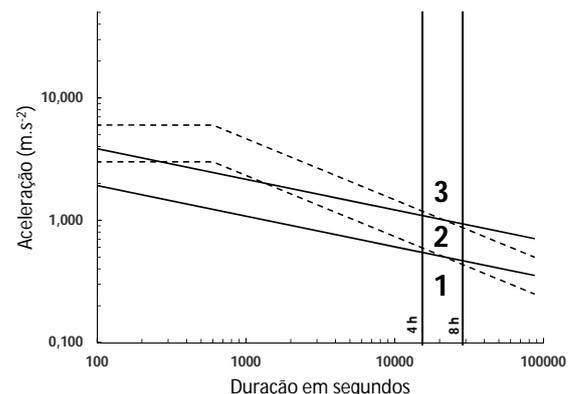


Figura 5: Zonas de precaução de orientação de saúde, efeitos à saúde não presumido (1), de cautela (2) e provável (3) (adaptado da ISO 2631 (1997) [6]).

Em relação à legislação analisada de 190 países no mundo, 58 adotam limites legais para vibração de corpo inteiro e, dentre estes, 88% (51) adotam apenas o método r.m.s. para avaliar a vibração de corpo inteiro, como pode-se ver na Tabela 2, que apresenta os valores limites e o respectivo padrão metodológico adotados em cada país [10].

Apesar do uso do VDV ser adequado e recomendado pelo padrão ISO para avaliar vibrações complexas, com sinais contendo choques e solavancos de alta amplitude de forma ocasional ou intermitentes [12, 31, 32], apenas 12% (7) dos países adotam também o valor de dose de vibra-

Tabela 2: Limites de exposição ocupacional no mundo — Parte 1/2 [10].

País	Aceleração (a_w)	Valor de Dose de Vibração (VDV)	Padrão adotado
Albânia	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Alemanha	0,8 m/s ² (Z) 1,15 m/s ² (X e Y)	Não adota	ISO 2631-1:1997
Argentina	Por bandas de 1/3 de oitava	Não adota	ISO 2631-1:1985
Austrália	1,15 m/s ²	Não adota	AS2670 - 2001*
Áustria	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Bélgica	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Bielorrússia	Por bandas de 1/3 de oitava	Não adota	Não informado
Brasil	1,1 m/s ²	21 m/s ^{1,75}	NHO 09
Bulgária	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Canadá	0,866 m/s ²	17 m/s ^{1,75}	ACGIH*
Chile	0,63 m/s ² (Z) 0,45 m/s ² (X e Y)	Não adota	Não informado
China	Por bandas de 1/3 de oitava	Não adota	Não informado
Chipre	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Croácia	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Dinamarca	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
El Salvador	0,63 m/s ² (Z) 0,45 m/s ² (X e Y)	Não adota	Não informado
Eslováquia	1,15 m/s ²	Não adota	STN ISO 2631-1: 1999*
Eslovênia	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Espanha	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Estônia	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:2002 EVS-EN 14253:2004
Finlândia	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
França	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Grécia	1,15 m/s ²	21 m/s ^{1,75}	ISO 2631-1:1997
Hungria	1,15 m/s ²	Não adota	MSZ ISO 2631-1:2002*
Índia	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Indonésia	0,8661 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Irlanda	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Islândia	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Itália	1 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Japão	0,35 m/s ²	Não adota	JIS B 7760-2:2004*
Kosovo	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Letônia	1,15 m/s ²	21 m/s ^{1,75}	LVS ISO 2631-1: 2003*
Liechtenstein	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Lituânia	Por bandas de 1/3 de oitava	Não adota	LST ISO 2631-1: 2004*
Luxemburgo	1,15 m/s ²	21 m/s ^{1,75}	ISO 2631-1:1997
Macedônia	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Malásia	Por bandas de 1/3 de oitava	Não adota	ISO 2631-1:1985
Malta	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
México	Por bandas de 1/3 de oitava	Não adota	ISO 2631-1:1985
Moldávia	1,15 m/s ²	21 m/s ^{1,75}	ISO 2631-1:1997
Noruega	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Nova Zelândia	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Países Baixos	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Panamá	Por bandas de 1/3 de oitava	Não adota	ISO 2631-1:1985
Peru	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Polônia	0,5 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997

Tabela 2: Limites de exposição ocupacional no mundo — Parte 2/2 [10].

País	Aceleração (a_w)	Valor de Dose de Vibração (VDV)	Padrão adotado
Portugal	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Reino Unido	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
República Tcheca	0,1 m/s ² (Z) 0,5 m/s ² (X e Y)	Não adota	Não informado
Romênia	1,15 m/s ²	21 m/s ^{1,75}	SR ISO 2631-1:2000*
Rússia	Por bandas de 1/3 de oitava	Não adota	Não informado
Sérvia	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Suécia	1,1 m/s ²	Não adota	SS-ISO 2631-1:1998
Suíça	0,8 m/s ² (Z)	Não adota	ISO 2631-1:1997
Turquia	1,15 m/s ²	Não adota	ISO 2631-1:1997
Ucrânia	Por bandas de 1/3 de oitava	Não adota	Não informado
Venezuela	Por bandas de 1/3 de oitava	Não adota	ISO 2631-1:1974
Vietnã	Por bandas de 1/3 de oitava	Não adota	Não informado

* Padrão idêntico à ISO 2631-1997

ção (VDV), de forma complementar ao método básico, conforme preconiza o padrão ISO. Com relação ao valor adotado, pode se verificar que 67,2% dos limites adotados nos países superam a zona de cautela do guia contido no Anexo B do padrão ISO de 1997, para os que adotam essa versão.

3.5 Dose de exposição diária

A dose de exposição diária adimensional a um dado risco, seja ele químico, físico ou biológico, é utilizada amplamente por órgãos técnicos de higiene ocupacional e está inserida praticamente em todas as legislações que adotam limites de exposição ocupacional. Esse tipo de método é uma forma simples e rápida de comparar o risco de exposição em um dia de trabalho e, além disso, é de fácil entendimento por empregadores e trabalhadores.

3.5.1 Dose de químicos

São considerados agentes químicos os gases, vapores, névoas, neblinas, fumos e poeiras, presentes no ar em ambientes laborais. Atualmente, são determinados limites de exposição ocupacional para mais de 700 substâncias e, quando uma ou mais delas causarem efeitos toxicológicos similares sobre um mesmo sistema ou órgão, um valor de dose é aplicado [13, 33, 34]. Considerando-se a presença de n substâncias,

essa dose química (DQ) é calculada por:

$$DQ = \frac{C_1}{T_2} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \quad , \quad (10)$$

em que C é a concentração presente e T o limite de cada substância.

3.5.2 Dose de ruído

Uma dose de ruído é utilizada por todos os países que adotam limites legais para esse distúrbio. Essa dose é prevista na norma IEC 61672-1, que define que o nível de exposição ao ruído (NR), sendo calculado pela equação [35]:

$$NR = L_{Aeq} + 10 \cdot \log \left(\frac{C}{T} \right) \quad [\text{dB}] \quad , \quad (11)$$

na qual L_{Aeq} é o nível de referência ruído para um tempo máximo permitido T , e C é o tempo de exposição medido ou estimado. A razão entre os tempos de exposição e máximo permitido constitui uma dose adimensional, nesse caso chamada dose de ruído (DR). Então, se um ou mais períodos de exposição são observados, é conveniente aplicar [13, 36]:

$$DR = \left(\frac{C_1}{T_2} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \right) [\%] \quad , \quad (12)$$

na qual considera-se C o tempo de exposição e T o tempo limite estabelecido a um dado nível de ruído.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando todo o contexto já mencionado relativo à avaliação de vibrações, verificou-se que as métricas existentes são de difícil aplicação, sendo assim pouco adotadas para fins de regulamentações, e não refletem com exatidão os efeitos provocados pelas vibrações de corpo inteiro, ao contrário do que ocorre com químicos e ruído.

Assim, neste artigo tem-se a proposta de utilizar um cálculo equivalente ao que é feito com os outros tipos de exposição, chegando-se então à **Dose de vibração**, que será apresentada nesta seção e, em seguida, será aplicada em alguns exemplos.

4.1 Dose de vibração

Atualmente, para a exposição humana a vibrações complexas, em termos de dose é utilizado o VDV, que tem uma função equivalente às doses de ruído e químico. A dose de vibração demonstra o risco comparando o valor acumulado com um único valor de referência e, quando o valor for ultrapassado para qualquer que seja o tempo de exposição, o risco é caracterizado. A dose de vibração não é adimensional, já que sua unidade é dada em $m \cdot s^{-1,75}$ quando calculada na quarta potência, ou em $m \cdot s^{-1,5}$ quando calculada na segunda potência, podendo também a unidade temporal ser denotada por hora ou até anos [6, 7, 37].

Apesar disso, a vibração tem características análogas ao ruído, inclusive podendo ser determinada em decibéis. A vibração na segunda potência (r.m.s.) tem mesma dependência de tempo de 3 dB que o ruído, como definido na Seção 3.3 deste artigo. Apesar da similaridade, a dose adimensional do ruído representa melhor o nível de risco. Por exemplo, um valor de 88 dB(A) em termos de dose equivale a 200%, ou seja, uma exposição dessa magnitude está o dobro do recomendado. Contudo, para a vibração já não se consegue essa percepção. Por exemplo, uma exposição a $25 m \cdot s^{-1,75}$ equivale ao dobro do recomendado, no entanto a métrica adotada não aparenta esse nível de risco. Além disso, a

métrica utilizada atualmente não permite também uma boa percepção de similaridade entre os eixos, visto que o padrão recomenda um valor total de vibração complementar quando os eixos forem compatíveis.

Por exemplo um valor de aceleração de $0,75 m/s^2$ de um dado eixo representa linearmente mais de 60% de outro com valor de $1,15 m/s^2$, e esses dois eixos são considerados similares pela legislação do Chile, por exemplo, que adota essa lógica. No entanto, o valor representa menos de 45% quando considera-se a dependência de tempo.

Com base nas características da vibração e na dependência de tempo definida na Seção 3.3, este trabalho propõe-se a idealizar uma dose de vibração (DV) equivalente à de ruído, sendo esta calculada, para cada i -ésima direção, por:

$$DV_i(\%) = \left[\frac{(C_1)_i}{(T_1)_i} + \frac{(C_2)_i}{(T_2)_i} + \dots + \frac{(C_n)_i}{(T_n)_i} \right], \quad (13)$$

em que $(C_n)_i$ é o tempo total de exposição ao nível de vibração e $(T_n)_i$ é o tempo máximo diário permitido ao nível de vibração, com ambos sendo definidos para a direção i , que pode ser a direção axial x , y ou z . Quando os eixos forem similares entre si, uma soma simples entre o valor de cada eixo, pode ser aplicada:

$$DV_{\text{total}}(\%) = [DV_x + DV_y + DV_z]. \quad (14)$$

O valor total de dose obtido equivale à soma quadrática dos valores r.m.s. previstos no padrão ISO. Para conversão do valor de dose em aceleração normalizada r.m.s., conforme definido no padrão ISO, idealiza-se o seguinte cálculo:

$$A_I(8)_{\text{rms}} = LEO \cdot K_j \sqrt{\frac{DV_i(\%)}{T_0}} [m \cdot s^{-2}], \quad (15)$$

no qual $A_I(8)_{\text{rms}}$ é a exposição diária à vibração na direção $I = x, y$ ou z , T_0 é a jornada padrão em horas, minutos ou segundos, K_j é o fator de conversão de tempo: $K_1 = 0,283$ (horas), $K_2 = 2,19$ (minutos) e $K_3 = 16,97$ (segundos), e LEO é o limite de exposição ocupacional. Para converter o valor de dose para métrica VDV, que é

utilizada para avaliar vibrações complexas com incidências de picos no sinal, propõe-se um cálculo de conversão de dose com dependência de tempo r.m.q. para:

$$VDV_I = LEO \cdot K_j \left(\frac{DV_i(\%)}{T_0} \right)^{\frac{1}{4}} \left[m \cdot s^{-1,75} \right], \quad (16)$$

em que VDV_I é a exposição diária à vibração na direção $I = x, y$ ou z , e K_j é o fator de conversão de tempo: $K_1 = 0,532$ (horas), $K_2 = 1,48$ (minutos) e $K_3 = 4,12$ (segundos).

Os valores de K_1 , K_2 e K_3 nas Equações (15) e (16) foram calculadas fazendo-se substituições com as Equações (1), (3) e (8).

4.2 Aplicação

Com intuito de auxiliar empregadores na implementação da Diretiva 2002/44 / CE [14], o ISVR (*Institute of Sound and Vibration Research*) da Universidade de Southampton, juntamente com o HSL (*Health and Safety Laboratory*) e o HSE (*Health and Safety Executive*), todos do Reino Unido, e o INRS (*Institut National de Recherche et de Sécurité*), da França, produziram um guia, definido como “*EU Good Practice Guide WBV*”. O guia foi produzido para facilitar a avaliação dos riscos da exposição à vibração de todo o corpo, a identificação de controles para eliminar ou reduzir a exposição e a introdução de sistemas para prevenir o desenvolvimento e progressão de lesões [11]. No Anexo E do guia são apresentados 5 exemplos de exposição à vibração, sendo que os Exemplos 1 e 2 são destinados à aplicação do método $A(8)$ apresentado na Seção 3 deste artigo e os Exemplos 3 e 4 apresentam a aplicação do método VDV. Os quatro exemplos são apresentados aqui utilizando-se a dose sugerida na Seção 4.1, para demonstrar a coerência na aplicabilidade da proposta sugerida. Os resultados serão comparados com valores de dose mostrados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores limites segundo Griffin et al. [11].

$A(8)$ [m/s^2]	DV_i (%)	VDV [$m/s^{1,75}$]	DV_i (%)
1,15	100	21	100
0,5	19	9,1	3,5

Exemplo 1: Um operador de uma cortadora de árvores expõe-se por 6,5 horas aos seguintes níveis de vibração em cada eixo ortogonal:

$$x = 0,28 \text{ m/s}^2; \quad y = 0,56 \text{ m/s}^2; \quad e \quad z = 0,25 \text{ m/s}^2.$$

Assim, utilizando-se a Equação (13) para cada eixo, tem-se que:

$$DV_x = 100 \cdot \frac{6,5}{134,95} = 4,8\% ,$$

$$DV_y = 100 \cdot \frac{6,5}{33,74} = 19,3\%$$

$$DV_z = 100 \cdot \frac{6,5}{169,28} = 3,8\% .$$

Como a exposição diária à vibração é relativa ao maior valor de dose encontrado entre os três eixos, no caso desta situação o eixo y corresponde à exposição. Para converter o valor de dose em aceleração ponderada em m/s^2 e comparar com o nível de ação de $0,5 \text{ m/s}^2$ da diretiva europeia conforme exemplo original do guia, aplica-se a Equação (15):

$$A_{y(8)_{rms}} = 1,15 \cdot 0,283 \sqrt{\frac{19,3}{8}} = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} .$$

Exemplo 2: Um motorista de caminhão opera uma pequena empilhadeira por cerca de 1h e depois dirige um caminhão por 6h, estando submetido à seguinte exposição à vibração:

Caminhão de entrega	Empilhadeira
eixo $x = 0,70 \text{ m/s}^2$	eixo $x = 0,28 \text{ m/s}^2$
eixo $y = 0,42 \text{ m/s}^2$	eixo $y = 0,42 \text{ m/s}^2$
eixo $z = 0,90 \text{ m/s}^2$	eixo $z = 0,30 \text{ m/s}^2$

A exposição diária à vibração em termos da dose proposta é calculada pela Equação (13),

assim:

$$DV_x = 100 \cdot \left[\frac{6}{134,95} + \frac{1}{21,59} \right] = 9,08\% ,$$

$$DV_y = 100 \cdot \left[\frac{6}{59,98} + \frac{1}{59,98} \right] = 11,67\% ,$$

$$DV_z = 100 \cdot \left[\frac{6}{117,56} + \frac{1}{13,1} \right] = 12,74\% \text{ e}$$

$$DV_{\text{total}} = [9,08\% + 11,67\% + 12,74\%] = 33,45\% .$$

Nesta situação, os eixos são similares, logo é recomendado que se aplique a Equação (14) para encontrar o valor de dose da exposição. Convertendo-se o valor de dose total em termos de r.m.s., tem-se, pela Equação (15), que:

$$A(8)_{\text{total}} = 1,15 \cdot 0,283 \sqrt{\frac{33,41}{8}} \\ = 0,665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} .$$

Exemplo 3: Um operador de uma cortadora de árvores expõe-se por 6,5 horas, com tempo de mensuração de 2 horas, aos seguintes níveis de VDV em cada eixo ortogonal:

$$x = 4,2 \text{ m/s}^{1,75}; y = 7 \text{ m/s}^{1,75} \text{ e } z = 4 \text{ m/s}^{1,75} .$$

A partir de Equação (13), tem-se que:

$$DV_x = 100 \cdot \left[\frac{6,5}{1250} \right] = 0,52\% ,$$

$$DV_y = 100 \cdot \left[\frac{6,5}{162} \right] = 4,01\% \text{ e}$$

$$DV_z = 100 \cdot \left[\frac{6,5}{1519,4} \right] = 0,43\% .$$

Nesse caso, o maior valor de dose foi calculado para o eixo y. Para converter o valor de dose em valores de VDV e comparar com o nível de ação 9,5 m/s^{1,75} da diretiva europeia, conforme exemplo original do guia, aplica-se a Equação (16),

logo:

$$VDV_y = 21 \cdot 0,532 \left(\frac{4}{8} \right)^{\frac{1}{4}} = 9,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1,75} .$$

Exemplo 4: Um motorista de caminhão opera uma pequena empilhadeira por cerca de 1h e depois dirige um caminhão por 6h, estando exposto aos seguintes níveis de VDV:

Caminhão de entrega	Empilhadeira
eixo x = 5,6 m/s ^{1,75}	eixo x = 8,4 m/s ^{1,75}
eixo y = 7,0 m/s ^{1,75}	eixo y = 5,6 m/s ^{1,75}
eixo z = 6,0 m/s ^{1,75}	eixo z = 12,0 m/s ^{1,75}

O tempo de mensuração da empilhadeira foi de 1 hora e do caminhão de 4 horas. Assim, aplica-se a Equação (13) para cada eixo e então a Equação (16) para o eixo de maior valor (no caso, z), assim:

$$DV_x = 100 \cdot \left[\frac{6}{791} + \frac{1}{39,1} \right] = 3,32\% ,$$

$$DV_y = 100 \cdot \left[\frac{6}{324} + \frac{1}{197,75} \right] = 2,36\% ,$$

$$DV_z = 100 \cdot \left[\frac{6}{600,25} + \frac{1}{9,38} \right] = 11,66\% \text{ e}$$

$$VDV_z = 21 \cdot 0,532 \left(\frac{11,66}{8} \right)^{\frac{1}{4}} \\ = 12,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1,75} .$$

Os resultados de DV_i (%) apresentados nos exemplos, podem ser comparados diretamente com os valores limites da Tabela 3. Portanto para o Exemplo 1 os valores limites inferiores de dose de vibração que são definidos como “nível de ação” que é o nível mínimo de exposição para aplicação de controles não são superados. Nos Exemplos 2, 3 e 4 os resultados excedem os níveis de ação nas situações exemplificadas, logo devem-se aplicar ações de monitoramento médico dos expostos [11].

5. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados sugerem que uma dose adimensional, analogamente utilizada tanto para ruído quanto para químicos, poderia ser adotada para vibração de corpo inteiro e, possivelmente, para vibração transmitida para mãos e braços. A dose em valores de percentuais apresenta forma de cálculo mais simples e de fácil interpretação pelos profissionais de higiene e segurança do trabalho, assim como por trabalhadores e empregadores. Os medidores pessoais de vibração estão sendo desenvolvidos com base na ISO 8041-2 (2021): *Personal vibration exposure meters*, e podem utilizar os canais para calcular a dose de vibração na quarta e segunda potência para estimar o risco de exposição no trabalho e emitir alerta de sobre carga de exposição. Com relação aos limites de exposição ocupacional para vibração de corpo inteiro, pode-se verificar que a maioria dos países estudados, cerca de 96,6%, utilizam o eixo dominante, conforme definido no padrão ISO 2631-1 (1997). Cerca de 98,0%, adotam apenas o método básico e apenas sete deles adotam de forma complementar o método da quarta potência, o que constitui um problema, pois os métodos complementares são indicados no padrão ISO para melhor avaliar sinais complexos e assim ter uma melhor previsão de risco ao trabalhador.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa e ao meu filho por compreenderem a minha ausência em alguns momentos para dedicar-me a esse trabalho (Sousa, V. C.). Agradeço ao Valdiney pelo convite e pela confiança e ao professor William Fonseca pelo apoio (Teixeira, J. A. M. S.).

REFERÊNCIAS

1. RAO, Singiresu S. *Vibrações mecânicas*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. ISBN 978-8576052005.
2. MANSFIELD, Neil J. *Human response to vibration*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005. OCLC: 62208357. ISBN 978-0203487228. Dis-

ponível em: <http://site.ebrary.com/id/10162776>.

3. GRIFFIN, Michael J. *Handbook of human vibration*. 1. print. paperback ed. ed. London: Acad. Press, 1996. OCLC: 39151533. ISBN 978-0123030405, 978-0123030412.
4. COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. *EN 14253 - Mechanical vibration – Measurement and calculation of occupational exposure to whole-body vibration with reference to health – Practical guidance*. Comité Europeu de Normalização, 2008. Disponível em: <https://webstore.ansi.org/standards/din/din142532008>.
5. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 2631-1 – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements*. 1985. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/7611.html>.
6. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 2631-1:1997/AMD 1:2010 – Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements – Amendment 1*. 2010. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/45604.html>.
7. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. *BS 6841 – Guide to Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock*. [S.l.]: British Standards Institution, 1987.
8. STAYNER, R M. *Whole-body vibration and shock: A literature review: Extension of a study of overtravel of seat suspensions*. Sudbury, Reino Unido: HSE Books, 2001. ISBN 0717620042.
9. GRIFFIN, Michael J. Measurement and evaluation of whole-body vibration at work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 6, n. 1, p. 45–54, jul. 1990. ISSN 01698141. doi: [10.1016/0169-8141\(90\)90049-8](https://doi.org/10.1016/0169-8141(90)90049-8). Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0169814190900498>.
10. SOUSA, Valdiney Camargos de. Limites de vibração de corpo inteiro no mundo. *Interna-*

tional Archives of Occupational and Environmental Health, IV, n. 7, p. 94–116, 2021. ISSN 2595-847. doi: [0.33637/2595-847x.2021-90](https://doi.org/10.33637/2595-847x.2021-90).

11. GRIFFIN, M. J.; HOWARTH, H. V. C.; PITTS, P. M.; FISCHER, S.; KAULBARS, U.; DONATI, P. M.; BERETON, P. F. *Guide to good practice on Whole-Body Vibration*. Institute of Sound and Vibration Research University of Southampton, U.K., 2008. Disponível em: http://resource.isvr.soton.ac.uk/HRV/VIBGUIDE/2008_11_08%20WBV_Good_practice_Guide%20v6.7h%20English.pdf.

12. BURGESS-LIMERICK, Robin. Measuring and Managing Workplace Whole-Body Vibration Exposures. *Acoustics Australia*, v. 44, n. 1, p. 129–135, abr. 2016. ISSN 0814-6039, 1839-2571. doi: [10.1007/s40857-015-0032-5](https://doi.org/10.1007/s40857-015-0032-5).

13. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. *TLVs e BEIs*: baseados na documentação dos limites de exposição ocupacional (TLVs) para substâncias químicas e agentes físicos & índices biológicos de exposição (BEIs). Cincinnati, EUA: ACGIH Signature Publications, 2020. ISBN 978-1607261124.

14. EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration). *Official Journal of the European Communities*, n. L177, p. 13–19, 2002. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32002L0044>.

15. CATION, Sarah; JACK, Robert; OLIVER, Michele; DICKEY, James P.; LEE-SHEE, Natasha K. Six degree of freedom whole-body vibration during forestry skidder operations. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 38, n. 9-10, p. 739–757, set. 2008. ISSN 01698141. doi: [10.1016/j.ergon.2007.10.003](https://doi.org/10.1016/j.ergon.2007.10.003).

16. GRIFFIN, Michael J.; WHITHAM, Eleri M. Discomfort produced by impulsive whole-body vibration. *The Journal of the Acoustical Society*

of America, v. 68, n. 5, p. 1277–1284, nov. 1980. ISSN 0001-4966. doi: [10.1121/1.385121](https://doi.org/10.1121/1.385121).

17. GRIFFIN, Michael J.; WHITHAM, Eleri M. Time dependency of whole-body vibration discomfort. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 68, n. 5, p. 1522–1523, nov. 1980. ISSN 0001-4966. doi: [10.1121/1.385078](https://doi.org/10.1121/1.385078).

18. GRIFFIN, Michael J. Vibration dose values for whole-body vibration: some examples. *United Kingdom Informal Group Meeting on Human Response to Vibration held at Heriot-Watt University*, Edimburgo, Escócia, p. 244 – 263, 21/22 de setembro de 1984. Disponível em: https://eprints.soton.ac.uk/430080/1/3080U_MJG_1984.pdf.

19. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 10326-1 – Mechanical vibration – Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration – Part 1: Basic requirements*. 2016. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/67659.html>.

20. GRIFFIN, Michael J. *Chapter 50 - Vibration*. Disponível em: <http://www.ilocis.org/documents/chpt50e.htm>.

21. BONGERS, Paulien; BOSHUIZEN, Hendrike Cornelie. *Back disorders and whole-body vibration at work*. Alblasterdam: Kanter, 1990. OCLC: 46209272. ISBN 978-9090036687.

22. BÖRJE, Rehn; TOHR, Nilsson; OLOFSSON, Bodil; LUNDSTRÖM, Ronnie. Whole-body vibration exposure and non-neutral neck postures during occupational use of all-terrain vehicles. *The Annals of occupational hygiene*, 2005. ISSN 1475-3162. doi: [10.1093/annhyg/meh077](https://doi.org/10.1093/annhyg/meh077).

23. BOVENZI, Massimo. A Longitudinal Study of Low Back Pain and Daily Vibration Exposure in Professional Drivers. *INDUSTRIAL HEALTH*, v. 48, n. 5, p. 584–595, 2010. ISSN 0019-8366, 1880-8026. doi: [10.2486/indhealth.MSWBVI-02](https://doi.org/10.2486/indhealth.MSWBVI-02).

24. BOVENZI, Massimo; ZADINI, Antonella. Self-Reported Low Back Symptoms in Urban Bus Drivers Exposed to Whole-Body Vibration. *Spine*, v. 17, n. 9, p. 1048–1059, set.

1992. ISSN 0362-2436. doi: [10.1097/00007632-199209000-00007](https://doi.org/10.1097/00007632-199209000-00007).

25. LUKMAN, Khamisah Awang; JEFFREE, Mohammad Saffree; RAMPAL, Krishna Gopal. Lower back pain and its association with whole-body vibration and manual materials handling among commercial drivers in Sabah. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, v. 25, n. 1, p. 8–16, jan. 2019. ISSN 1080-3548, 2376-9130. doi: [10.1080/10803548.2017.1388571](https://doi.org/10.1080/10803548.2017.1388571).

26. CHARACTERIZATION of the Frequency and Muscle Responses of the Lumbar and Thoracic Spines of Seated Volunteers During Sinusoidal Whole Body Vibration. v. 136, p. 101002, out. 2014. ISSN 0148-0731, 1528-8951. doi: [10.1115/1.4027998](https://doi.org/10.1115/1.4027998).

27. ZHANG, Chaofei; MENG, Xiangjie; ANDERSON, Dennis E.; WANG, Wenjun; TAO, Xin; CHENG, Bo. Effects of stretch reflex on back muscle response during sinusoidal whole body vibration in sitting posture: A model study. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 71, p. 103–110, maio 2019. ISSN 01698141. doi: [10.1016/j.ergon.2019.02.005](https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.02.005).

28. LINGS, S.; LEBOEUF-YDE, C. Whole-body vibration and low back pain: a systematic, critical review of the epidemiological literature 1992-1999. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, v. 73, n. 5, p. 290–297, jun. 2000. ISSN 0340-0131, 1432-1246. doi: [10.1007/s004200000118](https://doi.org/10.1007/s004200000118).

29. BURSTRÖM, Lage; NILSSON, Tohr; WAHLSTRÖM, Jens. Whole-body vibration and the risk of low back pain and sciatica: a systematic review and meta-analysis. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, v. 88, n. 4, p. 403–418, maio 2015. ISSN 0340-0131, 1432-1246. doi: [10.1007/s00420-014-0971-4](https://doi.org/10.1007/s00420-014-0971-4).

30. WIKSTRÖM, Bengt-Olov; KJELLBERG, Anders; LANDSTRÖM, Ulf. Health effects of long-term occupational exposure to whole-body vibration: A review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 14, n. 4, p. 273–292,

dez. 1994. ISSN 0169-8141. doi: [10.1016/0169-8141\(94\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0169-8141(94)90017-5).

31. BARRERO, Lope H; CIFUENTES, Manuel; RODRÍGUEZ, Andrés C; REY-BECERRA, Estefany; JOHNSON, Peter W; MARIN, Luz S; PIEDRAHITA, Hugo; DENNERLEIN, Jack T. Whole-body vibration and back pain-related work absence among heavy equipment vehicle mining operators. *Occupational and Environmental Medicine*, v. 76, n. 8, p. 554–559, ago. 2019. ISSN 1351-0711, 1470-7926. doi: [10.1136/oemed-2019-105914](https://doi.org/10.1136/oemed-2019-105914).

32. LYNAS, Danellie; BURGESS-LIMERICK, Robin. Whole-Body Vibration Associated with Dozer Operation at an Australian Surface Coal Mine. *Annals of Work Exposures and Health*, v. 63, n. 8, p. 881–889, out. 2019. ISSN 2398-7308, 2398-7316. doi: [10.1093/annweh/wxz054](https://doi.org/10.1093/annweh/wxz054).

33. Health and Safety at the Center of Our World. *Combined Toxic Effects of Chemicals*. Acesso em 31/01/2021. Disponível em: <http://ohshub.com/combined-toxic-effects-of-chemicals/>.

34. MUMTAZ, Moiz (Ed.). *Principles and practice of mixtures toxicology*. Weinheim, Alemanha: Wiley-VCH, 2010. OCLC: ocn489001693. ISBN 978-3527319923.

35. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *IEC 61672-1 – Electroacoustics - Sound level meters - Part 1: Specifications*. 2013. Disponível em: <https://webstore.iec.ch/publication/5708>.

36. UNITED STATES DEPARTMENT OF LABOR. Occupational Safety and Health Administration, *Noise exposure computation*. Acesso em 31/01/2021. Disponível em: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.95AppA>.

37. SILVA, Luiz Felipe; MENDES, René. Exposição combinada entre ruído e vibração e seus efeitos sobre a audição de trabalhadores. *Revista de Saúde Pública*, v. 39, n. 1, p. 9–17, jan. 2005. ISSN 0034-8910. doi: [10.1590/S0034-89102005000100002](https://doi.org/10.1590/S0034-89102005000100002).