

Manual Prático de Avaliação e Controle de Vibração

PGR

1ª edição — 2009
2ª edição — 2013
3ª edição — 2014
4ª edição — 2016
5ª edição — 2018
6ª edição — 2019
7ª edição — 2023

AUTORIA
TUFFI MESSIAS SALIBA

LTR[®]

**Manual Prático de
Avaliação e Controle de**
VIBRAÇÃO
PGR

7ª EDIÇÃO
2023



LTr Editora Ltda.

© Todos os direitos reservados

Rua Jaguaribe, 571
CEP 01224-003
São Paulo, SP — Brasil
Fone (11) 2167-1101
www.ltr.com.br
Abril, 2023

Produção Gráfica e Editoração Eletrônica: RLUX
Projeto de capa: DANILO REBELLO
Impressão: META BRASIL

Versão impressa — LTr 6396.9 — ISBN 978-65-5883-202-7
Versão digital — LTr 9881.7 — ISBN 978-65-5883-203-4

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Saliba, Tuffi Messias

Manual prático de avaliação e controle de vibração :
[livro eletrônico] PGR / Tuffi Messias Saliba ; [colaboradoras
Márcia Angelin Chaves Corrêa, Maria Beatriz de Freitas Lanza].
— 7. ed. — São Paulo : LTr, 2023.
PDF

Bibliografia
ISBN 978-65-5883-203-4

1. Direito do trabalho 2. Programa de Prevenção de Riscos
Ambientais 3. Vibração — Controle I. Corrêa, colaboradores
Márcia Angelin Chaves. II. Lanza, Maria Beatriz de Freitas.
III. Título.

22-140157

CDU-34:331.471

Índice para catálogo sistemático:

1. Programa de Prevenção de Riscos Ambientais :
Controle de vibração : Direito do trabalho
34:331.471

Inajara Pires de Souza — Bibliotecária — CRB PR-001652/O

SUMÁRIO

PARTE I

1.1. Considerações.....	9
1.2. Definições e parâmetros utilizados.....	10
1.2.1. Classificação das vibrações	11
1.2.2. Intensidade de vibração — Aceleração	12
1.2.3. Aceleração r.m.s. (raiz média quadrática)	13
1.2.4. Frequência.....	14
1.2.5. Banda de frequência em terça de oitava.....	15
1.2.6. Aceleração ponderada nas frequências	15
1.2.7. Máximo Valor de Vibração — MTV.....	16
1.2.8. Fator de crista.....	16
1.2.9. Aceleração total ou soma resultante dos eixos	17
1.2.10. Aceleração equivalente ponderada	17
1.2.11. Aceleração normalizada para jornada	18
1.2.12. Grupo homogêneo de exposição.....	19
1.2.13. Ciclo de trabalho.....	19

PARTE II

CRITÉRIO LEGAL

2.1. Critério NR-15.....	20
2.2. Outras normas legais sobre vibração.....	21

PARTE III

VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO

3.1. Direção da vibração.....	23
3.2. Efeitos sobre a saúde.....	24

3.3. Aceleração ponderada.....	25
a) Ponderação nas frequências — Norma ISO 2631/85	25
b) Ponderação nas frequências — Norma ISO 2631-1: 1997	26
3.4. Avaliação ocupacional da vibração de corpo inteiro.....	30
3.4.1. Aceleração total ou vetor soma dos eixos.....	30
3.4.2. Aceleração equivalente e normalizada.....	32
3.4.3. Valor da Dose de Vibração — VDV.....	32
3.4.4. Limites de exposição ocupacional.....	33
a) Critério da norma ISO 2631-1:1997	33
b) Valor da aceleração a ser comparado com o limite	35
c) Critério da Comunidade Europeia	36
d) Critério NHO 09 da FUNDACENTRO.....	36
e) Critério da ACGIH	37
f) Limites de exposição — NR-15 — anexo 8	42

PARTE IV

VIBRAÇÃO LOCALIZADA EM MÃOS E BRAÇOS

4.1. Direção da vibração.....	48
4.2. Efeitos sobre a saúde.....	48
4.3. Aceleração ponderada.....	50
a) Ponderação nas frequências — Norma ISO 5349/86 e ACGIH.....	50
b) Ponderação nas frequências — Norma ISO 5349-1:2001.....	50
4.5. Avaliação ocupacional da vibração de mão e braço.....	54
4.5.1. Avaliação ocupacional de vibração de mão e braço — Critério da Norma ISO 5349-1:2001	54
4.5.2. Critério da Norma ISO 5349/86 e ACGIH.....	55
4.5.3. Critério da Comunidade Europeia e NHO 10.....	57
4.5.4. Critério NR-15 anexo 8.....	57
4.6. Aceleração total ou vetor soma dos eixos.....	59
4.7. Aceleração equivalente e normalizada.....	59

PARTE V

INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

5.1. Medição de corpo inteiro	62
5.2. Medição de mão e braço.....	64

PARTE VI	
PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO	
6.1. Metodologia	67
6.2. Aplicação prática	69
a) Vibração de corpo inteiro	69
b) Vibração de mão e braço	74
PARTE VII	
AVALIAÇÃO DE VIBRAÇÃO PARA FINS DE CONFORTO	
7.1. Conforto e percepção	77
7.2. Dose do Movimento de Enjoo — MSDV	79
7.3. Vibração de edifícios	81
a) Considerações	81
b) Limite de percepção — ISO 2631-1:1997 — Anexo C.....	81
PARTE VIII	
AVALIAÇÃO DE VIBRAÇÃO PARA FINS DE INSALUBRIDADE E APOSENTADORIA ESPECIAL	
8.1. Insalubridade	82
8.2. Aposentadoria especial	84
PARTE IX	
MEDIDAS DE CONTROLE	
9.1. Medidas de controle coletivas	87
a) Velocidade de deslocamento	89
b) Manutenção	89
c) Ferramentas antivibratórias.....	89
d) Substituição do processo ou método de trabalho	89
9.2. Medidas administrativas ou de organização do trabalho	89
a) Equipamentos de Proteção Individual — EPI	90
b) Controle médico	90
c) Monitoramento	91

PARTE X

PGR — PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DE RISCOS OCUPACIONAIS

10.1. Considerações gerais.....	93
10.2. Avaliação de exposição a vibração	94
a) Severidade.....	94
b) Probabilidade.....	95
c) Matriz de risco.....	97
10.3. Controle dos riscos ocupacionais.....	98
10.4. Plano de ação.....	99
10.4.1. Acompanhamento das medidas de controle implantadas	100
10.4.2. Acompanhamento da saúde ocupacional dos trabalhadores	100

APÊNDICES

Apêndice I — Modelo de laudo de avaliação de vibração	101
Apêndice II — Norma Regulamentadora — NR-01 Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais	103
Apêndice II — Norma Regulamentadora — NR-09 — Avaliação e Controle das Exposições Ocupacionais a Agentes Físicos, Químicos e Biológicos	113
Apêndice IV — Decreto n. 3.048/99 — Regulamento da Previdência Social.....	119
Referências	123

PARTE I

1.1. Considerações

A exposição ocupacional à vibração não era tão estudada e avaliada quanto os outros agentes, devido ao alto custo da instrumentação e procedimentos técnicos de avaliação normalizados. Todavia, com a comercialização no país de instrumentação com preço mais acessível; normalização dos procedimentos de avaliação pela FUNDA-CENTRO e alteração do anexo 8 da NR-15, as medições de vibrações tornaram-se frequentes.

A Convenção n.148 da OIT ratificada pelo Brasil e promulgada por meio do Decreto n. 93.413 de 15.10.86 determina que a legislação nacional deva dispor sobre a adoção de medidas no local de trabalho para prevenir e limitar os riscos profissionais à vibração e para proteger os trabalhadores contra tais riscos.

O Ministério do Trabalho e Emprego nas NR-15 e NR-09 trata desse fator de risco; entretanto, como veremos a NR-15, anexo 8, determinava que a avaliação da exposição ocupacional de vibração deveria ser feita com base nas normas ISO 2631:1997 e 5349 e suas substitutas. Considerando que essas normas não estabeleciam limites certos e determinados, os profissionais da área encontravam muita dificuldade no procedimento de avaliação e interpretação correta da caracterização do risco de exposição ocupacional a esse agente. Assim, ao estabelecer essa regra, o MTE deveria ter, no mínimo, disponibilizado essas normas, mesmo que de forma simplificada, para os profissionais. No ano de 2012, a FUNDACENTRO editou a NHO 09 — Avaliação ocupacional a vibrações de corpo inteiro e NHO 10 — Avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços. Essas normas contribuíram muito para a avaliação ocupacional de vibração. Recentemente, a Portaria n. 1.297 de 13.08.14 do MTE deu nova redação ao anexo 8 da NR-15, incluindo os limites de exposição ocupacional para vibração de corpo inteiro e mãos e braços. Ao regulamentar a matéria, o poder público dirimiu as dúvidas e interpretações equivocadas especialmente na aplicação dos limites de exposição.

Em razão da dificuldade dos profissionais em aplicar os critérios de avaliação das normas ISO citadas anteriormente e o alto custo da instrumentação, algumas vezes, a exposição à vibração era omitida no PPRA, PCMSO, PPP e outros documentos. Essa omissão prejudicava o trabalhador, especialmente, nos processos administrativos e judiciais de aposentadoria especial e insalubridade. Com a alteração do anexo 8 da NR-15, não há razão para omitir esse agente nos referidos documentos. Aliás, a nova regulamentação incluiu o anexo I no PPRA determinando a análise preliminar da exposição à vibração e as medidas de controle.

Para o higienista Irlon Cunha, “a ausência de quaisquer abordagens em relação à exposição dos trabalhadores à vibração, conforme verificado junto às empresas avaliadas e seus respectivos PPRA, indica a necessidade de intervenção por parte dos diversos fatores que atuam no âmbito dessas empresas de forma a dar visibilidade ao agente e promover à sua prevenção e controle. Do ponto de vista legal, o agente deveria ser abordado nos PPRA. A sua ausência resulta em falha grave no processo de reconhecimento do risco”⁽¹⁾.

Esse manual visa a fornecer orientações básicas e práticas na avaliação ocupacional e controle da vibração, analisando a metodologia e o critério de avaliação das normas ISO mencionadas na NR-15, bem como as normas NHO 09 e 10.

1.2. Definições e parâmetros utilizados

A vibração é um movimento oscilatório de um corpo provocado por causa de forças desequilibradas de componentes rotativos e movimentos alternados de uma máquina ou equipamento. Se o corpo vibra, descreve um movimento oscilatório e periódico, envolvendo deslocamento num tempo. Teremos, então, envolvida no movimento, uma velocidade, aceleração e frequência (número de ciclos completos/segundo). Desse modo, na avaliação da exposição a esse agente, é necessário coletar informações desses parâmetros, especialmente da aceleração e frequência da vibração.

(1) CUNHA, Irlon Ângelo da. São Paulo. Tese (doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo — Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo — São Paulo, 2006. p. 139.

A Convenção 148 da OIT estabelece que o termo “vibração” compreende toda vibração transmitida ao organismo humano por estruturas sólidas e que seja nociva à saúde ou contenha qualquer outro tipo de perigo.

1.2.1. Classificação das vibrações

— Vibração ocupacional de corpo inteiro

São vibrações transmitidas ao corpo como um todo, geralmente por meio da superfície de suporte, tal como pé, costas, nádegas de um homem sentado ou na área de suporte de uma pessoa reclinada, como: caminhão, trator, empilhadeira, ônibus, trem, entre outros. Os operadores desses equipamentos recebem a vibração em todo o corpo transmitida pelo assento.

— Vibração ocupacional mão e braço ou localizada

São vibrações que atingem certas partes do corpo, principalmente mãos, braços e outros. Como os sistemas corpo inteiro e braços/mãos são mecanicamente diferentes, deverão ser estudados separadamente, como: operador de martetele pneumático, operador de lixadeira, operador de motosserra, entre outros.

— Vibração para fins de conforto

Em certas atividades, a vibração pode causar desconforto intolerável em uma situação, ser agradável ou desejada em outras. Logo, os valores de conforto dependem de vários fatores, alguns até subjetivos. Desse modo, a ISO 2.631 não estabelece limite para o conforto, limitando-se apenas a indicar valores de acelerações em que as reações das pessoas são prováveis. Exemplo: viagem em veículos.

— Vibração para fins de conforto da comunidade (meio ambiente)

São as vibrações capazes de provocar desconforto e perturbação do sossego público, como: aquelas percebidas em estruturas de prédios devido a fontes externas. A norma ISO 2631-2:2003 estabelece critério de exposição humana a vibração de corpo inteiro e choque em edifícios referentes ao conforto e perturbação de seus ocupantes.

— Vibração de máquinas

São as vibrações produzidas pelas máquinas que podem indicar problemas de manutenção. Assim, os técnicos de manutenção preditiva devem medir a vibração e comparar os valores com as normas técnicas pertinentes.

Na avaliação ocupacional da vibração, vários fatores influenciam na caracterização do risco, entre os quais destacamos:

- intensidade;
- frequência;
- direção da vibração;
- tempo de exposição, entre outros.

1.2.2. Intensidade de vibração — Aceleração

Como a vibração é um movimento oscilatório, para sua quantificação são utilizados os parâmetros deslocamento, velocidade e aceleração. Na higiene ocupacional, normalmente a avaliação da vibração é feita por meio da aceleração do movimento em m/s^2 ou em dB. O nível de aceleração da vibração r.m.s. (raiz média quadrática) em decibel é calculado de acordo com a fórmula 1.

$$NA = 20 \log \frac{A}{A_0} \quad 120 \text{ dB} \quad (1)$$

Sendo:

A — Aceleração

A_0 — Nível de aceleração de referência igual a $10^{-6} m/s^2$

Exemplo:

Um medidor de vibração registra aceleração de $1,0 m/s^2$, o valor em dB é igual a:

$$NA = 20 \log \frac{1}{10^{-6}} = 120 \text{ dB} \quad (2)$$

A tabela a seguir mostra a correspondência entre alguns valores de aceleração em m/s^2 e dB

Aceleração em m/s^2	Aceleração em dB
1,0	120
10	140
0,5	113,9
0,1	100
0,78	117,8

1.2.3. Aceleração r.m.s. (raiz média quadrática)

Os principais parâmetros relacionados com a amplitude da vibração são: o valor do pico, pico a pico e o valor r.m.s. O valor de pico representa a aceleração máxima do pico num intervalo de tempo geralmente de 1 segundo. Já o valor pico a pico representa a distância do valor máximo e mínimo. O valor r.m.s. é mais importante na medida da amplitude e representa a média da energia do movimento vibratório. A Figura 1 ilustra os três parâmetros num movimento vibratório.

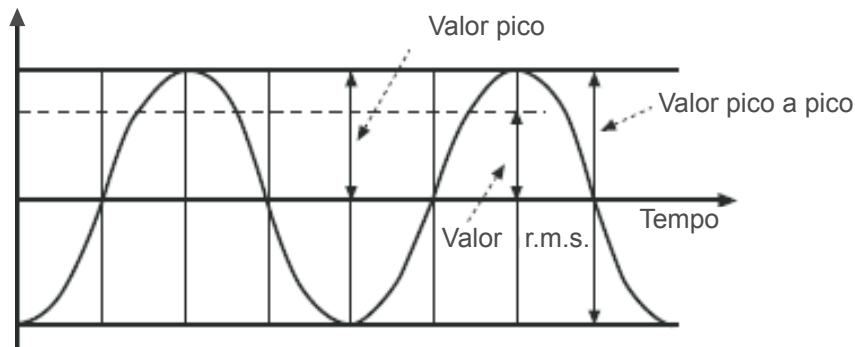


Figura 1 — Principais parâmetros relacionados com a amplitude da vibração

De acordo com a norma ISO 2631-1:1997, na avaliação da vibração utiliza-se o valor aceleração ponderada r.m.s ou valor eficaz, definido de acordo com a equação:

$$a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt} \quad (3)$$

Onde:

$a_w(t)$ — valor da aceleração ponderada na frequência em m/s^2

t — tempo de duração da medição, em segundos

A ponderação nas frequências será examinada com mais detalhes nos itens 3.3 e 3.4.

1.2.4. Frequência

A frequência de um movimento oscilatório é definida pela relação do número de vibrações e pelo tempo de duração em segundos. Essa frequência, vibrações por segundo, é expressa na unidade Hertz ou Hz.

A vibração consiste em movimento inerente aos corpos dotados de massa e elasticidade. O corpo humano possui uma vibração natural. Se uma frequência externa coincide com a frequência natural do sistema, ocorre a ressonância, que implica na amplificação do movimento. A energia vibratória é absorvida pelo corpo, como consequência da atenuação promovida pelos tecidos e órgãos⁽²⁾. O corpo humano possui diferentes frequências de ressonância, ou seja, cada parte do corpo tem maior sensibilidade a uma determinada frequência, conforme figuras 2 e 3 a seguir:

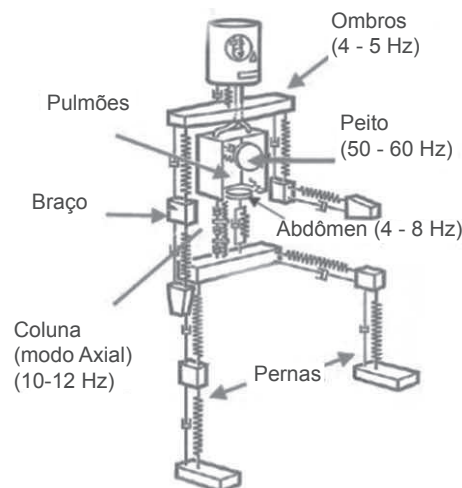


Figura 2 — Corpo inteiro — Modelo mecânico

Fonte: Bruel & Kjaer

(2) VENDRAME, Antônio Carlos. *Vibrações Ocupacionais*.

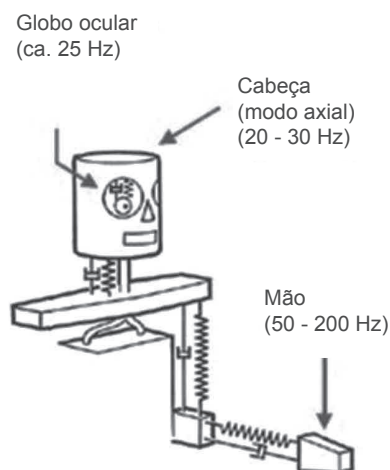


Figura 3 — Mão e braço — Modelo mecânico

Fonte: Bruel & Kjaer

1.2.5. Banda de frequência em terça de oitava

É o intervalo entre dois tons (frequência central) de forma que a relação entre elas é igual a $2^{1/3}$ (terça de oitava). Exemplos: a magnitude das acelerações será determinada nas seguintes frequências centrais — 1,0 Hz, 1,25 Hz, 1,6 Hz, 2,0 Hz, 2,5 Hz, 3,15 Hz, 4,0 Hz, 5,0 Hz, 6,3 Hz, 8,0 Hz, 10,0 Hz, 12,5 Hz, 16,0 Hz, 20 Hz, 25 Hz, 31,5 Hz. Em geral, a avaliação da vibração ocupacional é feita nas frequências de terça de oitava.

1.2.6. Aceleração ponderada nas frequências

A resposta da sensibilidade humana às vibrações é diferente nas frequências. Desse modo, na avaliação ocupacional, os valores das acelerações são ponderados ou corrigidos em função dessa resposta em cada frequência. Na avaliação ocupacional, as acelerações ponderadas nas frequências são indicadas em função dos eixos x, y e z e o tipo de vibração, conforme mostra a tabela a seguir.

Ponderação nas frequências	Aplicação
w_h	Ponderação de mão e braço nos eixos X, Y e Z
w_k	Ponderação de corpo inteiro no eixo Z
w_d	Ponderação de corpo inteiro nos eixos X e Y

As curvas e as tabelas com os fatores de ponderação para vibração de corpo inteiro e mão e braço encontram-se nos itens 3.3 e 3.4.

1.2.7. Máximo Valor de Vibração — MTV

É o valor máximo da aceleração de vibração transiente definida como:

$$MTV = \max [a_w (T_0)] \quad (4)$$

a_w = é o maior valor da aceleração ponderada lida durante o período da medição

É recomendado usar o $T = 1$ segundo na medição MTV, que corresponde a uma constante no tempo de integração *slow* nos medidores de nível de pressão sonora.

1.2.8. Fator de crista

É definido como a relação entre o máximo valor de pico instantâneo e a aceleração ponderada r.m.s., medida na mesma direção, em um período de 1 minuto, para qualquer um dos eixos ortogonais X, Y e Z. Quando o fator de crista for igual ou inferior a 9, o método de avaliação básico é suficiente para a avaliação ocupacional da vibração de corpo inteiro (ISO 2631:1997).

Quando o fator de crista for superior a 9, deve-se considerar o Valor Dose de Vibração — VDV, de acordo com a norma ISO 2631-1:1997 como método adicional de avaliação.

De acordo com a NHO-09, item 6.3.6.3 e o anexo 8 da NR-15, o Valor Dose de Vibração — VDV, por conduta preventiva, deverá ser determinado em todas as avaliações.

1.2.9. Aceleração total ou soma resultante dos eixos

Os valores de aceleração obtidos nos três eixos podem ser somados de forma a se obter aceleração total ou resultante para corpo inteiro **5**:

$$A_t = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2} \quad (5)$$

Onde:

a_{wx} , a_{wy} , a_{wz} — acelerações r.m.s ponderadas como os respectivos eixos ortogonais x, y e z.

k_x , k_y , k_z — fatores de multiplicação dos respectivos eixos ortogonais x, y e z.

Na vibração de corpo inteiro para fins de saúde, os valores de k_x , k_y , e k_z são iguais a 1,4; 1,4 e 1, respectivamente, para pessoas sentadas. Esse fator 1,4 é a razão entre o valor longitudinal e os transversais da curva de igual resposta, nas faixas de maior sensibilidade de resposta humana.

Na avaliação para fins de conforto e percepção, os fatores são específicos para cada posição, conforme determina a norma ISO 2631 mostrada na Parte VII.

Na vibração localizada, a aceleração total ou soma dos eixos ortogonais x, y e z é a seguinte:

$$A_t = \sqrt{a_{whx}^2 + a_{why}^2 + a_{whz}^2} \quad (6)$$

1.2.10. Aceleração equivalente ponderada

Quando a exposição à vibração é diferente em dois ou mais períodos da jornada, deve ser considerada a aceleração equivalente ou aceleração resultante de exposição — are (FUNDACENTRO, 2012), conforme fórmula a seguir:

$$AEQ \text{ ou } are = \sqrt{\frac{a_1^2 t_1 + a_2^2 t_2 + \dots + a_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (7)$$

Sendo:

AEQ — Aceleração Equivalente

a_n — valor da vibração obtida

t_n — tempo de exposição a aceleração obtida a_n

AEQ ou a_{re} — aceleração média resultante representativa da exposição ocupacional diária, considerando os três eixos ortogonais e diversos componentes de exposição identificadas (FUNDACENTRO, 2012).

Exemplo: um operador de equipamento fica exposto à vibração de corpo inteiro conforme seguinte situação:

aw_k (m/s ²) eixo Z*	Tempo (min)	Situação
0,14	60	Marcha lenta
0,99	360	Velocidade de 80 km/h
—	—	Sem exposição à vibração

A vibração equivalente é igual a:

$$AEQ = \sqrt{\frac{(0,14^2 \cdot 60) + (0,99^2 \cdot 360)}{420}} = 0,91 \text{ m/s}^2$$

* Nota: considerando a aceleração do maior eixo conforme ISO 2631 — 1:1997 (alterada em 2010 item 7.2.4, p.13).

1.2.11. Aceleração normalizada para jornada

A aceleração normalizada para jornada ou aceleração resultante de exposição normalizada (NHO 09) é dada pela equação:

$$A(8) \text{ ou } a_{ren} = AEQ \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (8)$$

Sendo:

T — corresponde à duração total diária de exposição

T_0 — corresponde à duração de 8 horas ou 480 minutos (jornada normal)

Assim, para jornada diária normal, o cálculo da aceleração normalizada é igual a:

$$A(8) \text{ ou } a_{ren} = A_{EQ} \sqrt{\frac{T}{8}} \text{ ou } \sqrt{\frac{T}{480}} \quad (9)$$

Segundo a NHO 09 da FUNDACENTRO, a aceleração resultante de exposição normalizada (a_{ren}), corresponde à aceleração resultante da exposição (a_{re}) convertida para uma jornada diária padrão de oito horas.

Considerando os valores de A_{EQ} e tempo de exposição do exemplo anterior (7,0 horas ou 420 minutos), para jornada de trabalho de 8,0 horas, teremos:

$$A(8) = 0,91 \sqrt{\frac{7}{8}} = 0,85 \text{ m/s}^2$$

1.2.12. Grupo homogêneo de exposição

O grupo homogêneo de exposição (GHE) ou grupo de exposição similar (GES) corresponde a um grupo de trabalhadores que experimentam exposição semelhante, de forma que o resultado fornecido pela avaliação da exposição de qualquer trabalhador do grupo seja representativo da exposição dos demais trabalhadores do mesmo grupo. (NHO-09 da FUNDACENTRO).

1.2.13. Ciclo de trabalho

Consiste na análise das tarefas que compõe a atividade do trabalhador, bem como as repetições em determinado intervalo de tempo. Exemplo: percurso de um caminhão da frente de lavra; carregamento; deslocamento carregado até a britagem; descarregamento, compõe um ciclo de trabalho completo. Nesse caso, deve-se analisar o tempo de tarefa e o número de repetições do ciclo.