



Universidade Federal de Pernambuco  
Centro de Artes e Comunicação  
Departamento de Design  
Programa de Pós-Graduação em Ergonomia - PPERGO

Flávio Roberto de Souza

## Avaliação da exposição à vibração e do espaço envolvente do operador de escavadeira hidráulica com ênfase na ergonomia e segurança

Orientador: Prof. Dr. Walter Franklin M. Correia

Dissertação apresentada como requisito complementar para obtenção do grau de Mestre em Ergonomia, área de concentração em Ergonomia, do Programa de Pós-Graduação em Ergonomia da Universidade Federal de Pernambuco.

Recife, 2015

Catálogo na fonte  
Bibliotecário Jonas Lucas Vieira, CRB4-1204

S729a Souza, Flávio Roberto de  
Avaliação da exposição à vibração e do espaço envolvente do operador de escavadeira hidráulica com enfoque na ergonomia e segurança / Flávio Roberto de Souza. – Recife: O Autor, 2015.  
98 f.: il., fig.

Orientador: Walter Franklin Marques Correia.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Artes e Comunicação. Design, 2015.

Inclui referências.

1. Ergonomia. 2. Hidráulica. 3. Máquinas para rodovia. 4. Segurança do trabalho. 5. Trabalhadores da construção. I. Correia, Walter Franklin Marques (Orientador). II. Título.

745.2 CDD (22.ed.)

UFPE (CAC 2015-133)



Dedico este trabalho aos meus filhos, Flávio  
Rafael, Fernando Samuel e Maria Fernanda.

## **Agradecimentos**

Agradeço a meu Deus Javé, por tudo que tenho recebido e que receberei.

À minha mãe Marlene, pela sua forma simples e humilde de ter-me ensinado a honestidade.

À minha tia Luzia Vânia pelo apoio.

Ao professor e orientador Dr. Walter Franklin Marques Correia, pelas orientações e apoio, que me incentivou a não desistir.

Aos orientadores prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Laura Bezerra Martins e prof<sup>o</sup> Dr. Dino Lincoln Figueirôa Santos, por suas orientações.

A todos os professores da especialização e do mestrado, em especial a prof<sup>o</sup> Laura Bezerra, Marcelo Soares pelos ensinamentos.

Aos funcionários da coordenação do PPERGO.

A empresa HSO Consultoria que ajudou a realizar o trabalho de campo, as empresas Sotreq, Fornecedora e DCDN pelas informações técnicas das escavadeiras Caterpillar, Case e Komatsu.

## Resumo

O presente trabalho teve por objetivo a avaliação da exposição à vibração do operador de escavadeira hidráulica e seus efeitos ao corpo, bem como as características do espaço envolvente, e comparar com as exigências legais estabelecidas por normas brasileiras. Para isso foi utilizado de três modelos escavadeiras hidráulicas, CATERPILLAR modelo 320D, CASE modelo CX220B e KOMATSU modelo PC 130. A avaliação quantitativa das vibrações transmitidas ao corpo do trabalhador (vibração de corpo inteiro) foi através do acelerômetro colocado no assento. As características e medidas dos assentos, as características dimensionais do espaço envolvente, as características antropométricas, e as características do ambiente onde as escavadeiras desempenharam os serviços são outros parâmetros que foram considerados. Os efeitos prejudiciais das vibrações no corpo humano já são bastante conhecidos pois existem boas literaturas que tratam do assunto, porém este trabalho visa apenas pela comparação dos valores encontrados com os valores contidos nas normas que tratam dos níveis aceitáveis para o corpo humano.

**Palavras-chaves:** Vibração. Ergonomia. Máquina rodoviária. Escavadeira hidráulica.

## **Abstract**

This study aimed to assess the exposure to vibration of the hydraulic excavator operator and its effects on the body, and the characteristics of the environment, and compare with the legal requirements established by Brazilian and International Standards. For this we used two hydraulic excavators, CATERPILLAR model 320D, CASE model CX220B and KOMATSU model PC 130. The quantitative evaluation of the vibrations transmitted to the worker's body (whole body vibration) was through the accelerometer placed on the seat. The characteristics and measures of seats, the dimensional characteristics of the surrounding area, anthropometric characteristics, and environmental characteristics where the bulldozers played services are other parameters that were considered. The harmful effects of vibrations on the human body are already well known because there are good literature dealing with the subject, but this work aims only by comparing the values obtained with the values contained in the rules dealing with the acceptable levels for the human body.

**Keywords:** Vibration. Human factors. Earth-moving machinery. Hydraulic excavator.

## Listas de figuras

Figura 1 (2) – Escavadeira de esteira. ....	17
Figura 2 (2) – Escavadeira compacta de esteira. ....	18
Figura 3 (2) – Escavadeira de rodas. ....	18
Figura 4 (2) – Escavadeira compacta de rodas. ....	19
Figura 5 (2) – Escavadeira com pernas. ....	19
Figura 6 (2) – Exemplo de uma distribuição de certa população considerando a altura e frequência. ....	27
Figura 7 (2) – Representação da vibração. ....	40
Figura 8 (2) – Representação da intensidade da vibração. ....	41
Figura 9 (2) – Sistema de coordenadas para vibrações mecânicas em seres humanos. ....	45
Figura 10 (2) – Representação das ressonâncias corpo humano de pé vibrando verticalmente. ....	51
Figura 11 (2) – Esboço conceitual de um programa para prevenção de distúrbios ocasionados pela vibração. ....	53
Figura 12 (2) – Vibrações. ....	54
Figura 13 (2) – Frequência de ressonância. ....	55
Figura 14 (2) – Dimensões do assento do operador. ....	57
Figura 15 (2) – Suspensão e regulagem do assento. ....	59
Figura 16 (2) – Vista lateral do assento. ....	60
Figura 17 (3) – Barreiro em Paraipaba/Ce. ....	74
Figura 18 (3) – Barreiro em Trairí/Ce. ....	74
Figura 19 (3) – Maracanaú/Ce. ....	75
Figura 20 (3) – Aquiraz/Ce. ....	75
Figura 21 (3) – Aquiraz/Ce. ....	76
Figura 22 (3) – Instrumento de medição de vibração. ....	76
Figura 23 (3) – Regulagem de peso. ....	77
Figura 24 (3) – Regulagem na horizontal. ....	77
Figura 25 (3) – Regulagem de peso. ....	77
Figura 26 (3) – Regulagem na horizontal. ....	77
Figura 27 (3) – Apoio de braços. ....	78
Figura 28 (3) – Apoio de braços. ....	78
Figura 29 (3) – Eixos ortogonais. ....	79
Figura 30 (3) – Fixação do acelerômetro no assento da escavadeira. ....	80
Figura 31 (3) – Medidor na cabine da escavadeira. ....	81
Figura 32 (4) – Limites para os eixos “x” e “y”. ....	88
Figura 33 (4) – Limites para os eixos “z”. ....	89

## Lista de tabelas

Tabela 1 (2) – Indústrias europeia com evidências clinicas de exposição a vibração de corpo inteiro. ....	40
Tabela 2 (2) – Exposição potenciais à vibração nas industrias estadunidenses. ....	40
Tabela 3 (2) – Unidades do SI usadas em vibração. ....	42
Tabela 4 (2) – Frequência de ressonância. ....	47
Tabela 5 (2) – Sintomas de exposição à vibração de corpo inteiro nas diferentes frequências. ....	52
Tabela 6 (2) – Refere-se as dimensões do assento. ....	58
Tabela 7 (3) – Valores de referência da exposição ocupacional à vibração. ....	82
Tabela 8 (3) – Valores limites que geram insalubridade. ....	82
Tabela 9 (4) – Análise escavadeira CAT 320D. ....	86
Tabela 10 (4) – Análise escavadeira Case CX220B. ....	86
Tabela 11 (4) – Análise escavadeira Komatsu PC 130. ....	87

## **Lista de quadros**

Quadro 1 (2) – Unidades comercializadas no Brasil, incluindo importações. ....	20
Quadro 2 (2) – Condições inaceitáveis às vibrações verticais. ....	48
Quadro 3 (4) – Características das escavadeiras e operadores. ....	85
Quadro 4 (4) – Resultado da análise de VCI. ....	87
Quadro 5 (4) – Referência para tomada de decisão. ....	87

## Lista de siglas e abreviações

a	Aceleração
$a_x$	Aceleração no eixo x
$a_y$	Aceleração no eixo y
$a_z$	Aceleração no eixo z
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Aren	Aceleração resultante normalizada
DVR	Valor de dose de vibração resultante
Hz	Hertz
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
ISO	International Standard Organization
NBR	Norma técnica brasileira
NHO	Norma de higiene ocupacional
NM	Norma Mercosul
NR	Norma regulamentadora
SIP	Seat Index Point (ponto de referência do assento)
TEM	Ministério do Trabalho e Emprego
VCI	Vibração de Corpo Inteiro
VCM	Vibração de Mãos e Braços

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>12</b>
1.1	Justificativa .....	14
1.2	Objetivos .....	15
1.2.1	Objetivo geral .....	15
1.2.2	Objetivos específicos .....	15
<b>2</b>	<b>Revisão de literatura .....</b>	<b>16</b>
2.1	Escavadeira .....	16
2.2	Antropometria .....	20
2.3	Ergonomia .....	29
2.4	Postura do operador na posição sentada .....	34
2.5	Vibração mecânica, frequência e ressonância .....	36
2.6	Vibração mecânica de corpo inteiro e seus efeitos sobre o corpo humano .....	43
2.7	Modelo mecânico do corpo humano .....	53
2.8	Assento .....	55
2.9	Outros agentes ambientais presentes .....	60
2.9.1	Ruído .....	60
2.9.2	Calor .....	63
2.9.3	Iluminação .....	64
2.10	Antecedentes legais e técnicos .....	65
2.10.1	NR 15 – Atividades e operações insalubres .....	66
2.10.2	Norma de higiene ocupacional (NHO-09) – avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro .....	67
2.10.3	ISO 2631, 1997 .....	67
2.10.4	Antecedentes técnicos – diretiva 2002/44/CE .....	70
<b>3</b>	<b>Material e método.....</b>	<b>71</b>
3.1	Material .....	71
3.1.1	Local das avaliações .....	71
3.1.2	Atividade analisada .....	72
3.1.3	Ciclo de trabalho e ciclo de atividade .....	72
3.1.4	Instrumento utilizado .....	75
3.1.5	Detalhes do assento .....	76
3.2	Método .....	77
3.2.1	Valores de referência para exposição ocupacional a vibração – NHO 09 .....	81
3.2.2	Limites para exposição ocupacional a vibração – condição insalubre – NR 15..	81
<b>4</b>	<b>Resultado e discussões.....</b>	<b>82</b>
4.1	Característica da atividade analisada .....	82
4.2	Descrição das escavadeira e operadores .....	84
4.3	Resultado da avaliação de corpo inteiro.....	84
<b>5</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>89</b>
	<b>Referência .....</b>	<b>92</b>
	Anexo A - Certificado de calibração .....	97

# 1 Introdução

Neste capítulo é apresentado os conceitos de escavadeiras e sua utilização, os efeitos da vibração e seu nexos causal com a legislação pertinente e as normas nacionais que regulamentam a exposição ao agente vibração.

As obras de engenharia retratam as evoluções progressivas da história e o desenvolvimento das civilizações, pois o homem primitivamente só tinha as próprias mãos como instrumento de trabalho e, como fonte de energia a própria força física, e como materiais, só dispunha dos que a natureza lhe proporcionava, tais como a madeira, as pedras e o barro (GUIMARÃES, 2010).

Com a descoberta e o uso das novas fontes de energia, o homem se libertava gradualmente do uso de sua força física como única fonte de energia de que dispunha. Com o aproveitamento de melhores forças motrizes, originaram-se as máquinas e equipamentos mecânicos. Graças às grandes descobertas do século XIX e à evolução das fontes de energia, chegou-se gradativamente as atuais máquinas e equipamentos de engenharia da construção (GUIMARÃES, 2010).

Dentro das diversas máquinas modernas utilizadas na indústria da construção temos a escavadeira hidráulica, que tem a função de aterro e desaterro, conformação de taludes, carregamento de caminhões e escavações.

A escavadeira é uma máquina rodoviária auto propulsora de rodas, esteiras ou pernas, que possui uma estrutura superior normalmente capaz de executar um giro de 360° com equipamento montado, projetada principalmente para escavação com uma caçamba, sem o movimento do material rodante durante o ciclo de trabalho (NBR ISO 20474-5, 2010).

A escavadeira hidráulica apesar de toda inovação tecnológica, desde os primeiros modelos até os atuais, ainda expõe o trabalhador a riscos ocupacionais, como exemplo a vibração.

Como toda máquina mecânica, a escavadeira hidráulica produz vibração devido ao seu funcionamento e as características do trabalho que realiza. Esta vibração é transmitida ao operador de escavadeira, quer seja no assento, quer seja nos comandos ou no piso, podendo ser Vibração de Corpo Inteiro (VCI) ou Vibração de Mãos e Braços (VMB). Dependendo da intensidade e do tempo de exposição à vibração, esta poderá no futuro trazer danos à saúde do trabalhador, ocasionando doenças relacionadas ao trabalho.

A Norma Regulamentadora 09 (NR-09) – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) considera a vibração como agente físico e que deva ser identificado e controlado como medida preventiva de exposição a este risco. A portaria MTE 1.297/2014 incluiu como anexo I na NR-09 os critérios para prevenção de doenças e distúrbios decorrentes da exposição ocupacional às vibrações de corpo inteiro (VCI) e vibrações de mãos e braços (VMB).

A Portaria nº 1.339/GM, de 18 de novembro de 1999, do Ministério da Saúde, instituiu uma lista de doenças relacionada ao trabalho, onde consta a Relação de Agentes ou Fatores de Risco de Natureza Ocupacional. Esta Portaria cita a Vibração como Agentes Etiológicos ou Fatores de Risco de Natureza Ocupacional e o associa a Doenças Causalmente Relacionada com o Respectivo agente ou fatores de risco.

O artigo 20 da Lei nº 8.213/91 considera as doenças profissionais e/ou ocupacionais como acidentes de trabalho. O Anuário Estatístico da Previdência Social (AEPS) - 2013, na seção IV-Acidente de Trabalho, capítulo 31.1, mostra número de Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT) registradas de doenças do trabalho nos anos de 2011, 2012 e 2013, sendo que em 2011 teve 16.839 casos, 16.898 em 2012 e 15.226 em 2013. O AEPS-2013, na seção IV-acidentes de trabalho, nos capítulos 31.8 e 31.9, na coluna de doenças do trabalho, cita a quantidade de CAT registrada segundo os 50 códigos da Classificação Internacional de Doenças-CID mais incidentes nos anos de 2012 e 2013, porém não se faz relação àquelas

doenças relacionada a exposição à vibração que consta na Portaria nº 1.339/GM do Ministério da Saúde, citada anteriormente.

Apesar de constar em Leis, Normas e Portarias sobre as medidas preventivas e o nexo-causal em relação a exposição do trabalhador ao agente físico vibração, ainda não existem dados que retratem esta realidade em nosso País.

## **1.1 Justificativa**

A razão da escolha do tema se prende ao fato das experiências vividas cotidianamente, na prática, do exercício das atividades como engenheiro de segurança do trabalho, onde a questão da ergonomia, segurança do trabalho e saúde ocupacional é uma realidade a ser observada, controlada e administrada.

Assim sendo, e dentro desta realidade, é que o fator de riscos existentes no ambiente de trabalho requer um estudo e um planejamento cuja finalidade é identificá-los em todo o contexto onde o trabalhador está exposto durante suas atividades laborais. Neste cenário verifica-se a vulnerabilidade do sistema produtivo, desde o arranjo-físico, as características do equipamento, as condições ambientais (ambiente de trabalho) até os parâmetros de operacionais em que o trabalhador é orientado para exercer as tarefas.

Desta forma o estudo se justifica para retratar a o agente físico vibração como fator ergonômico e de segurança e saúde ocupacional existente na atividade do operador de escavadeira.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Este trabalho teve como objetivo mensurar a intensidade de vibração no assento em três fabricantes de escavadeira hidráulica de esteiras, *CATERPILLAR 320D*, *CASE CX220B* e *KOMATSU PC200*, com foco na ergonomia, saúde e segurança do trabalho.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- a) mensurar a vibração do assento do posto de trabalho do operador de máquinas;
- b) identificar o eixo de maior índice;
- c) comparar com as recomendações oficiais brasileiras;
- d) fazer recomendações que contribuam para a melhoria da qualidade de vida no trabalho.

## **2 Revisão de literatura**

Neste capítulo é apresentado uma revisão de literatura sobre os tipos e classificação técnica e comercial das escavadeiras hidráulicas, antropometria e a classificação dos operadores pelos padrões altura e peso, ergonomia e sua aplicabilidade, a postura do trabalho sentado e seus custos humanos, vibração mecânica e sua relação com o corpo humano, vibração de corpo inteiro e seus efeitos sobre a saúde, o corpo humano como modelo massa-mola mostrando as frequências de partes do corpo, o assento e sua especificação técnica para conforto e segurança, os agentes ambientais presentes na rotina do operador, e os antecedentes legais que embasam os critérios de avaliação de vibração no corpo inteiro.

### **2.1 Escavadeira hidráulica**

Máquinas de Escavação ou escavadeira, é uma máquina rodoviária para construção, desenhada para escavação e movimentação de materiais tais como terra, carvão, areia, pedra etc.

Segundo Guimarães (2010), as escavadeiras hidráulicas também são denominadas de escavocarregadoras, caracterizando-se por procederem à escavação de materiais e a sua respectiva descarga nas unidades de transporte sem se deslocarem sobre o terreno, executando todas operações estacionadas.

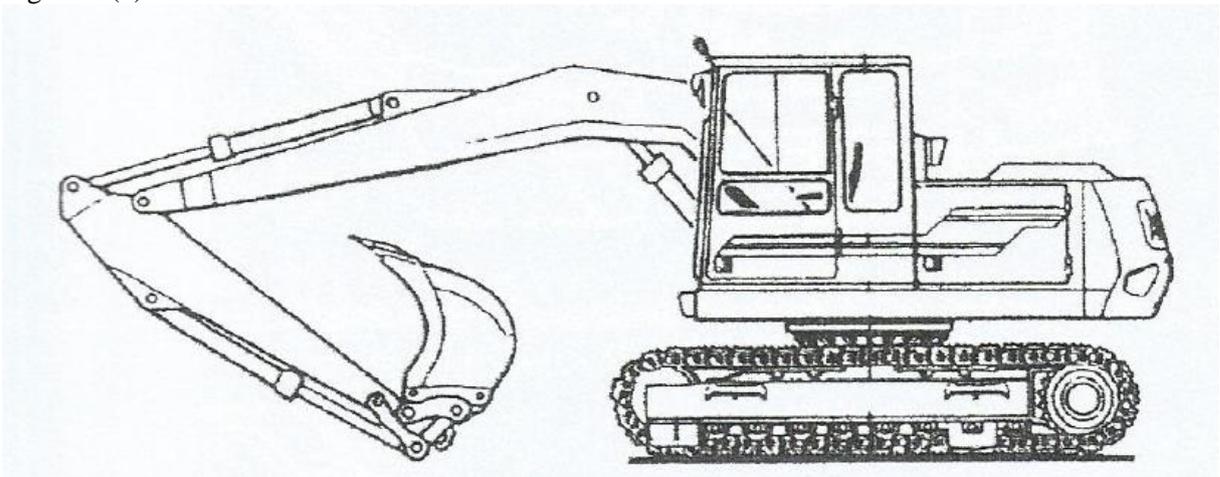
Durante a atividade, a escavadeira permanece parada, sobre uma superfície plana, o solo. As características do solo é fator importantíssimo para a estabilidade da mesma, não devendo ficar próximo a taludes ou áreas propensas deslizamento do solo, e dependendo do peso da escavadeira, da característica do trabalho e do solo, deverá ser feito um estudo técnico para garantir a boa resistência do solo.

A escavadeira possui duas partes principais, composta pela a infraestrutura rodante e a superestrutura giratória. A infraestrutura rodante pode ser sobre esteira, sobre rodas ou sobre patins. A superestrutura giratória, capaz de fazer um giro de 360°, é a parte superior que se apoia na infraestrutura rodante sobre a qual ela gira. Esta é constituída por uma plataforma coberta por uma cabine metálica, no interior da qual estão situados o motor diesel, compartimento do operador e a lança (GUIMARÃES, 2010).

A escavadeira é uma máquina rodoviária auto propulsora, podendo ser sobre esteiras, figura 1 (2), rodas, figura 3 (2) ou pernas, figura 5 (2), possuindo uma estrutura superior normalmente capaz de executar um giro de 360° com equipamento montado, projetada principalmente para escavação com uma caçamba, sem o movimento do material rodante durante o ciclo de trabalho (NBR ISO 20474-5, 2010).

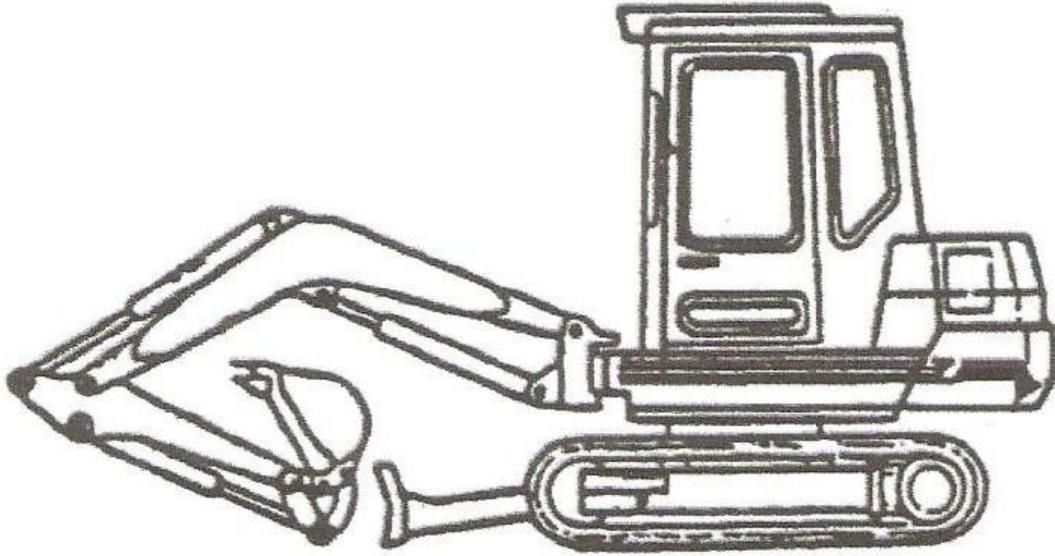
Existem também as escavadeiras compactas, podendo ser sobre esteiras, figura 2 (2) ou sobre rodas, figura 4 (2), caracterizado com massa de operação igual ou menor que 6.000 kg (NBR ISO 20474-5, 2010).

Figura 1 (2) – Escavadeira de esteira.



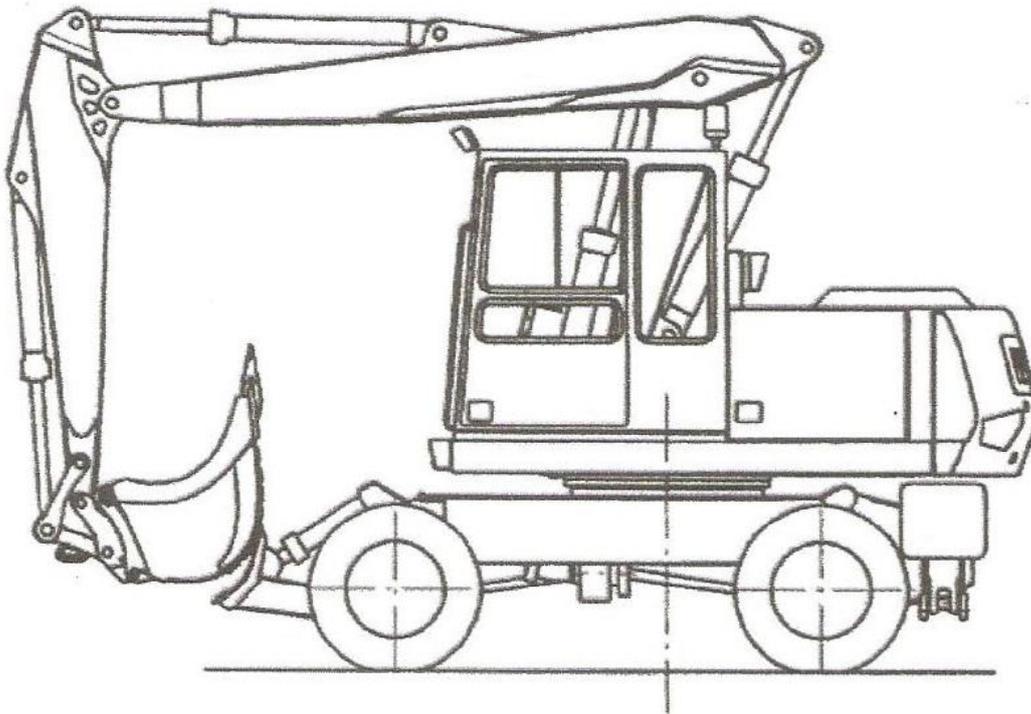
Fonte: NBR ISO 20474-5, 2010.

Figura 2 (2) – Escavadeira compacta de esteira.



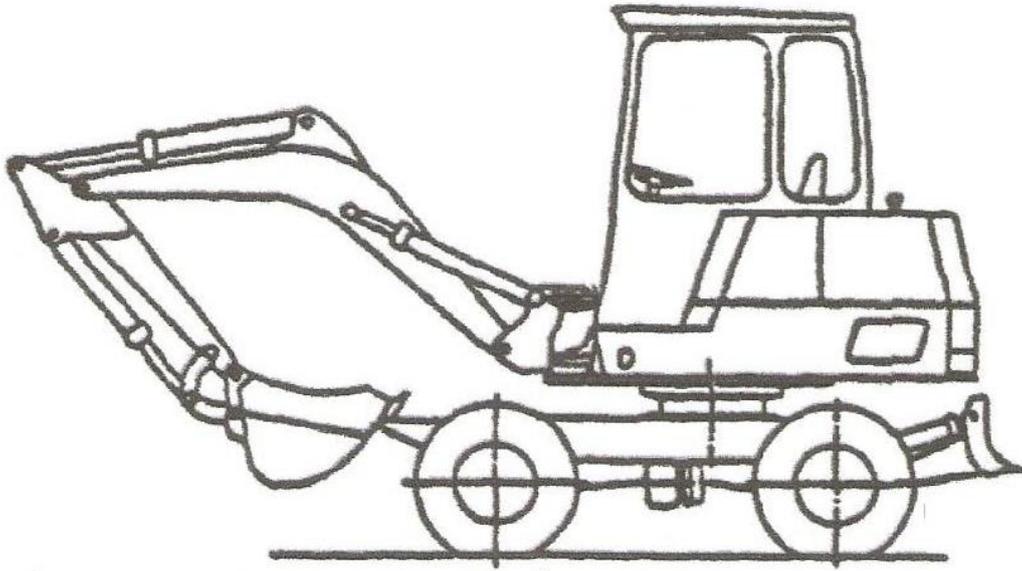
Fonte: NBR ISO 20474-5, 2010.

Figura 3 (2) – Escavadeira de rodas.



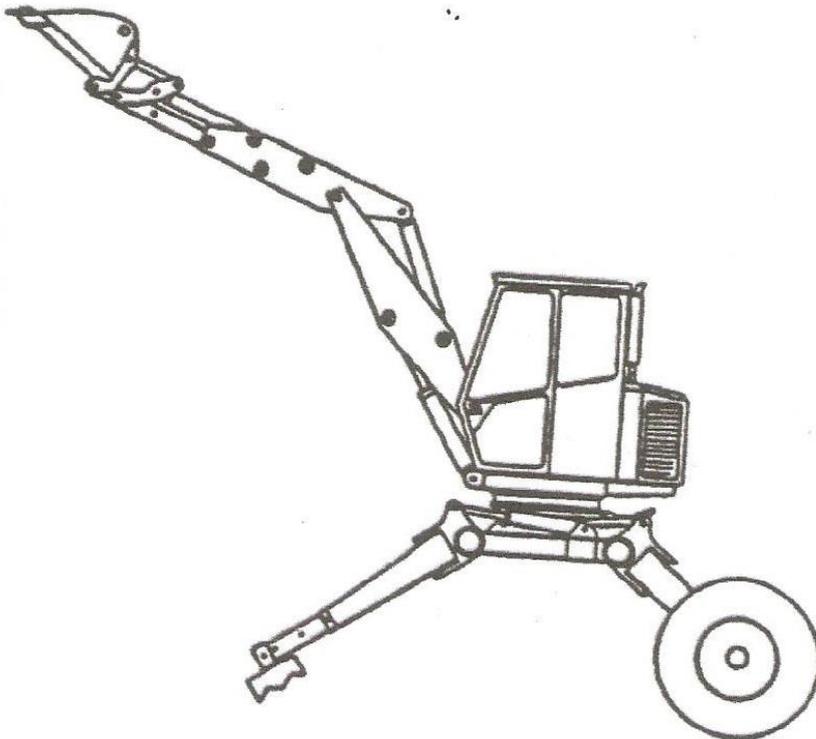
Fonte: NBR ISO 20474-5, 2010.

Figura 4 (2) – Escavadeira compacta de rodas.



Fonte: NBR ISO 20474-5, 2010.

Figura 5 (2) – Escavadeira com pernas.



Fonte: NBR ISO 20474-5, 2010.

Entende-se como ciclo de trabalho realizado por uma escavadeira, a escavação, elevação, giro e descarregamento de materiais. Também pode ser utilizada para manuseio/transporte de materiais ou objetos (NBR NM-ISO 6165, 2008).

Segundo a Associação Brasileira de Tecnologia para Construção e Mineração (2014), as escavadeiras são classificadas comercialmente em duas categorias: as escavadeiras hidráulicas com mais de 12 toneladas de peso operacional e as mini-escavadeiras com menos de 12 toneladas de peso operacional. Nos últimos três anos, de acordo com a última edição do Estudo Sobratema do Mercado Brasileiro de Equipamentos para Construção, lançado em novembro/2014, foram comercializadas no Brasil as quantidades abaixo:

Quadro 1 (2) – Unidades comercializadas no Brasil, incluindo importações.

Unidades comercializadas no Brasil	2012	2013	2014*
Escavadeira hidráulica (>12 ton)	5.850	5.350	5.580
Mini escavadeira (<12 ton)	950	915	970

Fonte: Associação Brasileira de Tecnologia para Construção e Mineração, 2014.

## 2.2 Antropometria

A palavra antropometria deriva do grego *antropos*, significando “humano” e *metrikos*, que significa “medida de”. As medidas do corpo humano podem ser importantes para diversas aplicações como desenho do produto, máquinas, equipamentos e postos de trabalho (SOARES, 2013).

Segundo Guimarães (2004), todas as populações são compostas de indivíduos de diferentes tipos físicos que apresentam diferenças nas proporções de cada segmento do corpo. Assim a antropometria trata das medidas físicas corporais, em termos de tamanho e proporções, que são dados de base para a concepção ergonômica de produtos, quer como bens de consumo ou capital. Medidas antropométricas permitem verificar o grau de adequação de

produtos em geral, instrumentos, equipamentos, máquinas, em fim, de posto de trabalho ao ser humano.

Ao longo da história da humanidade, as proporções do corpo humano foram estudadas por filósofos, teóricos, artistas e arquitetos. A antropometria física que deu origem a Antropometria, iniciou-se com as viagens de Marco Polo (1273-1295) que revelaram a existência de um grande número de raças que diferiam, inclusive, em termos de dimensões do corpo (GUIMARÃES, 2004).

A antropometria é a ciência que estuda as medidas físicas do corpo humano e a aplicação de força. Uma das aplicações das medidas antropométricas na ergonomia é o dimensionamento do espaço de trabalho no sentido de se manter uma boa postura (WOODSON; CONOVER, 1964 apud FONTANA, 2005)

No entanto, as tarefas desenvolvidas dependem de atributos físicos que não mudaram significativamente nestes anos. Independente de estarmos executando atividades de trabalho ou lazer, é importante que os produtos, máquinas e equipamentos sejam projetados para adequar o tamanho, forma e habilidade das pessoas que os usam (SOARES, 2013).

Os dados antropométricos definem as medições de tamanho, peso e proporção do corpo humano aplicáveis a um correto dimensionamento de projeto de produtos, equipamentos e postos de trabalho (SOARES, 2013).

O uso correto das medidas antropométrica permite identificar o nível de adequação de produtos, instrumentos, equipamentos, máquinas e postos de trabalho aos usuários diretos, eventuais ou não, e aos indiretos.

Mais recentemente, a antropometria se tornou útil na adequação de ambientes industriais e é identificada com o desenvolvimento dos requisitos de *design* e avaliação de veículos modernos, locais de trabalho, equipamentos e peças do vestuário.

As aplicações para a antropometria podem ser encontradas em quase todas as áreas do *design*. Observando-se os mobiliários, de cadeiras e armários, pode-se constatar que eles desempenharão melhor os seus propósitos se estiverem adequados aos requisitos dimensionais de seus usuários (SOARES, 2013).

Tanto os produtos de consumo, variando de equipamentos para cozinhar até computadores, quanto os produtos industriais serão usados de maneira mais fácil, eficiente e segura se os fatores antropométricos forem considerados no seu *design*. As dimensões humanas também são igualmente importantes no *design* de ambientes nos quais objetos, máquina e equipamentos são utilizados – de cozinha, escritório e chão da fábrica, até submarinos e veículos espaciais.

Os dados fornecidos pela antropometria no projeto de produtos, máquina e equipamentos incluem as diversas variedades de tamanhos, proporções, mobilidade, força e outros fatores que definem fisicamente os seres humanos. Sendo assim, a antropometria auxilia, entre outros, na:

- a) Conformação de pegas, botões e manípulos;
- b) Avaliação de posturas e distâncias para atingir controles;
- c) Especificação de espaços que separam o corpo do equipamento ao redor;
- d) Identificação de objetos ou elementos que obstruem o movimento.

É importante considerar que a antropometria deve ser utilizada em conjunto com a biomecânica em diversas situações, como na análise de forças e torques durante a condução manual de materiais, adequação de operadores a veículos, conforto e desempenho humano em geral (SOARES, 2013).

Os seres humanos apresentam características físicas diversas, dependente do país de origem, sexo, idade, classe social, raça e etnia, dieta e saúde, atividades físicas etc. Estudos estatísticos comprovam que, sob o ponto de vista da antropometria, as diferenças mais

importantes entre os grupos populacionais não são o tamanho dos membros em si, mas a proporção entre as diferentes partes do corpo. De acordo com Guimarães (2000), existem diferenças raciais entre a proporção dos membros inferiores e o tronco: no caso dos americanos e a maioria dos europeus, o comprimento da perna é 48% da estatura. Já para os coreanos e japoneses, afirma a autora, o comprimento da perna é 46% da estatura. Comparando com os brancos, os negros americanos têm pernas mais longas em relação ao seu tronco, conclui Soares (2013).

Segundo Roberts (1975) apud Guimarães (2004), as variações do corpo ocorreram para adaptação climática. Os povos de clima quente tendem a ter tronco fino e membros superiores e inferiores mais longo facilitando a troca de calor com o ambiente. Já os povos que habitam climas mais frios têm tronco volumoso e arredondado e membros superiores e inferiores mais curtos para facilitar a conservação de calor.

A grande variabilidade das medidas corporais entre os indivíduos apresenta um desafio para o *designer* de equipamentos e postos de trabalho. Não se pode aceitar, como regra, o projeto de uma estação de trabalho para atender o fantasma da “pessoa média”. Geralmente, é preciso considerar as pessoas mais altas, por exemplo, para determinar o espaço necessário para acomodar as pernas sob a mesa ou as pessoas mais baixas, por exemplo, para ter certeza de que elas alcançarão uma dada altura (KROEMER; GRANDJEAN, 2005).

Como geralmente não é possível projetar o espaço de trabalho para atender às pessoas de dimensões extremas, muito grandes ou muito pequenas, temos que nos contentar em satisfazer às necessidades da maioria, tomando como base as medidas que são representativas da grande maioria da população (KROEMER; GRANDJEAN, 2005).

O problema mais prático com o qual a Antropometria se defronta está relacionado às diferentes dimensões das pessoas, de tal forma que uma altura boa para uma pessoa não é

necessariamente boa para outra. A solução comumente encontrada está na flexibilidade, mas como essa, muitas vezes custa muito caro se depender de mecanismos de ajustes. A solução mais prática e menos dispendiosa está no estabelecimento de padrões, de porcentagens e de saber usá-los adequadamente no planejamento do trabalho (LUGLI, 2010).

Segundo Lugli (2010), o conhecimento dessas medidas e como saber usá-las é muito importante na determinação dos diversos aspectos relacionados ao posto de trabalho, no sentido de se manter uma boa postura, e também de produtos e equipamentos destinados ao uso humano etc. Por falta de consideração antropométrica, uma série de problemas pode ocorrer para o trabalhador:

- a) pode haver esforço excessivo para alcançar controles ou peças;
- b) pode haver dor lombar pelo fato de as costas terem que se encurvar para buscar peças distantes; nessa situação, também pode haver dor um pouco mais acima (denominada dorsalgia);
- c) pessoas altas podem bater a cabeça ou, o que é mais comum, terão que se encurvar e sentirão dor nas costas;
- d) pessoas de compleição física maior em geral terão dificuldade em executar alguns trabalhos em locais apertados;
- e) se as mãos do trabalhador forem muito pequenas, ele poderá ter dificuldade para conseguir segurar com firmeza cabos de ferramentas grandes ou mesmo recipientes grandes; se forem muito grandes pode haver dificuldade de firmar objetos;
- f) se a pessoa for baixa, pode ter dificuldade para ver acima da carga que está carregando em uma empilhadeira ou carrinho de mão; ou pode ter dificuldade de fazer leitura em mostradores ou operar painéis de controle;
- g) ainda, pessoas baixas terão dificuldade para manusear ferramentas nos postos de trabalho, pois muitas vezes terão que elevar os ombros em posição desconfortável.

A maiores diferenças nas dimensões corporais ocorrem em função da diversidade étnica, do sexo e da idade. Como regra geral, as mulheres são menores que os homens, exceto com relação as dimensões dos quadris. Com a idade, muitos adultos diminuem, mas se tornam mais pesados. A não ser quando projetado para um indivíduo em particular, os postos de trabalho devem se adequar à maioria dos usuários, mulheres e homens, entre 20 e 65 anos de idade (KROEMER; GRANDJEAN, 2005).

Segundo Iida (2011), a estatura atinge o ponto máximo em torno dos 20 anos de idade e permanece praticamente inalterada dos 20 aos 50 anos de idade. Entretanto, a partir dos 50 a 60 anos de idade todas as dimensões lineares começam a decair.

O bem-estar das pessoas é fortemente dependente de suas relações geométricas (dimensionais) com vários fatores, tais como: vestuário, locais de trabalho, transporte, residências e atividades recreativas. Para garantir a harmonia entre as pessoas e seus ambientes, é necessário quantificar o tamanho e a forma das pessoas para a otimização do projeto tecnológico do local de trabalho e do ambiente doméstico (NBR ISO 7250-1:2010).

A NBR ISO 7250-1, 2010 cita os pontos de medidas antropométricas básicas, que abaixo estão citados alguns exemplos:

- a) medidas realizadas na postura de pé: ex. massa corporal, estatura, altura dos olhos, altura dos ombros;
- b) medidas realizadas na postura sentada: ex. altura sentada, altura da cervical, altura do ombro, altura do cotovelo, comprimento ombro-cotovelo, distancia cotovelo-punho, largura do ombro, largura do quadril, comprimento da perna, altura das coxas, altura do joelho;
- c) medidas de segmentos corporais específicos: ex. comprimento da mão, comprimento do pé, largura da cabeça, circunferência da cabeça;

d) medidas funcionais: ex. alcance frontal com apreensão, comprimento do antebraço à ponta dos dedos.

Para Soares (2013), não existe uma coisa conhecida como “homem médio” ou “mulher média”. Existem homens que estão na média em relação ao peso ou estatura, mas somente 4% da população corresponde à média em relação a três dimensões, e apenas 1% da população estará na média ao considerarmos 4 dimensões. A fração torna-se insignificativamente pequena à medida em que se aumenta o número de dimensões incluídas.

Não existe nenhum homem que tenha 10 dimensões médias. Assim, o conceito de homem médio é fundamentalmente incorreto, porque tal criatura não existe. Temos, portanto, de considerar que ninguém é médio em relação a todas as dimensões, e poucas pessoas o são para algumas.

Existem certos tipos de equipamentos e produtos em que se trabalha com o valor médio. O percentil 50%, por sua vez, representa bastante aproximadamente o valor médio de uma dimensão para um certo grupo, mas em nenhuma circunstância deve ser mal interpretado, afirmando-se que este valor corresponde à dimensão corporal indicada do homem médio.

Por outro lado, deve-se ter em mente que ao trabalhar com o valor médio, isto não significa satisfazer a todas as pessoas, mas que, coletivamente, causará menos inconvenientes e dificuldades que os que ocorreriam caso se trabalhasse com o percentil maior ou menor.

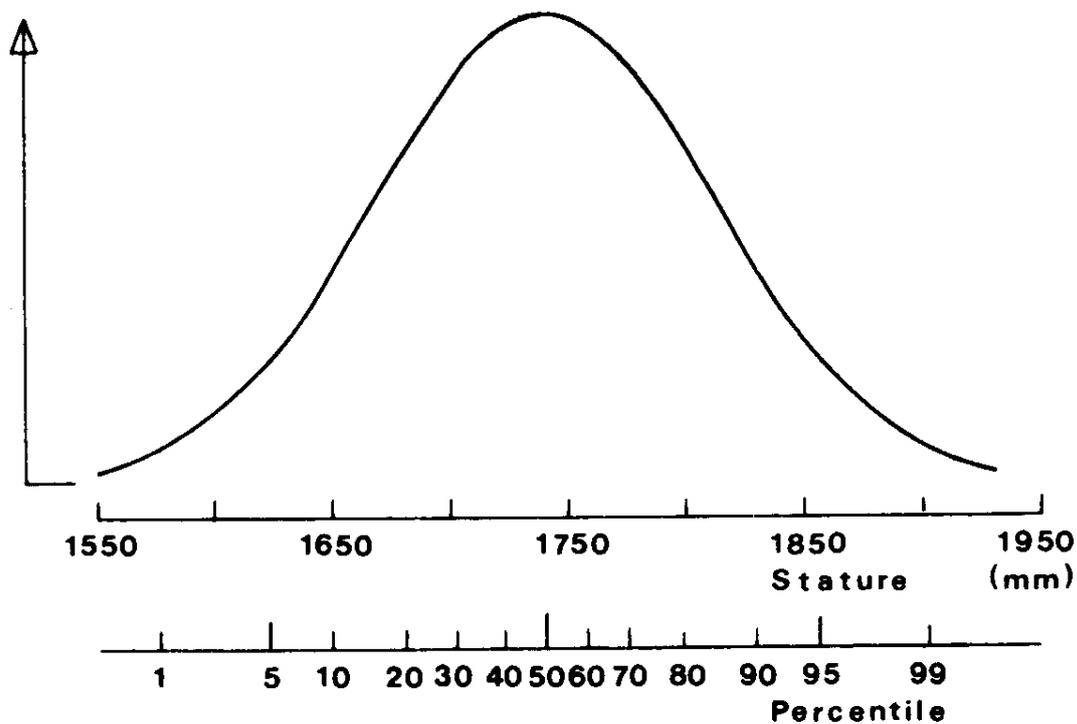
Estatisticamente, as medidas do corpo humano de qualquer população dada, distribuem-se em algum lugar pelo meio da curva de distribuição, enquanto um pequeno número de medidas extremas distribuem-se em uma das extremidades do espectro.

Um projeto que atenda a faixa de usuários que compreenda todo o espectro – 100% - da população apresenta-se como técnica e economicamente inviável. Por conta disto, num projeto objetivasse, em princípio, a adaptação às características dimensionais de no mínimo 90% dos usuários, ou seja, as pessoas cujas dimensões variam entre os percentis 5% e 95%.

Por conta da pequena probabilidade de incidência, os dois extremos da população são desconsiderados. Para isto, a maioria dos dados antropométricos é, em geral, apresentada sob forma de percentis. A população é dividida em 100 categorias percentuais, a partir da menor para a maior, em relação a algum tipo específico de dimensão corporal.

A figura abaixo, figura 6 (2), mostra exemplo de uma distribuição de certa população considerando a altura e frequência.

Figura 6 (2) - Exemplo de uma distribuição de certa população considerando a altura e frequência.



Fonte: Soares (2013)

Uma medida do 5ºil significa dizer que 5% das pessoas medidas têm dimensões inferiores a este padrão, e que 95% possuem dimensões superiores a este padrão de 5%. Uma medida do 95ºil significa dizer que 95% das pessoas medidas possuem dimensões inferiores a este padrão, e que apenas 5% têm dimensões superiores aos 95%.

[i] Um percentil é um ponto de uma escala de porcentagem cumulativa para uma população especificada.

- A estatura que corresponde ao valor do 95ºil de um grupo particular (população ou amostra) pode ser maior ou menor que a estatura correspondente ao valor do 95ºil de outro grupo particular.

[ii] Percentis antropométricos em indivíduos reais referem-se a uma, e somente uma, dimensão do corpo.

- O valor do 95ºil da altura, não nos permite concluir que este indivíduo terá os valores do 95ºil de altura do cotovelo, de altura de joelho, profundidade do tronco ou circunferência da cabeça.

[iii] Um percentil é uma escala ordinal

- Ela mostra a ordem de uma graduação numa escala, mas por si mesma esta escala não dá nenhuma informação sobre os intervalos entre os pontos de graduação. Assim, em relação a algumas dimensões quaisquer, o intervalo entre 70 e 75ºil pode ser somente 0.5 cm, enquanto o intervalo entre 95 e o 99ºil pode ser 5 cm.
- Vale esta observação como advertência para evitar que ao se conhecer a diferença entre os percentis 90º e 95º use-se este valor, dividido por dois, para obter o do 92,5ºil.

[iv] Os valores de graduações de percentis conhecidos, não devem ser usados para inferir valores de variáveis cujos valores não são conhecidos

- A soma ou subtração de valores de partes do corpo para inferir o valor de um segmento maior ou menor, conduz a resultados espúrios.

As tabelas antropométricas apresentam as dimensões do corpo, pesos e alcances dos movimentos e referem-se sempre a uma determinada população e nem sempre podem servir de referência para outras populações.

As três colunas da tabela antropométrica têm o seguinte significado:

- a) baixos: significa que existem 5% da população adulta abaixo disso;

- b) médios: média de todos os homens e mulheres adultos;
- c) Altos: significa que existem 5% da população acima destes valores ou que 95% dessa população está abaixo.

A falta de adequação entre produto e usuário favorece a ocorrência de acidentes de trabalho, bem como danos à saúde, decorrentes de posturas impróprias. (SOARES, 2013)

As dimensões físicas dos operadores de máquinas rodoviárias estão classificadas em operador pequeno, médio e grande. A estatura de 1.550mm, 1.730mm e 1.905mm respectivamente e com peso 51,9kg, 74,4kg e 114,1kg respectivamente também. (NBR ISO 3411, 2008).

## 2.3 Ergonomia

Em geral, ainda existe um pouco de desconhecimento sobre ergonomia, por exemplo, o que é e quais são suas aplicações e objetivos. Também ainda existe o pensamento de que Ergonomia se resume apenas em “trocar” mobiliário, ou seja, substituição de mesas e cadeiras por outras que sejam “ergonômicas”.

O termo ergonomia é derivado das palavras gregas *ergon* (trabalho) e *nomos* (regras). Na Grécia antiga o trabalho tinha um duplo sentido: *ponos* que designava o trabalho escravo de sofrimento e sem nenhuma criatividade e, *ergon* que designava o trabalho da arte de criação, satisfação e motivação.

Segundo Santos e Fialho (1997) apud Fontana (2005), o termo ergonomia foi definido primordialmente como estudo das leis do trabalho. Esta ciência surgiu na Inglaterra logo após a Segunda Guerra Mundial.

A ergonomia aplicada ao trabalho teve maior respaldo com o início da corrida espacial a partir de 1950, principalmente pela influência estadunidense. Entre os anos de 1920 e 1950, o princípio máximo regido sobre o trabalho nos EUA era a necessidade de adaptação do

homem ao trabalho, ou seja, a prioridade era construir a máquina e o posto de trabalho e depois encontrar o ser humano ideal para tal situação. Após esse período, o mesmo princípio foi alterado, passando a considerar a adaptação do trabalho ao homem, que perdura até tempos atuais (COUTO, 1995 apud FONTANA, 2005).

Para Laville (1977), a ergonomia é definida como sendo conjunto de conhecimentos científicos relativos ao homem e necessário à concepção de instrumentos, máquinas e dispositivos que possam ser utilizados com o máximo de conforto, segurança e eficiência.

Existem diversas definições de ergonomia, ressaltando o caráter interdisciplinar e o objeto de seu estudo, que é a interação entre o homem e o trabalho, no sistema homem-máquina-ambiente. Ou mais precisamente, as interfaces desse sistema, onde ocorrem trocas de informações e energias entre o homem, máquina e o ambiente, resultando na realização do trabalho. (IIDA, 2011).

A *Ergonomics Research Society* ([www.ergonomics.org.uk](http://www.ergonomics.org.uk)), da Inglaterra, definiu Ergonomia como o estudo do relacionamento entre o homem e o seu trabalho, equipamento e ambiente, e particularmente a aplicação dos conhecimentos de anatomia, fisiologia e psicologia na solução dos problemas surgidos desse relacionamento.

No Brasil a Associação Brasileira de Ergonomia ([www.abergo.com.br](http://www.abergo.com.br)) define Ergonomia como sendo o estudo das interações das pessoas com a tecnologia, a organização e o ambiente, objetivando intervenções e projetos que visem melhorar, de forma integrada e não dissociada, a segurança, o conforto, o bem-estar e a eficácia das atividades humanas.

No âmbito internacional, a *International Ergonomics Association* (IEA) conceituou a Ergonomia (ou *human factors*) como uma disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas, e à aplicação de teorias, princípios, dados e métodos a projetos a fim de otimizar o bem-estar humano e o desempenho global do sistema. Os ergonomistas contribuem para o planejamento, projeto e a avaliação de

tarefas, postos de trabalho, produtos, ambientes e sistemas de modo a torná-los compatíveis com as necessidades, habilidades e limitações das pessoas.

Segundo Falzon (2007), a Associação Internacional de Ergonomia-IEA a caracterizou como uma disciplina científica que visa otimizar o bem-estar das pessoas e desempenho global dos sistemas.

Para Iida (2011), Ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho ao homem. O trabalho abrangendo não somente aqueles executados com máquinas e equipamentos, utilizados para transformar os materiais, mas também toda a situação em que ocorre o relacionamento entre o homem e uma atividade produtiva. Envolvendo não apenas o ambiente físico, mas também os aspectos organizacionais.

Devemos levar em conta que o conforto do trabalhador é essencial para que tenha uma boa relação com o trabalho.

Ainda segundo Iida (2011) de uma maneira geral, os domínios de especialização da ergonomia são:

- a) Ergonomia física - está relacionada com as características da anatomia humana, antropometria, fisiologia e biomecânica em sua relação a atividade física. Os tópicos relevantes incluem o estudo da postura no trabalho, manuseio de materiais, movimentos repetitivos, distúrbios músculo-esqueléticos relacionados ao trabalho, projeto de posto de trabalho, segurança e saúde;
- b) Ergonomia cognitiva - refere-se aos processos mentais, tais como percepção, memória, raciocínio e resposta motora conforme afetem as interações entre seres humanos e outros elementos de um sistema. Os tópicos relevantes incluem o estudo da carga mental de trabalho, tomada de decisão, desempenho especializado, interação homem computador, stress e treinamento conforme esses se relacionem a projetos envolvendo seres humanos e sistemas;

- c) Ergonomia organizacional - concerne à otimização dos sistemas sócio técnicos, incluindo suas estruturas organizacionais, políticas e de processos. Os tópicos relevantes incluem comunicações, gerenciamento de recursos de tripulações (CRM - domínio aeronáutico), projeto de trabalho, organização temporal do trabalho, trabalho em grupo, projeto participativo, novos paradigmas do trabalho, trabalho cooperativo, cultura organizacional, organizações em rede, tele-trabalho e gestão da qualidade.

Com o objetivo de englobar estes aspectos e explicitar o campo de atuação da Ergonomia, assim como seus objetivos, foi proposto por Moraes e Soares (1989) a seguinte definição: “Conceitua-se a Ergonomia como tecnologia projetual das comunicações entre homens e máquinas, trabalho e ambiente.” (MORAES, 2009).

A Ergonomia estuda vários aspectos: a postura e os movimentos corporais (sentado, em pé, empurrando, puxando e levantando cargas), fatores ambientais (ruídos, vibrações, iluminação, clima, agentes químicos), informação (informações captadas pela visão, audição e outros sentidos), relações entre mostradores e controles, bem como cargos e tarefas (tarefas adequadas, interessantes).

A conjugação adequada desses fatores permite projetar ambientes seguros, saudáveis, confortáveis e eficientes, tanto no trabalho quanto na vida cotidiana. (DUL e WEERDMEESTER, 2012).

Segundo Falzon (2007) apud Baumhardt (2012), a ergonomia segue dois princípios. O primeiro está centrado nas organizações e no seu desempenho, considerando eficiência, produtividade, confiabilidade, qualidade, durabilidade entre outros. O segundo, nas pessoas, focalizado na segurança, saúde, conforto, satisfação, prazer, entre outros aspectos relacionados.

Segundo Yamashita (2002), a preocupação com aspectos de segurança e ergonomia na maquinaria agrícola passou a ser maior por volta dos anos 80, quando se começaram as

avaliações através de ensaios realizados por institutos de pesquisa. Alguns modelos de tratores agrícolas passaram, então, a incorporar as recomendações sugeridas nos relatórios de avaliação, como proteção para a tomada de potência, para o eixo cardam, melhoria da visibilidade, entre outros.

O conhecimento do sistema homem-máquina para aplicação dos princípios ergonômicos é de fundamental importância, pois é objeto da ergonomia a preservação da integridade física, mental e social do ser humano. Um indivíduo ao operar uma máquina deve transformar as informações recebidas em ações de comando, sem prejudicar a sua saúde e segurança. Como o fator humano é o principal componente que determina a produtividade, bem como o sucesso ou o fracasso de um sistema de trabalho, é necessário, portanto, adaptar a máquina de forma mais adequada possível às características humanas, para a redução do erro, do cansaço e da ocorrência do acidente de trabalho, Minette apud Yamashita (2002).

Um sistema humano-máquina significa que o ser humano e a máquina mantêm uma relação recíproca, com um ciclo fechado no qual o ser humano tem a posição chave, já que é ele quem toma as decisões. As vias de informações são fornecidas através de mostrador que veicula informação sobre o processo da produção; o operador percebe essa informação e precisa entendê-la e acessá-la corretamente. Com base na sua interpretação e no conhecimento prévio adquirido, o ser humano toma a decisão, tendo como próximo passo comunicar a decisão à máquina por meio de controles, e então esta processa o que foi programado (GRANDJEAN e KROEMER, 2005).

Para a realização dos seus objetivos a ergonomia estuda uma diversidade de fatores que são: o homem e suas características físicas, fisiológicas e psicológicas; a máquina que se constitui de todas as ferramentas, mobiliário, equipamento e instalações; o ambiente que contempla a temperatura, ruídos, vibrações, luz, cores etc.; a informação que se refere ao sistema de transmissão das informações; a organização que constitui todos os elementos

citados no sistema produtivo considerando horários, turnos e equipes; e as consequências do trabalho onde entram as questões relacionadas com os erros e acidentes além da fadiga e o estresse.(IIDA, 2001 apud FONTANA, 2005).

No Brasil temos a Norma Regulamentadora 17 - Ergonomia, ou NR-17, publicado pelo D.O.U. através da Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 06/07/78, e que no item 17.1 da referida Norma diz que “visa a estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente”. (Portaria MTPS n. 3.751, de 23 de nov. de 1990).

## **2.4 Postura do operador na posição sentada**

Para realizar uma postura ou um movimento, são acionados diversos músculos, ligamentos e articulações do corpo. Os músculos fornecem a força necessária para o corpo adotar uma postura ou realizar um movimento. Os ligamentos desempenham uma função auxiliar, enquanto as articulações permitem um deslocamento de partes do corpo em relação às outras. Posturas e movimentos inadequados produzem tensões mecânicas nos músculos, ligamentos e articulações, resultando em dores no pescoço, costas, ombros, punhos e outras partes do sistema músculo-esquelético. (DUL e WEERDMEESTER, 2012).

Alguns movimentos, além de produzirem tensões mecânicas nos músculos e articulações, apresentam um gasto energético que exige muito dos músculos, coração e pulmão.

Muitos produtos e postos de trabalhos inadequados provocam estresses musculares, dores e fadiga que, às vezes, podem ser resolvida com providencias simples como aumento ou redução da altura de mesa ou cadeira, melhoria do *layout* ou concessão de pausa no trabalho, conclui Iida (2011).

Durante a atividade laboral diária, o trabalhador assume diversas posições, posturas, diferentes e muitas vezes é involuntário. Isso deve-se a necessidade do corpo “procurar” uma postura confortável.

A postura é frequentemente, determinada pela natureza da tarefa ou do posto de trabalho. As posturas prolongadas podem prejudicar os músculos e as articulações. (DUL e WEERDMEESTER, 2012)

A postura sentada faz parte do cotidiano das pessoas, mas deve ser analisada as vantagens e desvantagens causadas ao profissional que trabalha sentado por um longo período nesta postura.

As vantagens da posição sentada são: baixa solicitação da musculatura dos membros inferiores, reduzindo, assim, a sensação de desconforto e cansaço; possibilidade de evitar posições forçadas do corpo; menor consumo de energia do corpo; facilitação da circulação sanguínea pelos membros inferiores. As desvantagens segundo o autor são: pequena atividade física geral (sedentarismo); adoção de posturas desfavoráveis: lordose ou cifoses excessivas; estase sanguínea nos membros inferiores, situação agravada quando há compressão da face posterior das coxas ou da panturrilha contra a cadeira, se esta estiver mal posicionada. (SALIBA, 2004)

A posição sentada exige atividade muscular do dorso e do ventre para manter esta posição. Praticamente todo o peso do corpo é suportado pela pele que cobre o osso ísquio nas nádegas. O consumo de energia é de 3 a 10% maior em relação a posição horizontal. A postura ligeiramente inclinada para frente é mais natural e menos fatigante do que a ereta. O assento deve permitir mudanças frequentes de posturas para retardar o aparecimento da fadiga. (IIDA, 2011).

Dor, fadiga e distúrbios do sistema musculoesquelético podem ser resultado da manutenção de postura de trabalho inadequadas, que podem ser causadas por situações de

trabalho precárias. Fadiga e dor musculoesquelética podem influenciar o controle postural, o que pode aumentar o risco de erros e pode resultar na redução da qualidade do trabalho ou da produção, e em situações perigosas (NBR ISO 11226, 2013).

Segundo Sell (apud FRANCHINI, 2007), relata que em uma jornada de trabalho de oito horas para as pessoas que trabalham sentadas não há cadeiras ou poltronas que possam ser de uso contínuo, e recomenda para os que trabalham sentados que a cada duas horas levantassem e andassem por quinze minutos, e que desta forma há possibilidade da diminuição da pressão sobre os discos e músculos que sustentam a posição sentada, e que na medida que possam relaxar, e as pressões sobre as coxas deixem de existir, e assim com o movimento das pernas ajude a intensificar a circulação sanguínea.

## **2.5 Vibração mecânica, frequência e ressonância**

As vibrações de natureza mecânica são fenômenos importantes do mundo físico, e suas manifestações ocorrem com frequência, e muitas vezes liberando grandes quantidades de energia, como os tremores de terra. É no cotidiano do mundo moderno que deparamos frequentemente com vários fenômenos físicos associados a vibrações mecânicas e suas manifestações. No uso do barbeador elétrico, do aspirador de pó, da furadeira elétrica, são alguns exemplos que se percebe a sensação induzida pelo movimento mecânico de alta frequência e de pequena amplitude de deslocamento, que em geral é desagradável, associado ao ruído sonoro e que conduz a fadiga física após certo tempo de exposição. No automóvel e demais veículos de transporte urbano sentimos o efeito dos movimentos e acelerações induzido em nosso corpo. (SOTELO JR, 2006).

Segundo Ximenes (2006), as vibrações mecânicas podem ser originadas por diversos fatores, dentre eles destacamos as condições operacionais (máquinas e equipamentos), a natureza (excitação eólica, ondas, abalos sísmicos, etc.) e excitadores de vibrações.

A norma ISO 5805 (1997) destaca algumas definições importantes usadas em vibrações que são descritas a seguir:

- a) um objeto vibrante move-se de um lado para o outro da sua posição de equilíbrio normal. Um ciclo completo de vibração ocorre quando o objeto desloca-se de um extremo para o outro, retornando para a sua posição normal, portanto, o número de ciclos que um objeto vibrando completa por unidades de tempo é chamado frequência. A unidade de frequência é hertz (Hz) e um hertz equivale a um ciclo por segundo;
- b) um objeto vibrando move-se a uma distância máxima em relação a sua posição de equilíbrio. A amplitude de deslocamento é a distância extrema em relação a posição de equilíbrio em qualquer dos lados e é medido em metros (m). A intensidade de vibração depende da amplitude e pode ser descrita nas seguintes magnitudes:
  - A velocidade de um objeto vibrando varia de zero a um valor máximo durante cada ciclo de vibração, movendo-se rapidamente através de sua posição de equilíbrio para uma posição extrema. O objeto vibrando reduz a velocidade quando se aproxima do extremo, onde para e retorna na direção oposta pela posição de equilíbrio até o outro extremo;
  - A velocidade é expressa em unidades de metros por segundo (m/s). Aceleração é a medida de como a velocidade varia com o tempo e é expressa em unidades metros por segundo ao quadrado ( $m/s^2$ ). A magnitude de aceleração muda de zero para um valor máximo durante cada ciclo de vibração, quando o objeto vibrando move-se mais distante da sua posição de equilíbrio.
- c) todo o objeto tende a vibrar em frequências particulares que dependem da composição do objeto, seu tamanho, estrutura, massa e forma. Estas frequências naturais são chamadas de frequências de ressonância. Uma máquina vibrando transfere uma quantidade de energia a um objeto quando a máquina vibrar na frequência de

ressonância desse objeto. Um sistema complexo de várias massas interconectadas mediante elementos elásticos, como pode ser simulado o corpo humano, apresentam diferentes frequências de ressonância.

Segundo Thomson (1978), as vibrações apresentam duas grandes classes de vibrações:

- a) vibrações livres - quando um sistema vibra sem ação de forças externas, neste caso o sistema vai vibrar à sua frequência natural que depende das suas propriedades próprias (massa e rigidez);
- b) vibrações forçadas - quando a vibração do sistema sofre à intervenção de forças externas. Neste caso, o sistema vai vibrar com a frequência da força de excitação;

A vibração pode ainda ser classificada segundo diferentes critérios, alguns deles, por exemplo, sob o ponto de vista físico, são apresentados a seguir:

- a) Vibrações senoidais - quando a vibração segue um perfil conhecido. Nesse caso o sinal no momento futuro é previsível a partir do histórico passado, seguindo uma relação matemática explícita.

Ex.: excitação senoidal discretizada, varredura senoidal lenta, varredura periódica rápida, impulso, relaxação;

- b) vibrações periódicas - O sinal se repete depois de determinado período de tempo, podendo ser representado por uma série de Fourier;
- c) vibrações aperiódicas - Não existe uma caracterização da repetitividade;
- d) vibrações aleatórias - Vibração segue um perfil aleatório, ou seja, a previsão no momento futuro não é possível a partir do histórico passado, exceto por características estatísticas como: média, desvio-padrão, variância, etc.

Ex.: ruído aleatório puro, ruído aleatório transiente.

A forma mais simples de um movimento vibratório é a forma senoidal ficando perfeitamente caracterizado pela sua amplitude (de deslocamento, velocidade ou aceleração) e pela frequência, ou pelo seu inverso, o período de oscilação.

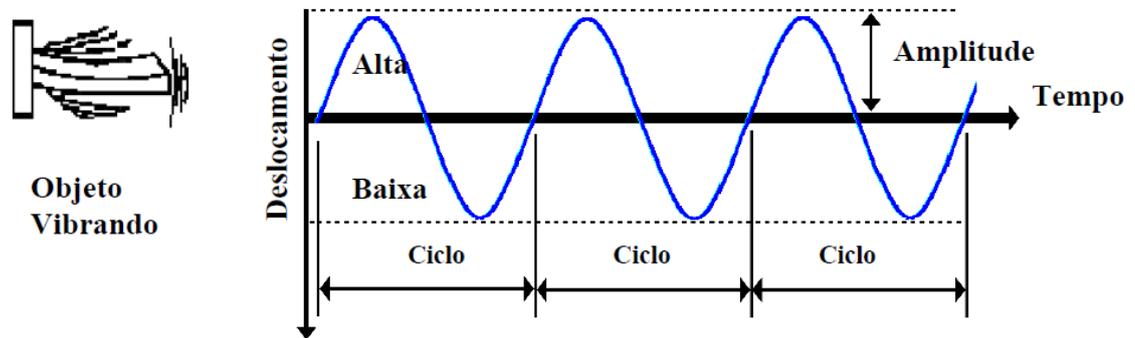
Segundo Iida (2011), vibração é qualquer movimento que o corpo ou parte deste executa em torno de um ponto fixo. Tal movimento pode ser regular, do tipo senoidal, martelote, ou irregular, quando não segue nenhum padrão determinado, sacolejado de um carro n'uma estrada de terra.

Segundo Fernandes (2000), quando um corpo está em vibração este descreve um movimento oscilatório em torno de um ponto de referência. Tal movimento pode consistir de um simples componente ocorrendo em uma única frequência, como um diapasão, ou muitos componentes ocorrendo em diferentes frequências simultaneamente, como por exemplo, com o movimento de um pistão de um motor de combustão interna.

Os sinais de vibração podem consistir em frequências variadas ocorrendo simultaneamente, dificultando a observação em um gráfico amplitude *versus* tempo. Esses componentes podem ser visualizados no gráfico de amplitude da vibração *versus* frequência. O mais importante dos sinais de vibração é o estudo dos componentes individuais da frequência que é chamado de análise de frequência, uma técnica que pode ser considerada a principal ferramenta de trabalho nos diagnósticos de medida de vibração.

Segundo Saliba (2014), a vibração é um movimento oscilatório de um corpo devido a forças desequilibradas de componentes rotativos e movimentos alternados de uma máquina ou equipamento. Se o corpo vibra, este descreve um movimento oscilatório e periódico, envolvendo deslocamento num certo tempo. Assim se tem envolvidas no movimento uma velocidade, uma aceleração e uma frequência.

Figura 7 (2) – Representação da vibração.



Fonte: Fernandes, 2000.

Na tabela 1.2 mostra as indústrias europeia com evidências clinicas de exposição a vibração de corpo inteiro.

Tabela 1 (2) - Indústrias europeia com evidências clinicas de exposição a vibração de corpo inteiro.

Evidências clínicas de sobre-exposição ocupacional e vibrações de corpo inteiro.	
Indústria / atividade	Principais fontes de vibração
Agricultura	Operação de tratores
Construção civil	Operação de veículos pesados
Florestagem	Operação de trator
Mineração	Veículos pesados
Transportes	Veículos – motorista e passageiros

Fonte: Saliba, 2002.

Na tabela 2.2 mostra as indústrias/atividades estadunidenses com suas principais fontes de vibração.

Tabela 2 (2) – Exposição potenciais à vibração nas industrias estadunidenses.

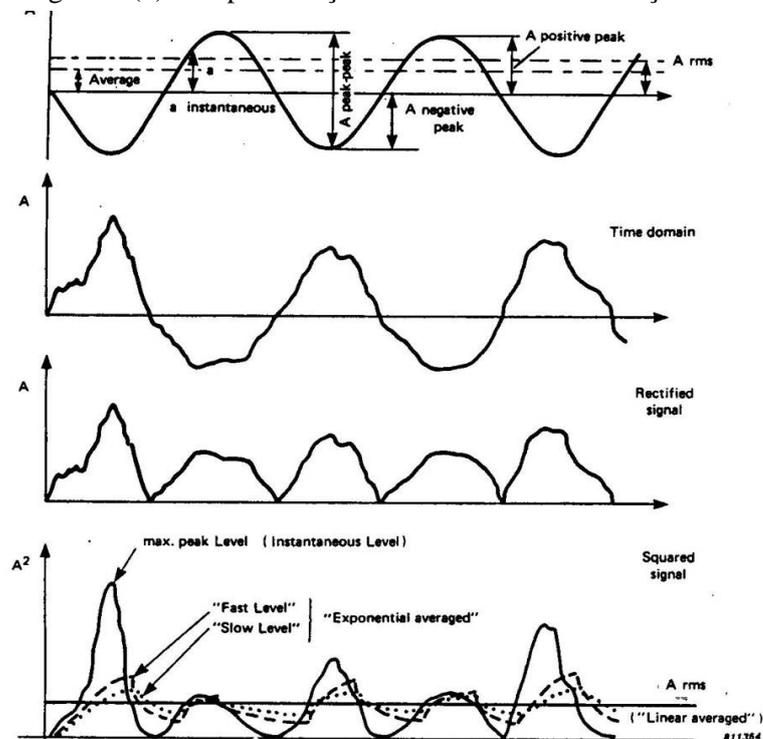
Exposições potenciais à vibração nas industrias estadunidenses	
Tipo de indústria ou atividade	Principais fontes de vibração
Dirigir caminhão/ônibus	Movimento do veículo
Operação de equipamentos pesado	Scrapers, carregadeiras etc.
Operação de trator e máquina agrícola	Tratores, colheitadeiras
Fundição	Empilhadeiras, pontes rolantes
Operação de empilhadeira	Movimento do veículo
Operação de ponte rolante	Movimento da ponte
Refino de metal	Empilhadeira, pontes rolantes
Pedreira	Máquinas e veículos pesados

Exposições potenciais à vibração nas indústrias estadunidenses ( <b>continua</b> )	
Mineração (subterrânea / ar livre)	Máquinas e veículos pesados
Indústria gráfica	Máquinas gráficas
Florestagem	Máquinas e veículos pesados

Fonte: Saliba, 2002.

Para Fernandes (2000), a amplitude da vibração, que caracteriza e descreve a severidade da vibração, pode ser classificada de várias formas. A figura 8 (2) mostra a relação entre o nível pico-a-pico, nível de pico, nível médio e nível RMS de um sinal senoidal.

Figura 8 (2) – Representação da intensidade da vibração.



Fonte: Fernandes, 2000.

O valor **pico-a-pico** indica a máxima amplitude da onda e é usado, por exemplo, onde o deslocamento vibratório da máquina é parte crítica na tensão máxima de elementos de máquina.

O **valor de pico** é particularmente usado na indicação de níveis de impacto de curta duração.

O **valor médio**, por outro lado, é usado quando se quer se levar em conta um valor da quantidade física da amplitude em um determinado tempo.

O **valor RMS** é a mais importante medida da amplitude porque ele mostra a média da energia contida no movimento vibratório. Portanto, mostra o potencial destrutivo da vibração.

Os parâmetros de vibração devem ser medidos em unidades métricas, conforme a tabela 3.2

Tabela 3 (2) – Unidades do SI usadas em vibração.

Unidades de vibração	
Deslocamento	m, mm, $\mu\text{m}$
Velocidade	m/s, mm/s (ou $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ )
Aceleração	$\text{m}/\text{s}^2$ (ou $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ) $\rightarrow 1\text{g} = 9,81 \text{ m}/\text{s}^2$

Fonte: Fernandes, 2000.

A constante gravitacional **g** também pode ser usada nos níveis de aceleração, tomado como  $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$ . (FERNANDES, 2000).

A ressonância é o fenômeno que acontece quando um sistema físico recebe energia por meio de excitações de frequência igual a uma de suas frequências naturais de vibração. Assim, o sistema físico passa a vibrar com amplitudes cada vez maiores. Cada sistema físico capaz de vibrar possui uma ou mais frequências naturais, isto é, que são características do sistema, mais precisamente da maneira como este é construído. Como por exemplo, um pêndulo ao ser afastado do ponto de equilíbrio, cordas de um violão ou uma ponte para a passagem de pedestres sobre uma rodovia movimentada. Todos estes sistemas possuem sua frequência natural, que lhes é característica. Quando ocorrem excitações periódicas sobre o sistema, como quando o vento sopra com frequência constante sobre uma ponte durante uma

tempestade, acontece um fenômeno de superposição de ondas que alteram a energia do sistema, modificando sua amplitude.

Assim, a Frequência é o número de oscilações de onda, por um certo período de tempo. A unidade de frequência do Sistema Internacional (SI), é o hertz (Hz), que equivale a 1 segundo, e é representada pela letra  $f$ . A frequência de uma onda só muda quando houver alterações na fonte. O Período é o tempo necessário para a fonte produzir uma onda completa. No Sistema Internacional, é representado pela letra  $T$ , e medido em segundos.

É possível criar uma equação relacionando a frequência e o período de uma onda:

$$f=1/T \text{ ou } T=1/f$$

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 em unidade Hertz (Hz).

## **2.6 Vibração mecânica de corpo inteiro e seus efeitos sobre o corpo humano**

Os efeitos de vibração e de choque em seres humanos têm sido estudados por muito tempo. No começo do século 18, B. Ramazzini, em seu exame do livro das doenças dos artistas e dos desenhistas, descreveu resultados pós-morte dos efeitos da exposição à vibração mecânica experimentada por instrutores de cavalo "[...] tendo por resultado as entranhas estão sendo agitadas pela força da vibração e movidos quase completamente de sua posição normal [...]" (SAFETY LINE, 2005 apud XIMENES, 2006).

Maurice Raynaud, médico francês, foi o primeiro a descrever em 1862, os distúrbios vasculares observados em indivíduos expostos a vibrações de mãos e braços, em sua tese intitulada *Local asphyxia and symmetrical gangrene of the extremities* (VENDRAME, 2008).

As investigações sobre vibração ocupacional remontam as décadas de 30 e 40 devido ao aumento nas vendas de máquinas auto propelidas. Tais investigações eram subjetivas, tentando apenas estimar o limiar da percepção humana e a equivalência com a resposta para cada intensidade de vibração, com a finalidade de descobrir quais parâmetros poderiam ser desconfortáveis durante pequeno e longos períodos. (HSE, 2001 apud FRANCHINI, 2007).

Na década de 40, as vibrações passaram a ser identificadas como um problema potencial a saúde, tanto dos trabalhadores quanto das pessoas que utilizavam ônibus, trens e aviões para deslocamentos. Em 1949 foi encontrado alguns problemas com motorista de veículo militares, os quais desenvolveram dores na coluna resultando em aposentadoria por problemas de hérnia de disco (HSE, 2001 apud FRANCHINI, 2007).

Na reação do corpo humano em um campo de vibração e choque, deve-se considerar, não apenas a resposta mecânica do sistema, mas também o efeito psicológico sobre o indivíduo. (GERGES, 2000)

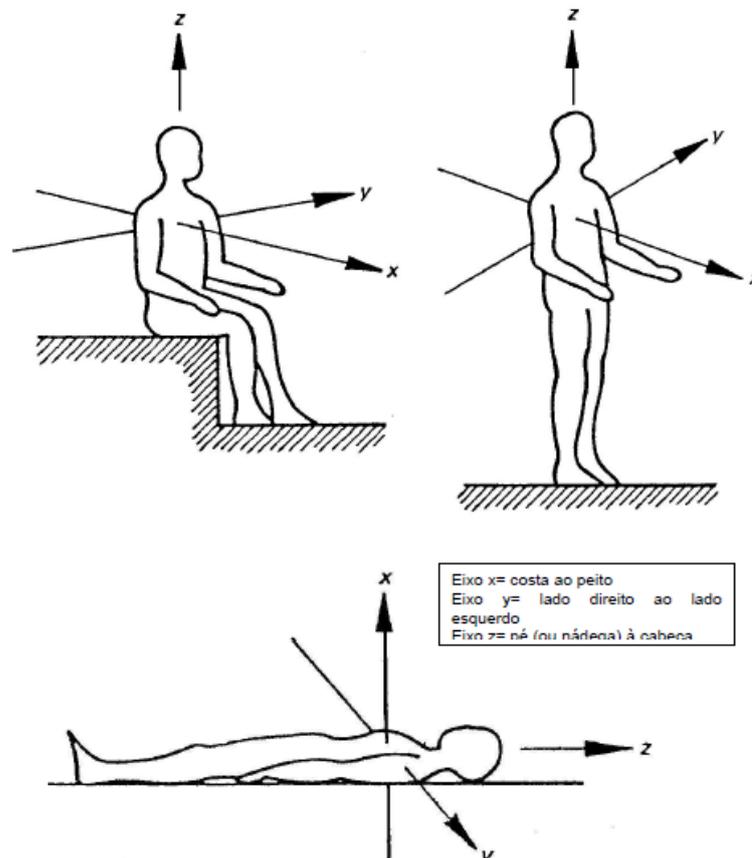
Segundo Dul e Weerdmeester (2012), a vibração pode afetar o corpo inteiro ou apenas parte do corpo, como as mãos e os braços. A vibração de corpo inteiro ocorre quando há uma vibração dos pés, em pé, ou do assento, sentado. Geralmente, essas vibrações tem um sentido vertical, como ocorre com o sacolejar dos carros. As vibrações das mãos e braços ocorrem quando se usam ferramentas elétricas ou pneumáticas, como furadeiras.

Há três variáveis que influem no efeito da vibração: a frequência expressa em Hertz (Hz), intensidade expressa em metros por segundo ao quadrado ( $m/s^2$ ) e duração (tempo) expresso em segundos (s). Cada parte do corpo é sensível a uma determinada faixa de vibrações (diferentes frequências de ressonância). As vibrações de baixa frequência, menores que 1 Hz, podem produzir sensações de enjoo. As vibrações entre 1 e 100 Hz, especialmente entre 4 e 8 Hz, podem produzir dores no peito, dificuldade respiratórias, dores nas costas e vista embaralhada. As vibrações da mão e do braço, entre 8 e 1000 Hz, produzem alterações

na sensibilidade, redução na destreza dos dedos, “dedos brancos”, bem como distúrbios dos músculos, ossos e articulações. As vibrações usuais das ferramentas manuais concentram-se na faixa entre 25 e 150 Hz (DUL; WEERDMEESTER, 2012).

Para Saliba et al (2002), a exposição do trabalhador à vibração de corpo inteiro pode causar danos físicos permanentes ou distúrbios no sistema nervoso. A exposição diária poderá resultar em danos na região espinhal, podendo também afetar o sistema circulatório e/ou urológico. Alguns sintomas de distúrbios frequentemente aparecem durante a exposição sob a forma de fadiga, insônia, dor de cabeça e tremor. Já em uma exposição mais severa à vibração de corpo inteiro, foi observado problemas na região dorsal e lombar, gastrointestinais, sistema reprodutivo, desordens no sistema visual, problemas nos discos intervertebrais, degeneração na coluna vertebral.

Figura 9 (2) – sistema de coordenadas para vibrações mecânicas em seres humanos.



Fonte: ISO 2631/78.

Segundo Iida (2011), o corpo humano sofre vibrações diárias nos meios de transportes como ônibus e trens. Contudo nem todas vibrações são prejudiciais. As vibrações de baixa frequência entre 4 e 8 Hz são as que mais provocam incômodos.

A vibração é definida por três variáveis, a primeira é a frequência, medida em ciclo por segundos ou hertz (Hz), a segunda é a intensidade do movimento medida em  $m/s^2$  e a terceira é a direção do movimento, definida por três eixos triortogonais:  $x$  (das costas para frente),  $y$  (da direita para esquerda) e  $z$  (dos pés para a cabeça). (IIDA, 2011).

Os efeitos da vibração direta sobre o corpo humano podem ser extremamente graves, podendo danificar permanentemente alguns órgãos do corpo humano. Diversos pesquisadores têm coletado dados sobre os efeitos fisiológicos e psicológicos das vibrações sobre o trabalhador, como a perda de equilíbrio, falta de concentração e visão turva, diminuindo a acuidade visual. Em trabalhadores que utilizam motosserra, há uma degeneração gradativa do tecido vascular e nervoso, causando perda da capacidade manipulativa e o tato das mãos, e em casos mais graves a circulação de sangue nos dedos é afetada, tornando-os descoloridos e provocando o fenômeno do “dedo branco”. Nessa situação, os dedos ficam insensíveis e podem sofrer necrose (IIDA, 2011).

As vibrações são particularmente danosas ao organismo nas frequências mais baixas, de 1 a 80 Hz. Provocando lesões nos ossos, juntas e tendões. As frequências intermediárias, de 30 a 200 Hz provocam doenças cardiovasculares e, nas frequências altas, acima de 300 Hz o sintoma é de dores agudas e distúrbios neurovasculares (IIDA, 2011).

Tabela 4 (2) – Frequência de ressonância.

Frequência de ressonância de partes do corpo Submetidas as vibrações no sentido vertical		
Parte do corpo	Frequência de ressonância (Hz)	Sintomas
Corpo inteiro	4 a 5, 10 a 14	Desconforto geral
Cérebro	Abaixo de 0,5; 1 a 2	Enjoou, sono
Cabeça	5 a 20	
Olhos	20 a 70	Dificuldade visual
Queixo	100 a 200	Dificuldade na fala
Laringe	5 a 20	Mudança de voz
Ombros	2 a 10	
Antebraço	16 a 30	
Mãos	4 a 5	
Tronco	3 a 7	
Coração	4 a 6	
Caixa torácica	60	Dores no peito
Estômago	3 a 6	Dores estomacais
Abdômen	4 a 8	
Rins	10 a 18	Urina solta
Sistema cardiovascular	2 a 20	

Fonte: Adaptado Koemer e Grandjean, 2005; Iida, 2005.

A direção na qual o corpo é mais sensível à vibração é a vertical (em pé). Na faixa de frequência de 4Hz a 8Hz, se situam as frequências naturais do corpo humano (massa abdominal, ombros e pulmões). Nesta faixa de frequências, o corpo humano apresenta alta sensibilidade, por isso os limites dos níveis de vibração são menores. Na direção transversal e lateral, a rigidez do corpo é menor, portanto a faixa de frequência mais sensível é de 1Hz a 2Hz. Os efeitos sobre o corpo humano podem ser extremamente graves, como visão turva, perda de equilíbrio, falta de concentração, danos permanentes em determinadas partes do corpo, degeneração gradativa do tecido muscular e nervoso na forma de perda da capacidade manipuladora e de controle de tato nas mãos. (GERGES, 2000).

Segundo Sell apud Franchini (2007), para que as vibrações sejam sentidas como incomodas dependem da aceleração, da frequência e da exposição. As vibrações verticais tornam-se inaceitáveis nas seguintes condições:

Quadro 2 (2) – Condições inaceitáveis às vibrações verticais.

Frequências inferiores a 2Hz e aceleração de 3 a 4 g
Frequências entre 4 e 14 Hz e aceleração entre 1,2 e 3,2 g
Frequências acima de 14 Hz e acelerações entre 5 e 9 g
Com aceleração de 1,5 g a vibração se torna perigosa e insuportável
De 1 a 4 Hz há dificuldade de respirar
De 4 a 8 Hz há maior sensação de incomodo
De 4 a 10 Hz começam dores no peito, na barriga e ressonância no maxilar inferior
De 8 a 12 Hz dores nas costas
De 10 a 20 Hz tensão muscular, dor de cabeça, perturbações visuais e na fala

Fonte: adaptado de Sell, 2002 apud Franchini, 2007.

A exposição à vibração de corpo inteiro pode provocar problemas músculo-esqueléticos, atingindo especialmente as regiões do pescoço e ombro devido ao trabalho estático e repetitivo. Quando em condições de trabalho prolongado pode conduzir à fadiga, estendendo os problemas músculo-esqueléticos às regiões dos braços e coluna cervical. A taxa de batimento cardíaco e consumo de oxigênio podem ser afetados, Gallis apud Yamashita (2002).

Os efeitos da vibração no corpo vão desde uma ligeira sensação de náusea até graves problemas físicos como espasmo vascular, dores nas costas, pescoço, peito, estômago, câimbras, dificuldade respiratória, ressonância em várias partes do corpo que tem como principais consequências o desconforto físico e psicológico, lesões, cansaço e queda na produtividade (FAO apud YAMASHITA, 2002).

De acordo com a Fao apud Yamashita (2002), diz que as vibrações de alta frequência podem causar problemas severos à saúde que podem ser agrupados como: mal-estar físico ou psicológico; alterações das capacidades funcionais; lesões reversíveis ou irreversíveis e ainda podem determinar cansaço e baixo rendimento no trabalho. A natureza e a magnitude dos efeitos dependem principalmente da frequência, da intensidade e direção das vibrações; da duração da exposição; da postura e da parte do corpo em contato com a fonte de vibração.

As vibrações de corpo inteiro podem afetar uma pessoa em pé sobre uma base que está recebendo vibração ou sentada como, por exemplo, ao dirigir um trator. As vibrações entre as frequências de 1Hz a 20Hz são particularmente mais incômodas e cansativas e estas são as frequências que predominam nos veículos e na indústria. Nas atividades florestais, os operadores de máquinas queixam-se muito de dores nas costas e no pescoço relacionadas com as vibrações de corpo inteiro. Outras queixas comuns são dores no peito e no estômago, câimbras musculares e dificuldades respiratórias (FAO apud YAMASHITA, 2002).

As vibrações que atingem o corpo inteiro podem afetar, também, o sistema nervoso central e podem dificultar os processos metabólicos e aumentar as perdas de energia. Níveis elevados de vibração podem afetar os órgãos internos, inclusive a visão.

Cada massa reage à vibração de maneira diferente, dependendo da atenuação ou amplificação da mesma devido ao fenômeno de ressonância que pode provocar o estiramento ou compressão dos órgãos. As vibrações de componentes verticais ou horizontais possuem efeitos diferenciados, no primeiro caso a ressonância entre 3 e 5 Hz é a ressonância que aparece dentro do sistema torácico-abdominal, com consequência de risco de estiramento na região da coluna vertebral (sobretudo na articulação dorso lombar), de compressão axial de torção e de estiramento das vísceras. As vibrações horizontais até 6Hz são menos toleráveis e entram em ressonância nas regiões cervical, dorso-lombar e das mãos, Iguti apud Yamashita (2002).

Segundo Ximenes (2006), as vibrações podem afetar o conforto, reduzir o rendimento do trabalho e causar desordens das funções fisiológicas, dando lugar ao desenvolvimento de doenças quando a exposição é intensa. O homem apercebe-se das vibrações compreendidas entre uma fração do hertz (Hz) e 1000Hz, mas os efeitos diferem segundo a frequência.

As consequências das vibrações no corpo humano dependem essencialmente de alguns fatores decisivos que são os seguintes: pontos de aplicação no corpo; frequência das

oscilações; aceleração das oscilações; duração da ação; frequência própria e ressonância. As ampliações das vibrações ocorrem quando partes do corpo passam a vibrar na mesma frequência e, então, dizemos que entrou em ressonância.

Cada sistema tem uma frequência própria. Quanto mais próxima a frequência excitadora chegar à uma frequência natural do sistema excitado, maior será a amplitude da oscilação forçada. Com isso, a amplitude da oscilação forçada pode vir a ser maior que a oscilação excitadora. A esta manifestação, como já se viu, chama-se de ressonância. De maneira inversa, em cada sistema as oscilações também podem ser diminuídas, fenômeno que se designa por amortecimento. Por exemplo, as oscilações verticais das pernas são significativamente amortecidas na posição de pé.

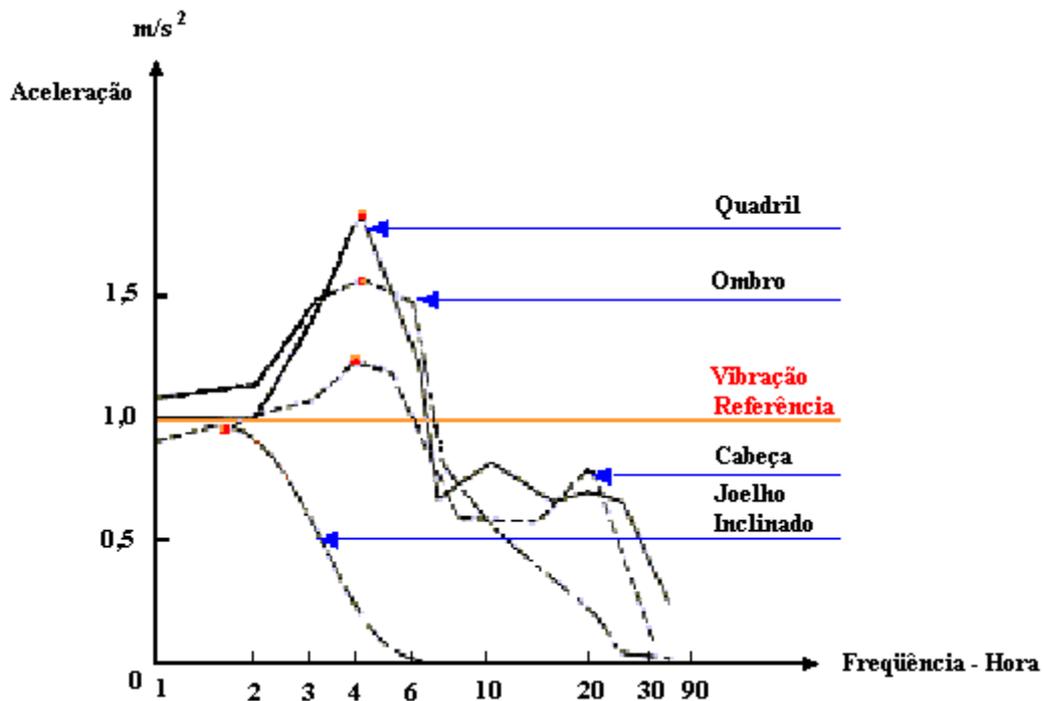
É especialmente forte o amortecimento dos tecidos do corpo para as frequências de 30 Hz. Assim, com uma frequência de excitação de 35 Hz, as amplitudes das oscilações são reduzidas a metade na mão e no cotovelo e a um terço nos ombros. O corpo inteiro é mais sensível na faixa de 4 a 8 Hz, que corresponde à frequência de ressonância na direção vertical (eixo z).

Na direção x e y, as ressonâncias ocorrem a frequências mais baixas, de 1 a 2 Hz. Os efeitos da vibração direta sobre o corpo humano podem ser extremamente graves, podendo danificar permanentemente alguns órgãos do corpo humano. As vibrações danosas ao organismo estão nas frequências de 1 a 80 Hz, provocando lesões nos ossos, juntas e tendões. As frequências intermediárias, de 30 a 200 Hz, provocam doenças cardiovasculares, mesmo com baixas amplitudes e, nas frequências altas, acima de 300 Hz, o sintoma é de dores agudas e distúrbios.

A alteração no sistema cardíaco se manifesta com o aumento da frequência de batimento cardíaco. Alguns desses sintomas são reversíveis, podendo ser reduzidos após um

longo período de descanso. Acima de 100 Hz, as partes do corpo absorvem a vibração, não ocorrendo ressonâncias, como mostrado na Figura 10 (2).

Figura 10 (2) - Representação das ressonâncias corpo humano de pé vibrando verticalmente.



Fonte: ISO 2361, 1997.

Segundo Santos (2004) apud Ximenes (2006), as vibrações severas sofridas pelas mãos devido a ferramentas vibrantes, podem provocar danos neurológicos, circulatórios, modificação da força muscular e da destreza manual. Por outro lado, vibrações aplicadas em todo o corpo, como por veículos de transporte e pisos vibrantes, podem provocar ressonâncias nas vísceras e solicitar particularmente os músculos e o esqueleto (coluna vertebral). Diminuindo a precisão dos gestos e levando a ocorrer problemas de equilíbrio. Podendo ocorrer danos graves que são reconhecidos como doenças profissionais ou ocupacionais.

Segundo Ximenes (2006), a constantes exposições a vibrações no local de trabalho pode levar a modificações doentias das partes do corpo atingidas. O tipo de doença é diferente para as duas partes do corpo mais sujeitas às vibrações e as oscilações verticais, que penetram

no corpo que está sentado ou de pé sobre bases vibratórias como em veículos, levam preferencialmente a manifestações de desgaste na coluna vertebral; as oscilações de ferramentas motorizadas geram majoritariamente modificações doentias nas mãos e braços; as consequências das vibrações mecânicas transmitidas a todo o corpo refletem-se sobretudo ao nível da coluna vertebral com o aparecimento de hérnias, lombalgias, etc. e podem ser classificadas em duas categorias correspondentes a duas classes de frequências vibratórias:

- a) as vibrações de muito baixas frequências (inferiores a 1 Hz) - o mecanismo de ação destas vibrações centraliza-se nas variações de aceleração provocada no aparelho vestibular do ouvido, sendo responsáveis pelo "mal dos transportes" (*motion sickness*) que se manifesta por náuseas, vômitos e mal estar geral. Essa manifestação do mal do movimento (cinetose), ocorre no mar, em aeronaves ou veículos terrestres;
- b) as vibrações de baixas e médias frequências (de alguns hertz a algumas centenas de hertz) - correspondem perturbações de tipos diferentes:
  - patologias diversas ao nível da coluna vertebral;
  - afecções do aparelho digestivo: hemorroidas, dores abdominais, obstipação;
  - perturbação de visão (diminuição da acuidade visual), da função respiratória e, mais raramente, da função cardiovascular; inibição de reflexos.

Segundo Santos et al. (1997) apud Ximenes (2006), as vibrações de corpo inteiro dependendo da frequência podem afetar diferentes funções, conforme pode ser observado na Tabela 5 (2):

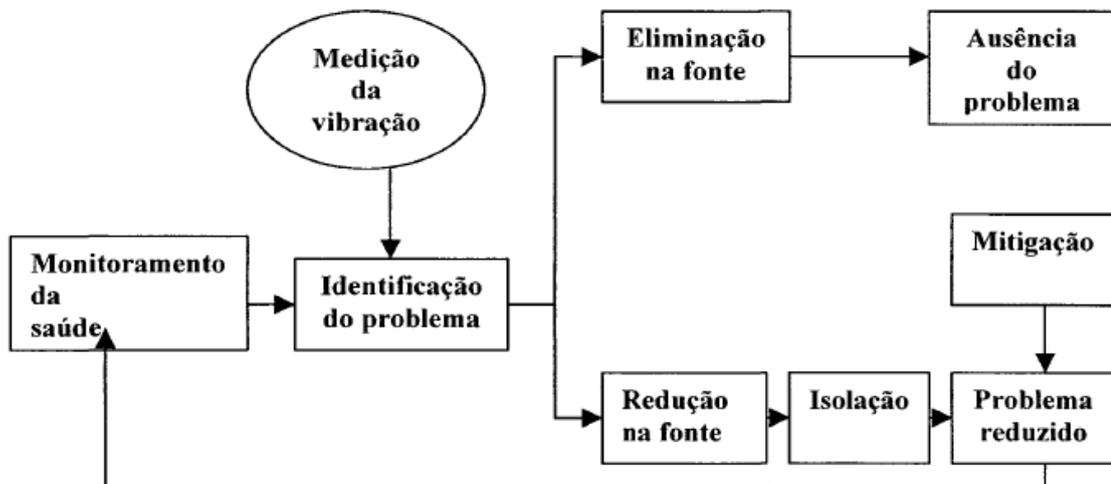
Tabela 5 (2) - Sintomas de exposição à vibração de corpo inteiro nas diferentes frequências.

Frequência	Sensações provocadas
2 a 15Hz	Dores torácicas, dificuldades respiratórias
2 a 20Hz	Dores abdominais, problemas digestivos
4 a 10Hz	Dores de cabeça
5 a 30Hz	Problemas visuais (perturbações do movimento dos olhos, baixa da acuidade visual)
4 a 300Hz	Formigamento nos dedos

Fonte: Ximenes, 2006.

Cunha (2000), apresentou um modelo de programa de prevenção contra os prejuízos causados pela vibração, conforme Figura 2.11:

Figura 11 (2) - Esboço conceitual de um programa para prevenção de distúrbios ocasionados pela vibração.



Fonte: Cunha, 2000.

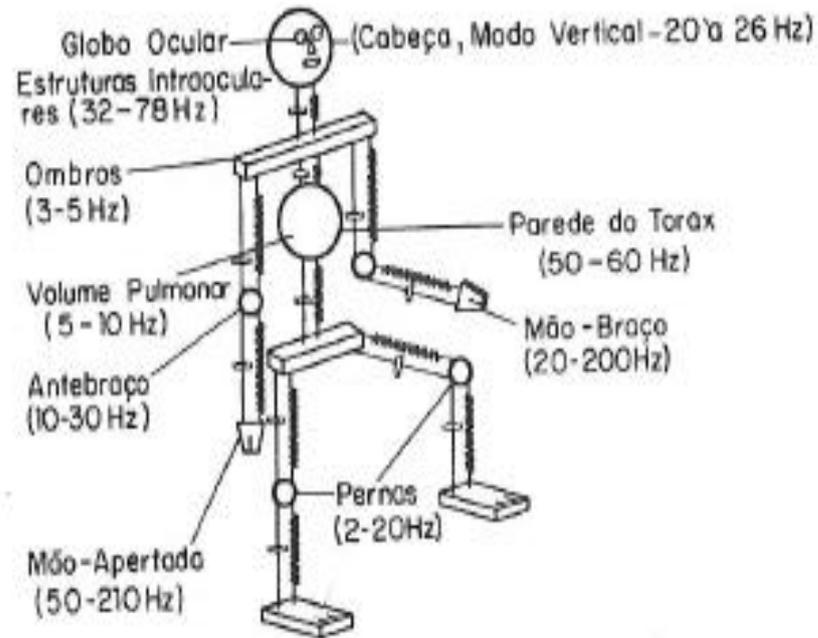
## 2.7 Modelo mecânico do corpo humano

Cada parte do corpo humano, ossos, articulações, músculos e órgãos não regem de maneira similar ao ser exposto a vibração. Devido à complexidade do corpo humano, cada parte do organismo pode tanto amortecer quanto ampliar as vibrações. Quando parte do corpo passar a vibrar na mesma frequência da amplificação ocorre um fenômeno que se chama ressonância. As frequências que provocam a ressonância são chamadas de frequência de ressonância. (IIDA, 2011).

Segundo Balbinot (2001), o corpo humano é uma sofisticada estrutura biomecânica e a sensibilidade a vibração pode envolver diversos fatores, como: postura, tensão muscular, frequência, amplitude, e direção da vibração, além de duração e dose de exposição.

Segundo Gerges (2000), o corpo humano é considerado como um sistema mecânico complexo, com múltiplos graus de liberdade.

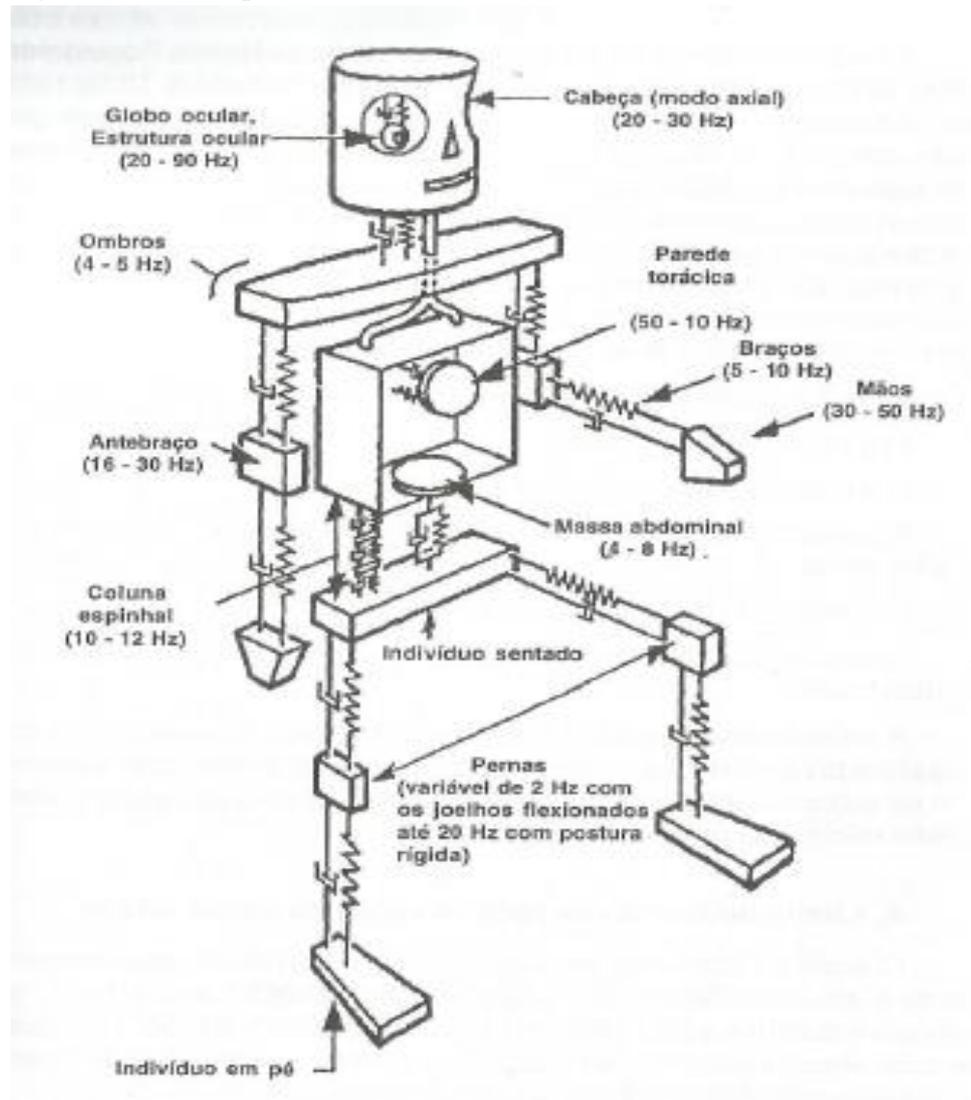
Figura 12 (2) – vibrações.



Fonte: Gerges, 2000.

Segundo Saliba (2002), o corpo humano possui diferentes sensibilidades às diferentes frequências de vibração.

Figura 13 (2) – Frequência de ressonância.



Fonte: Saliba, 2002.

## 2.8 Assento

Segundo Santos (2002) apud Franchini (2007), na concepção de um posto de trabalho alguns fatores devem ser considerados, e um dos mais importantes é o assento de uma máquina, pois este ocupa por mais horas durante o ano do que qualquer outro banco ou cadeira, inclusive do automóvel, acrescentando a isso que as vibrações geradas são mais intensas que nos demais ambiente em que possa permanecer.

Para Prasad et al (1995) apud Baumhardt (2012), o assento em uma máquina tem aspecto relevante pois o seu projeto é absorver as forças ou parte delas que possam causar danos ao corpo humano.

Febo e Pessina (1995) apud Franchini (2007), em um levantamento feito no norte da Itália em que avaliaram as condições do assento do operador, que 41% dos assentos possuíam apoio para os braços, 86% não possuíam regulagem vertical, 38% não possuíam regulagem longitudinal e em 24% dos assentos o ajuste da suspensão não existia ou não funcionava.

É importante distinguir as características estática e dinâmica dos assentos, pois quando a intensidade da vibração é baixa a avaliação do desconforto é predominantemente de característica estática, mas quando a intensidade aumenta, a avaliação de desconforto é influenciada pela vibração, passando a ser dinâmica. As medições de vibrações nos assentos podem não ser corretas, especialmente quando a intensidade da vibração é baixa e que neste caso o conforto pode ser influenciado pela dureza do assento, concluem Ebe e Griffin (1994, apud FRANCHINI, 2007).

Os assentos devem estar em conformidade com NBR ISO 11112:2002 e com a NBR NM-ISO 5353:1999, que para isso os valores das dimensões nominais da característica do assento, como suas regulagens e localizações comuns estejam baseados em requisitos ergonômicos, considerando sempre as dimensões do operador, desde o quinto percentil até o nonagésimo quinto percentil, bem como o ponto de referência do assento (SIP), uma vez que este determina a localização do assento dentro do espaço da cabine da máquina.

O ponto de referência do assento (SIP) é o ponto no plano vertical central do assento, cujo finalidade é determinar um ponto onde o operador poderá exercer sua atividade de forma confortável, não exigindo posições inadequadas ao corpo para controlar a máquina.

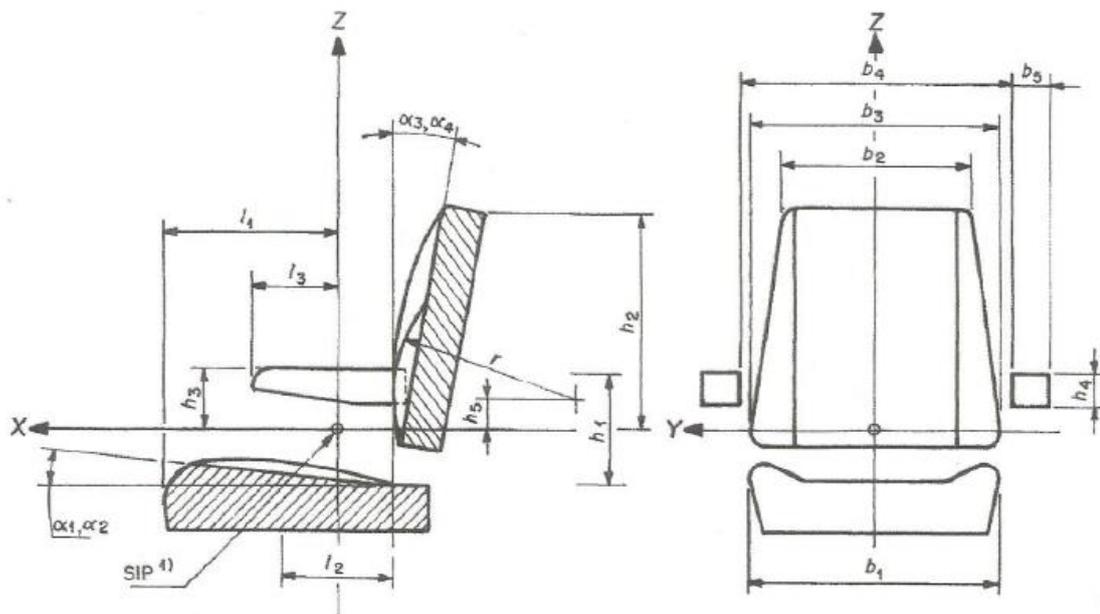
A norma NBR NM-ISO 5353:1999 especifica o método e o dispositivo utilizado para determinar a posição do ponto de referência do assento (SIP) para qualquer tipo de máquina

rodoviária, bem como para tratores, máquinas agrícolas e florestais. O SIP é uma característica do assento, podendo ser especificado pelo fabricante.

Para que seja facilitado o acesso do operador a cabine, um ou ambos apoios de braços devem ser móveis, e que nesse caso o referido apoio de ser firme durante a operação da máquina.

Os assentos podem ser providos de mecanismo que possa ser giratório ou de inclinação, e que exista um meio de fixar as posições de trabalho do assento a fim de evitar movimento inadvertido do assento durante a operação da máquina (NBR ISO 11112:2002). As dimensões do assento do operador e suas regulagens estão apresentadas na figura 14 (2) e tabela 6 (2).

Figura 14 (2) – Dimensões do assento do operador.



Fonte: NBR ISO 11112, 2002

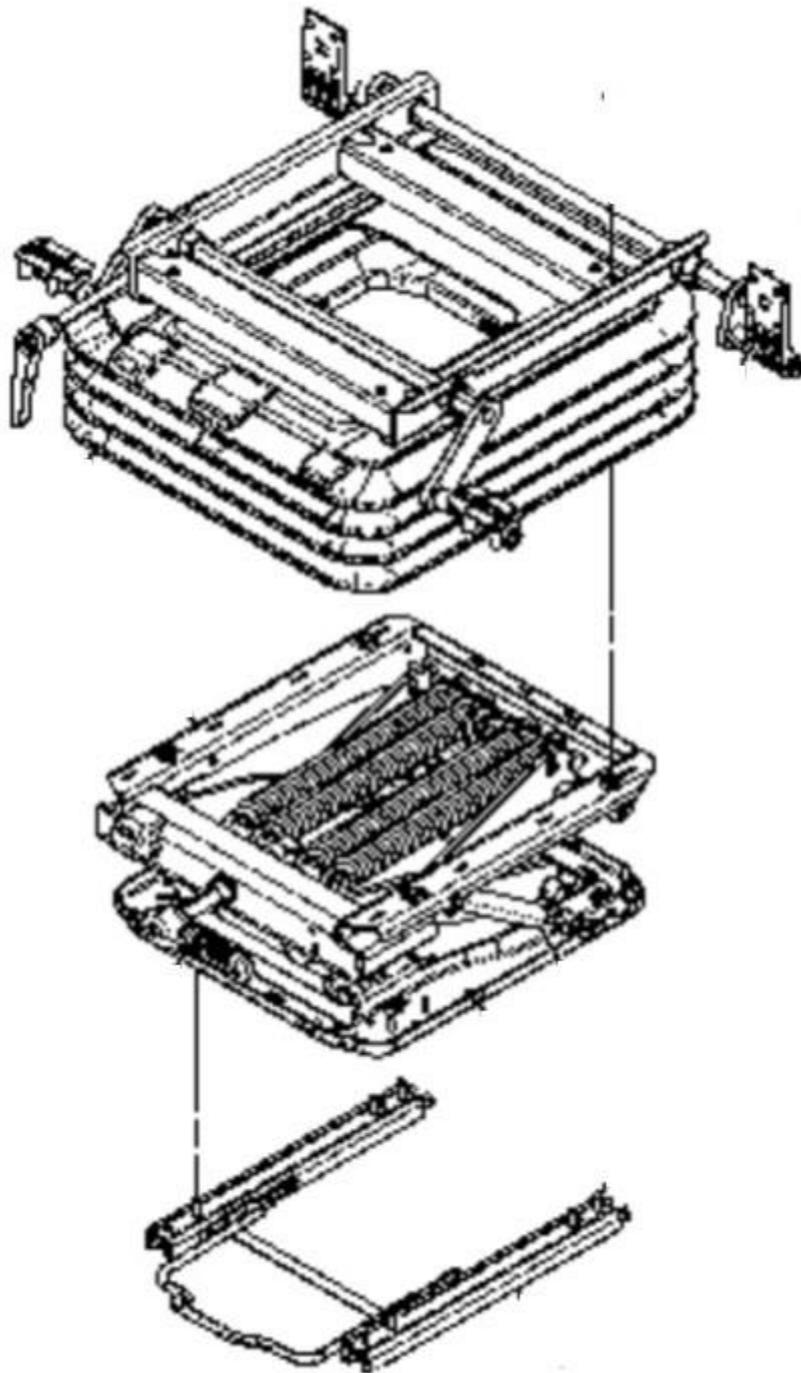
Tabela 6 (2) - Refere-se as dimensões do assento.

Referência na figura 6 (2)	Descrição	Dimensão <sup>1</sup>		
		min.	nom.	máx.
$I_1$	almofada do assento, comprimento inferior	215	265	315
$b_1$	almofada do assento, largura inferior	430	500	-
$I_2$	regulagem longitudinal	100	150	-
$h_1$	regulagem vertical	0	75	-
$h_2$	almofada do assento, altura do encosto	150	400	-
$b_2$	almofada do assento, largura do encosto na parte superior	300	-	500
$B_3$	almofada do assento, largura do encosto na parte inferior	300	-	500
$h_3$	altura do apoio para o braço	95	140	160
$I_3$	comprimento do apoio para o braço	90	140	190
$b_4$	largura entre os apoios para os braços	450	500	550
$b_5$	largura de apoio para o braço	50	75	-
$h_4$	espessura do apoio para o braço	50	100	-
$h_5$	altura a partir do SIP até a linha de centro lombar	115	130	145
$r$	raio da região lombar	150	300	-
$\alpha_1$	almofada do assento, ângulo inferior	5°	10°	15°
$\alpha_2$	almofada do assento, regulagem do ângulo inferior	0°	±5°	-
$\alpha_3$	almofada do assento, ângulo do encosto	5°	10°	15°
$\alpha_4$	almofada do assento, regulagem do ângulo do encosto	0°	±5°	-

<sup>1</sup>os valores máximo e mínimo podem ser alterados para melhor acomodação do operador, baseados em justificativas ergonômicas. Os valores nominais são valores de aceitação geral ou plena; não são valores médios ou medianos.

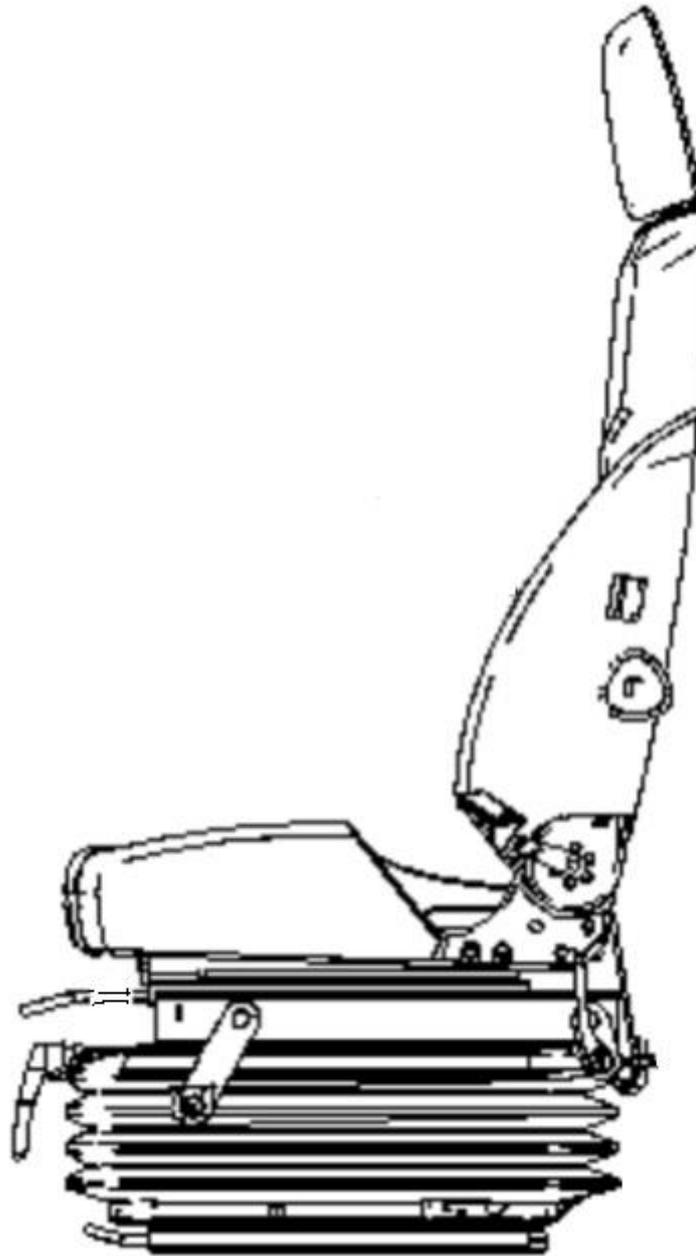
Fonte: NBR ISO 11112, 2002.

Figura 15 (2) – Suspensão e regulagem do assento.



Fonte: Manual Caterpillar

Figura 16 (2) – Vista lateral do assento.



Fonte: Manual Caterpillar

## **2.9 Outros agentes ambientais presentes**

### **2.9.1 Ruído**

Segundo Saliba et al (2011), para se definir o ruído é necessário que se leve em consideração o enfoque objetivo e subjetivo de tal definição, isto é, por um lado, o ruído pode ser considerado um som ou combinação de sons não coordenados que produzem uma sensação desagradável (barulho); por outro lado, uma definição objetiva que trata de um fenômeno físico: movimento ondulatório produzido em um meio elástico que pode constituir-se em estímulos para o nosso organismo, que, em determinadas condições, podem provocar respostas-sensações de bem ou mal-estar ou problemas.

Para Grandjean (2006), a definição mais simples é que o ruído é qualquer som indesejado. Na prática quando é agradável, chame-se de “som”, porém quando perturba é “ruído”.

Segundo Breviglierio et al (2006), o ruído constitui em um dos maiores riscos potenciais para a saúde dos trabalhadores. Para Savi (2010), o ruído é um dos riscos ocupacionais encontrados em quase todos os ambientes de trabalho em que se utilizam máquinas e equipamentos. É considerado um risco físico por conta de sua propagação, que se dá por meio de ondas mecânicas chamadas sonoras.

A medição da intensidade deste ruído é realizada por meio de uma unidade conhecida por decibel ou simplesmente dB(A). Segundo Savi (2010) existem três faixas de ruído que são importantes para definir se o ruído é prejudicial à saúde ou não. A primeira faixa vai do zero aos 65dB(A) que é o limite conforto estabelecido na NR (norma regulamentadora) 17 que trata de Ergonomia, sendo que este corresponde a uma conversa em tom baixo entre duas pessoas.

A segunda faixa vai dos 65dB(A) aos 84,9dB(A), esse som corresponde a ruídos presentes no nosso dia tais como: várias pessoas falando em um mesmo ambiente, secador de cabelos, ruído interno de um ônibus, etc., e a terceira faixa, a partir de 85 dB(A), conforme a

NR-15, corresponde às operações insalubres. De acordo com o tempo de exposição do trabalhador a ela, é possível enquadrar a atividade como danosa à saúde.

Para Saliba et al (2011), a audição como parte integrante e nada indispensável do organismo humano e sendo suscetível a lesões e perdas, devemos de nos preocupar com a manutenção da mesma em níveis pelo menos adequados à boa convivência humana. No caso do ruído no ambiente de trabalho, especificamente, é inadmissível haver perdas auditivas gratuitas, já que são conhecidos alguns elementos que podem impedir o surgimento ou a progressão dessas perdas, tais como a diminuição do tempo de exposição ao ruído, a redução do ruído ambiental, uso efetivo de EPI etc.

Segundo Saliba et al (2011), quantos as perdas auditivas podemos dividir esses efeitos em efeitos auditivos e efeitos extra-auditivos do ruído. Os efeitos auditivos estão divididos em:

- a) traumas acústicos, que são sons de curta duração e alta intensidade resultando em uma perda auditiva imediata, severa e permanente como explosões, estampidos de arma de fogo, detonações etc.;
- b) perda auditiva temporária, devido a exposição de sons relativamente alto, causando uma baixa acuidade auditiva por um determinado tempo, retornando a normalidade após um período de descanso da atividade ruidosa;
- c) perda auditiva permanente tem sido conhecida como PAIR (perda auditiva induzida pelo ruído) ou se esse ruído é sabidamente ocupacional, alguns tem chamado de PAIRO (perda auditiva induzida pelo ruído ocupacional), os quais são perda da acuidade auditiva, ficando comprometido permanentemente a percepção de sons em parte em totalidade das frequências da audição.

Os efeitos extra-auditivos são os sinais ou sintomas que vem sendo relacionados com a exposição ao ruído como aumento de batimentos cardíacos, hipertensão arterial leve ou

moderada, alterações digestivas, irritabilidade, insônia, ansiedade, nervosismo, redução do libido, vertigem, cefaleia, espasmo musculares reflexos, aumento da frequência respiratória.

Segundo Iida (2011), os ruídos constituem-se na principal causa de reclamações sobre as condições ambientais. Embora os ruídos até 90 dB não provoquem sérios danos aos órgãos auditivos, os ruídos entre 70 e 90 dB dificultam a conversação e a concentração, podendo provocar aumento dos erros e redução do desempenho.

## **2.9.2 Calor**

Segundo Brevigliero et al (2006), o calor é um agente físico presente na maior parte das atividades profissionais.

Para Bellusci (2008), o trabalho realizado em ambientes quentes pode provocar vários tipos de distúrbios, entre os quais se encontram a instabilidade do sistema cardiocirculatório, os distúrbios hidroeletrólíticos, os distúrbios dermatológicos e o distúrbio do bloqueio do sistema de termo regulação.

Para Brevigliero et al (2006), os trabalhadores que se encontram em ambientes onde a temperatura é muito alta poderá sofrer de fadiga, ocorrendo falhas na percepção e no raciocínio e sérias perturbações psicológicas que podem produzir esgotamento físico e prostrações.

Para Saliba et al (2002), quando o trabalhador está exposto a uma ou várias fontes de calor, ocorrem trocas térmicas entre o ambiente e o corpo humano. Existem diversos fatores que influenciam nas trocas térmicas, definindo desta forma a severidade da exposição ao calor. Alguns desses fatores são conhecidos e considerados como principais, que são: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar, calor radiante e tipo de atividade.

Segundo Iida (2011), as temperaturas elevadas, acima de 32°C prejudicam a percepção de sinais. Além disso, as pessoas passam a tomar decisões mais arriscadas e isso pode reduzir a qualidade do trabalho e aumentar os riscos de acidentes.

Um trabalhador pode sofrer desidratação pelo excesso de suor e reposição insuficiente dos sais minerais. Quando isso acontece, a produção do suor diminui e a temperatura interna do corpo tende a subir. Em situações extremas, o mecanismo de termorregulação começa a falhar e a temperatura do corpo pode chegar a 41°C. A pressão do sangue cai e com isso não chega em quantidade suficiente aos órgãos vitais como o cérebro e rins, afirma Iida (2011).

### **2.9.3 Iluminação**

A iluminação deixou de ser um agente físico e passou a ser considerado como agente ergonômico com a revogação do Anexo 4 da NR-15 pela Portaria MTPS n.º 3.751, de 23 de novembro de 1990.

Segundo Breviglierio et al (2006), a luz se define como uma potência radiante que, estimulando o olho humano, produz sensação visual.

Para Santos (2004), a intensidade de luz que incide sobre a superfície de trabalho deve ser suficiente para garantir uma boa visibilidade.

Segundo Grandjean (2006), considera como manifestação da fadiga visual, pela excessiva sobrecarga visual as sensações doloridas de irritações com lacrimejamento e avermelhamento das pálpebras e da conjuntiva; visão dupla; dores de cabeça; diminuição da acuidade visual, da sensibilidade aos contrastes e da visibilidade de percepção.

Segundo Iida (2011), o olho humano é sensível à luz com comprimentos de onda entre 400 nm (azul) a 700 nm (vermelha). A sensibilidade não é uniforme ao longo dessa faixa. O olho adapta-se automaticamente a diferentes níveis de iluminamento. O nível de

iluminamento interfere diretamente no mecanismo fisiológico da visão e também da musculatura que comanda os movimentos dos olhos.

Para Iida (2011), o ofuscamento é um dos efeitos fisiológicos da iluminação, que é uma redução da eficiência visual, provocado por objetos ou superfícies de grande iluminância, presentes no campo visual, à qual os olhos não estão adaptados. O ofuscamento é produzido pelo sol, janelas, presenças de lâmpadas no campo visual ou reflexões em superfície polidas, faróis de carros em direção contrária (à noite).

Outro efeito é a fadiga visual que é caracterizada pela irritação dos olhos e lacrimejamento. A frequência do piscar aumenta, a visão torna-se “borrada” e se duplica. Em grau mais avançado, ela provoca dores de cabeça, náuseas, depressão e irritabilidade emocional, ocasionando quedas do rendimento e da qualidade do trabalho, conclui Iida (2005).

## **2.10 Antecedentes legais e técnicos**

### **2.10.1 NR 15 – Atividades e operações insalubres**

A portaria nº. 1.297 de 13 de agosto de 2014, reformulou o anexo 8 – vibração, caracterizando os limites para exposição ocupacional insalubre a Vibrações de Mão e Braços (VMB) e Vibração de Corpo Inteiro (VCI).

Para que seja caracterizada a condição insalubridade, a exposição ocupacional diária a VCI a aceleração resultante de exposição normalizada (aren) deverá ser  $> 1,1 \text{ m/s}^2$ , e o valor da dose de vibração resultante (VDVR) deverá ser  $> 21,0 \text{ m/s}^{1,75}$ .

A caracterização desta condição se fará através de um Laudo Técnico, que constará dentre outras:

- a) o critério adotado;

- b) o instrumental utilizado bem como o certificado de calibração;
- c) a metodologia de avaliação;
- d) a descrição das condições de trabalho e o tempo de exposição às vibrações;
- e) o resultado da avaliação quantitativa e interpretação;
- f) as medidas para eliminação e/ou neutralização da insalubridade, quando houver.

A insalubridade, quando constatada, será de grau médio.

## **2.10.2 Norma de higiene ocupacional (NHO-09) – avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro**

A avaliação da exposição ocupacional de vibração de corpo inteiro (VCI) está na Norma de Higiene Ocupacional (NHO-09) – Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibrações de Corpo Inteiro, a qual seguiu referências normativas da ISO 2631-1 (1997) – *Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements*, e da ISO 8041 (2005) – *Human response to vibration – Measuring instrumentation*.

Esta norma determina os valores a serem utilizados como referência como descrito abaixo:

- a) o nível de ação para a exposição ocupacional diária à vibração de corpo inteiro adotado nesta norma corresponde a um valor da aceleração resultante de exposição normalizada (aren) de 0,5m/s<sup>2</sup> e ao valor da dose de vibração resultante (VDVR) de 9,1m/s<sup>1,75</sup>;
- b) o limite de exposição ocupacional diária à vibração de corpo inteiro, adotado nesta norma corresponde a um valor da aceleração resultante NHO 09 de exposição

normalizada (aren) de 1,1 m/s<sup>2</sup> e ao valor da dose de vibração resultante (VDVR) de 21 m/s<sup>1,75</sup>.

E conclui que para fins de comparação com o limite de exposição ou com o nível de ação, independentemente da duração da jornada de trabalho, deve-se determinar a aceleração resultante a exposição normalizada (aren) e o valor da dose de vibração resultante (VDVR). Este último parâmetro adquire maior importância quando for constatada a ocorrência de choques ou solavancos significativos na exposição do trabalhador sob estudo.

### **2.10.3 ISO 2631-1, 1997**

A segunda edição cancela e substitui a primeira edição ISO 2631-1, 1985 e ISO 2631-3, 1985, e subdivide em:

- Parte 1: Requisitos Gerais;
- Parte 2: Vibração contínua e induzida por choque em edificações (1 a 80 Hz).

Para fins de simplificação, a ISO 2631-1:1997 assumiu a mesma dependência em relação a duração da exposição para os diferentes efeitos no homem (saúde, proficiência no trabalho e conforto). Esta forma de dependência não foi sustentada pelas pesquisas em laboratório e conseqüentemente foi removida.

Os limites de exposição não foram incluídos e o conceito de “proficiência reduzida pela fadiga” foi excluído. No *amendment* 1 de 2010 informa-se que podemos comparar os resultados com os limites da Diretiva Europeia.

A faixa de frequência foi estendida abaixo de 1 Hz sendo que a avaliação está baseada na aceleração R.M.S ponderada em frequência. A faixa de frequência considerada é:

- 0,5 Hz a 80 Hz para Saúde, Conforto e Percepção

- 0,1 Hz a 0,5 Hz para o mal do movimento (Cinetose)

Todos os tipos de veículo, quando em movimento, o operador ou motorista provavelmente estão expostos à vibração de corpo inteiro. Os riscos à saúde aumentam onde os mesmos estão expostos regularmente aos níveis elevados da vibração de corpo inteiro sobre um longo período.

A norma ISO 2631-1:1997 considera os seguintes métodos:

- a) método básico de avaliação (rms): normalmente suficiente para fator de crista (FC)  $\leq 9$ .

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

Fator de Crista (FC): obtido a partir da relação entre a aceleração rms (*root-mean-square*) e a de pico, medida na mesma direção, em um período de um minuto, para qualquer dos eixos ortogonais X, Y e Z;

- b) método Alternativo para  $FC > 9$ , ou, quando existem choques ocasionais que possam gerar dúvidas quanto à aplicabilidade do método básico;
- c) método “*Running*” *r.m.s* – leva em consideração choques ocasionais e transientes, pela aplicação de uma constante de integração no tempo curto. A magnitude da vibração é definida como máximo valor da vibração transiente (MTVV).

$$a_w(t_0) = \left\{ \frac{1}{\Gamma} \int_{t_0-\Gamma}^{t_0} [a_w(t)]^2 dt \right\}^{1/2}$$

$a_w(t)$  – aceleração ponderada instantânea  
 $t_0$  – tempo de observação instantâneo  
 $t$  – tempo (variável de integração)  
 $\Gamma$  – tempo (tempo de integração média) “*running*”

- d) método da dose de vibração – quarta potência. Mais sensível a picos do que o método básico, expresso em  $m/s^{1,75}$  ou  $rad/s^{1,75}$ .

$$VDV = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{1/4}$$

$a_w(t)$  – aceleração ponderada instantânea

$T$  – duração da medição

Para exposição à vibração em dois ou mais períodos,  $i$ , de diferentes magnitudes:

$$VDV_{total} = \left\{ \sum_i VDV_i^4 \right\}^{1/4}$$

Ponderação em frequência e avaliação da vibração relativa à Saúde. As duas principais ponderações em frequência relacionadas à saúde são  $W_k$  para a direção Z e  $W_d$  para as direções X e Y.

A aceleração ponderada em frequência (*rms*) deve ser determinada para cada eixo (X, Y e Z) da vibração translacional na superfície que suporta o indivíduo.

A avaliação do efeito da vibração à saúde deve ser feita independentemente para cada eixo. A análise da vibração deve ser feita considerando-se a maior componente de aceleração ponderada em frequência medida nos diversos eixos do assento.

Quando a vibração em dois ou mais eixos for comparável, o vetor resultante é algumas vezes utilizado para estimar o risco à saúde. As ponderações em frequência devem ser aplicadas para os indivíduos sentados, com os fatores de multiplicação  $K$  conforme indicado:

Eixo X –  $W_d$ ,  $K = 1,4$

Eixo Y –  $W_d$ ,  $K = 1,4$

Eixo Z –  $W_k$ ,  $K = 1,0$

O guia fornecido na norma está baseado principalmente em dados disponíveis de pesquisas relacionadas à exposição humana à vibração no eixo Z em indivíduos sentados. A experiência na aplicação dessa parte da norma é limitada para os eixos X e Y (pessoas sentadas) e para todos os eixos nas posições em pé, deitada ou reclinada.

A ISO 2631-1 estabelece limites de vibração para corpo inteiro “whole-body” levando em consideração “enjoo”, “fadiga e decréscimo de eficiência”, “desconforto” e o “risco ocupacional”.

Quando a exposição à vibração consistir de dois ou mais períodos de exposição a diferentes magnitudes e durações, a magnitude da vibração equivalente em energia correspondente à duração total da exposição pode ser avaliada de acordo com a seguinte expressão:

$$a_{w,\theta} = \left[ \frac{\sum a_{wi}^2 \cdot T_i}{\sum T_i} \right]^{1/2}$$

$a_{w,\theta}$  – magnitude da vibração equivalente (aceleração *rms* em  $m/s^2$ )

$a_{w,i}$  – magnitude da vibração (aceleração *rms* em  $m/s^2$ ) para a duração da exposição  $T_i$ .

#### **2.10.4 Antecedentes técnicos – diretiva europeia 2002/44/CE**

A presente diretiva fixa prescrições mínimas, ou seja, estabelece valor-limite de exposição e valor de exposição que desencadeia a ação, o que dá para as empresas a possibilidade de manter ou adaptar disposições mais favoráveis para a proteção dos trabalhadores, em particular no que se refere à fixação de valores inferiores para o valor diário que desencadeia a ação ou para o valor - limite de exposição diária a vibrações.

A redução da exposição às vibrações é conseguida mais eficazmente pela adoção de medidas preventivas desde a fase de concepção dos postos e locais de trabalho; bem como, pela seleção do equipamento e dos processos e métodos de trabalho, de modo a reduzir prioritariamente os riscos na origem. As disposições relativas aos equipamentos e aos métodos de trabalho contribuem para a proteção dos trabalhadores que os utilizam.

O valor - limite de exposição e o valor de exposição que desencadeia a ação, para as vibrações transmitidas a todo o organismo são:

- a) o valor - limite de exposição diária normalizada, correspondente a um período de referência de 8 horas, é fixado em  $1,15 m/s^2$ ;

- b) o valor de exposição diária normalizada, correspondente a um período de referência de 8 horas, que desencadeia a ação é fixado em  $0,5 \text{ m/s}^2$ .

Os quadros abaixo apresentam, respectivamente, o valor limite de exposição e o valor de exposição que desencadeia a ação.

**Valor limite de exposição**

<b>VALOR LIMITE DE EXPOSIÇÃO DIÁRIA</b> ( $\text{m/s}^2$ )
<b>1,15</b>

**Valor de exposição para ação**

<b>VALOR DA EXPOSIÇÃO DIÁRIA</b> ( $\text{m/s}^2$ )
<b>0,5</b>

## **3 Material e método**

Nesse capítulo estão apresentados o material e a metodologia utilizada na realização da avaliação. Estão descritos os locais das avaliações, as atividades analisadas das escavadeiras, o instrumento utilizado para avaliação de vibração, o assento, e os valores de referência da exposição ocupacional à vibração, segundo a NHO 09 e a NR 15.

A metodologia utilizada neste trabalho está baseada na nona Norma de Higiene Ocupacional (NHO-09) – Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibrações de Corpo Inteiro, e na décima quinta Norma Regulamentadora (NR 15) – Atividades e Operações Insalubres, em seu oitavo anexo, para a análise das vibrações ocupacionais de corpo inteiro (VCI).

### **3.1 Material**

#### **3.1.1 Local das avaliações**

Duas avaliações foram feitas na empresa Maciel Construções Ltda., a qual executa atividades para o Governo do Estado do Ceará através do Departamento Estadual de Rodovias – DER. Atividade da empresa consiste na duplicação em trechos licitados da Rodovia CE 085, também conhecida como rota do Sol Poente. A primeira escavadeira estava localizada no município de Paraipaba, no km 97, e a 2ª escavadeira estava no município de Trairí, no km 106, ambas à margem da CE 085.

Outras três foram feitas na empresa Mary Construção Ltda., uma localizada no 4º Anel Rodoviário, s/n, no município de Maracanaú/Ce, com serviço de terraplenagem. As demais foram realizadas no município de Aquiraz/Ce, numa localidade denominada de Mandara.

### **3.1.2 Atividades analisadas**

As primeiras atividades analisadas foram as frentes de serviços localizadas em Paraipaba (figura 3.1) e Trairí (figura 3.2), que consistem em uma área denominada de “barreiro”. Neste local é retirado o material, areia, pela escavadeira e colocada em caminhões basculantes, que após ter a báscula cheio, esse se dirige para a área da nova pavimentação (duplicação da estrada). Durante toda a operação de encher a báscula, a escavadeira permanece parada, movimentando-se apenas a parte superior.

A frente de serviço em Maracanaú consiste na remoção de terra, sendo a mesma disposta em caminhão basculante, que em seguida esta areia é colocada em área definida para que seja feito o nivelamento do terreno (terraplenagem), com a utilização de outras máquinas rodoviárias. No local será construído um hospital municipal.

Já a atividade nas duas frentes de serviços em Aquiraz, consiste também em encher a báscula do caminhão com areia e este se desloca para área de pavimentação e drenagem.

Em todas as avaliações feitas, a escavadeira permanece sem o movimento do material rodante, apenas a parte superior que movimenta durante o ciclo de trabalho.

### **3.1.3 Ciclo de trabalho e ciclo da atividade**

O ciclo de trabalho nas avaliações consiste inicialmente no momento em que a caçamba (concha) da escavadeira toca o solo, em seguida faz-se o giro para o caminhão, descarregando a areia na báscula do caminhão e finalizando com giro de volta e tocando o solo, que leva em média 15 segundos.

O ciclo de atividade foi considerado o tempo que a escavadeira leva para encher um caminhão-basculante com capacidade de 10m<sup>3</sup>, e que o tempo gasto ficava entre 250 e 300 segundos.

Figura 17 (3) - Barreiro em Paraipaba/Ce.



Fonte: Autoria própria.

Figura 18 (3) - Barreiro em Trairi/Ce.



Fonte: Autoria própria.

Figura 19 (3) - Maracanaú/Ce.



Fonte: Autoria própria.

Figura 20 (3) - Aquiraz/Ce.



Fonte: Autoria própria.

Figura 21 (3) - Aquiraz/Ce.



Fonte: Autoria própria.

### 3.1.4 Instrumento utilizado

Medidor de vibração marca Svantek – 106

*Serial number 23973*

*Seat accelerometer Svantek – SV 38*

*Serial number 19161*

Figura 22 (3) - Instrumento de medição de vibração.



Fonte: Autoria própria.

### 3.1.5 Detalhes dos assentos

Nos modelos avaliados, todos os assentos eram originais de fábrica, possuíam ajuste de peso, ajuste de deslocamento vertical e horizontal do assento e encosto, bem como os braços móveis, atendendo as exigências da NBR ISO 11112, 2002.

Abaixo as figuras 3.6 (a), (b), (c), (d), (e) e (f) mostram como exemplos os sistemas de regulagem de peso e de ajuste horizontal dos assentos.

Figura 23 (3) - Regulagem de peso.



Figura 24 (3) - Regulagem na horizontal.



Figura 25 (3) - Regulagem de peso.



Figura 26 (3) - Regulagem na horizontal.



Figura 27 (3) - Apoio de braços.



Figura 28 (3) - Apoio de braços



Fonte: Autoria própria.

### 3.2 Método

A avaliação da exposição ocupacional de vibração de corpo inteiro (VCI) foi realizada com base na Norma de Higiene Ocupacional (NHO-09) – Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibrações de Corpo Inteiro, a qual seguiu referências normativas da *ISO 2631-1 (1997) – Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements*, e da *ISO 8041 (2005) – Human response to vibration – Measuring instrumentation*.

A avaliação representou as condições reais operacionais da atividade do operador de escavadeira, sendo caracterizado o ambiente de estudo (local da atividade) como atividade rotineira. A exposição diária foi composta como uma única componente de exposição, de curta duração, repetida, durante toda a jornada de trabalho.

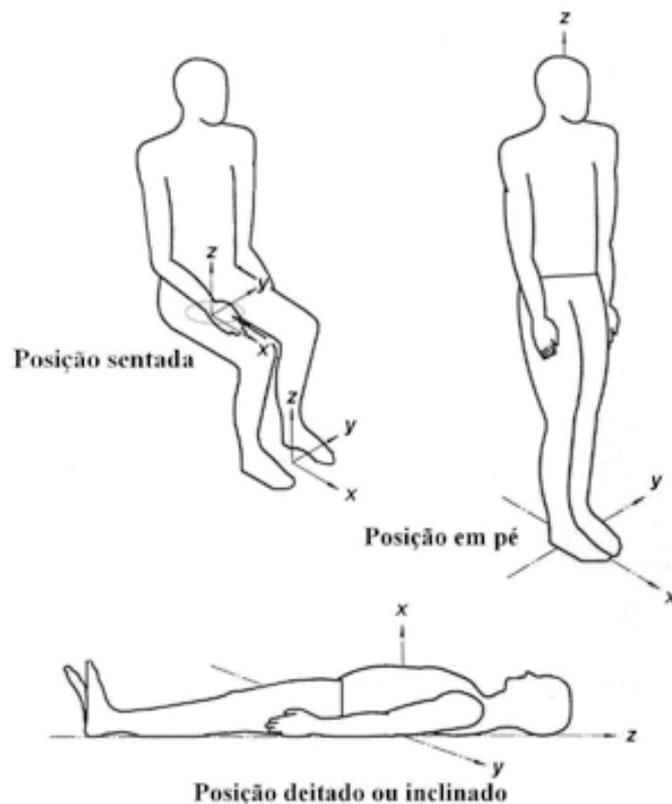
O equipamento foi configurado para fornecer parâmetros representativos, desta forma foi mensurada a aceleração resultante normalizada (aren) e o valor da dose resultante (VDVR), indicativos para exposição diária do operador de máquina.

A medição de vibração é realizada através do sistema de coordenadas (tri-ortogonal), conforme apresentado a seguir, onde:

- eixo x = tórax às costas;
- eixo y = lado direito ao lado esquerdo;
- eixo z = pés a cabeça.

A Figura 29 (3) apresenta os eixos ortogonais do corpo humano.

Figura 29 (3) - Eixos ortogonais.



Fonte: ISO 2631-1:1997.

O acelerômetro Svantek – SV 38 foi fixado junto aos assentos dos operadores nos equipamentos avaliados (Figura 3.8) no ponto de transferência da vibração ao corpo, conforme a NHO 09.

O acelerômetro deve ser preferencialmente, posicionado entre o corpo humano e a fonte geradora. Já a duração da medição deve ser suficiente para uma precisão estatística razoável, cobrindo, pelo menos, um ciclo de trabalho.

Figura 30 (3) - Fixação do acelerômetro no assento da escavadeira.



Fonte: Autoria própria.

Nas avaliações das escavadeiras, o medidor de vibração foi fixado na cabine de forma a não interferir na operação, figura 3.9. Foram coletadas amostras que representam as condições habituais de trabalho, com duração suficiente para cobrir vários ciclos de exposição dos operadores.

No início e término de cada análise, o medidor de vibração foi calibrado, foi reposto pilhas alcalinas novas, verificado a integridade física do medidor e acelerômetro bem como os cabos e conexões, ajustado os padrões e critério de medição de acordo com norma vigente.

O medidor utilizado atende os requisitos da ISO 8041 de forma atender os seguintes padrões:

- a) circuito de ponderação para corpo inteiro;
  - $W_k$  para o eixo “z”,

- $W_d$  para os eixos “x” e “y”.
- b) fator de multiplicação “k” em função do eixo considerado;
- $k_x = 1,4$ ,
  - $k_y = 1,4$ ,
  - $k_z = 1,0$ .
- c) medição em rms.

Figura 31 (3) - Medidor na cabine da escavadeira.



Fonte: Autoria própria.

### 3.2.1 Valores de referência para exposição ocupacional a vibração – NHO 09

Para avaliação de vibração de corpo inteiro-VCI, a NHO 09 utiliza como referência para nível de ação e limite de exposição, para exposição ocupacional diária os valores descritos na tabela 3.1:

Tabela 7 (3) - Valores de referência da exposição ocupacional à vibração.

Exposição Ocupacional diária à Vibração de Corpo Inteiro		
	Aceleração resultante de exposição normalizada (aren)	Valor da dose de vibração resultante (VDVR)
Nível de ação	0,5 m/s <sup>2</sup>	9,1 m/s <sup>1,75</sup>
Limite de exposição	1,1 m/s <sup>2</sup>	21 m/s <sup>1,75</sup>

Fonte: NHO 09, adaptado.

### 3.2.2 Limites para exposição ocupacional a vibração – condição insalubre – NR 15

A NR 15 – atividades e operações insalubres, em seu anexo 8 – vibração, que em relação a vibração de corpo inteiro (VCI), os valores obtidos da aceleração resultante de exposição normalizada (aren) e do valor da dose de vibração resultante (VDVR), 1,1 m/s<sup>2</sup> e 21 m/s<sup>1,75</sup>, respectivamente, sejam ultrapassada, geraram adicional de insalubridade de grau médio.

Tabela 8 (3) - Valores limites que geram insalubridade.

Valor limite de exposição ocupacional diária a VCI - insalubre	
Aceleração resultante de exposição normalizada (aren)	Valor da dose de vibração resultante (VDVR)
> 1,1 m/s <sup>2</sup>	> 21 m/s <sup>1,75</sup>

Fonte: NR 15 – anexo 08, adaptado.

## **4 Resultados e discussão**

Neste capítulo é abordado sobre as características do ambiente onde é desenvolvida as atividades, a rotina de trabalho, as características de cada escavadeiras e operadores, os resultados das exposições as vibrações e os limites aceitos pela NHO 09.

### **4.1 Característica da atividade analisada**

A atividade se dá em horário comercial, de segunda a quinta das 7h às 17h e à sexta das 7h às 16h com intervalo para o almoço, conforme acordo coletivo de trabalho entre o Sinduscon/Ce e o sindicato dos trabalhadores na indústria da construção civil.

Na frente de serviço em Paraipaba e Trairí, o transporte dos operadores de escavadeira, que eram dois, havendo um terceiro que estava de apoio, é feito com veículo (VW gol) da própria empresa. Devido a distância das duas cidades, a empresa fornecia alojamentos. Pela manhã, após o café, os apanham no apartamento (alojamento) conduzindo até a frente de serviço. O veículo fica estacionado próximo a frente de serviço para qualquer eventualidade. O almoço geralmente é feito em um restaurante próximo, porém, dependendo da demanda do trabalho, às vezes as refeições vinham em marmitas (quentinha).

O solo tem característica classificada como AMd – Quartzozas Distróficas (dunas), devido a sua localização ser no litoral (IPECE, 2015).

Na frente de serviço em Maracanaú, o operador, existia apenas um, este utiliza condução própria, motocicleta. A empresa fornece ajuda de custo para o café da manhã, almoço e despesa de locomoção, ficando a critério do trabalhador o local da refeição.

O solo tem característica classificada como PV – Podzólico vermelho-amarelo (IPECE,2015).

Na frente de serviço em Aquiraz a empresa dispunha de ônibus, porém, que em geral a empresa não obrigava o trabalhador o seu uso, ficando a cargo do mesmo a escolha de transporte, que neste caso o trabalhador recebia ajuda de custo. No caso dos operadores de escavadeiras, que eram três, todos utilizavam suas motocicletas. As refeições, café da manhã e almoço eram realizadas no canteiro, com fornecimento de marmitas (quentinhas).

O solo tem característica classificada como AMd – Quartzozas Distróficas (dunas), devido a sua localização ser no litoral (IPECE,2015).

Apesar de não existir em todas as frentes analisadas a presença do técnico de segurança do trabalho, as atividades eram executadas de forma segura, utilizando equipamento de proteção individual como bota, capacete e protetor auricular. Tanto os operadores de escavadeiras quanto as chefias imediatas possuíam conhecimentos e atitudes comportamentais de segurança no trabalho.

Em todas as atividades analisadas, as escavadeiras eram utilizadas para remoção de terra, escavando e enchendo caminhões basculantes.

O tempo gasto no ciclo de atividade, compreende quando a concha da escavadeira toca o solo, enche com areia, descarrega no caminhão basculante e retorna a posição inicial, que durava em média 15 segundos. Já o tempo médio gasto no ciclo de trabalho, que consistia em encher o caminhão basculante com areia, ficava entre 250 e 300 segundos, uma vez que as capacidades da báscula são de 10 metros cúbicos, e a concha com 0,6 metros cúbicos.

As escavadeiras são climatizadas (ar condicionado), assento confortável e com ajuste para regulagem de altura e profundidade, possuindo pegas para facilitar acesso ao compartimento do operador (cabine).

## 4.2 Descrição das escavadeiras e operadores

O quadro 3 (4) é uma descrição das características das escavadeiras e seus respectivos operadores no momento da avaliação de vibração de corpo inteiro.

Quadro 3 (4) - Características das escavadeiras e operadores.

Características das escavadeiras e operadores					
Características	Frentes de serviços				
	Paraipaba/Ce	Trairi/Ce	Maracanaú/Ce	Aquiraz/Ce	Aquiraz/Ce
Fabricante	Caterpillar	Caterpillar	Komatsu	Case	Caterpillar
Modelo	320D	320D	PC 130	CX220B	320D
Potencia motor	103 kw / 138 hp	103 kw / 138 hp	72 kw / 97 hp	127 kw / 170 hp	103 kw / 138 hp
Peso operacional	20.330 kg	20.330 kg	13.265 kg	22.174 kg	20.330 kg
Operador sexo	masculino	masculino	masculino	masculino	masculino
Idade	40 anos	28 kg	29 anos	42 anos	37 anos
Altura	1,70 m	1,74 m	1,69 m	1,65 m	1,65 m
Peso	67 kg	101 kg	71 kg	76 kg	69 kg
Turno de trabalho	comercial	comercial	comercial	comercial	comercial

Fonte: Autoria própria.

## 4.3 Resultado da avaliação de vibração corpo inteiro

O equipamento utilizado na medição da exposição à vibração de corpo inteiro atende aos requisitos da ISO 8041:2005, ISO 2631-1, 2 & 5 e ISO 5349 como também os requisitos da NHO 09, NR 09 e NR 15.

Segundo Saliba (2014), a norma ISO 2631-1:1997 não define um limite de tolerância para vibração de corpo inteiro, no entanto a mesma fornece um ábaco, com a aceleração ponderada nas frequências pela duração da exposição, como referência para zona de precaução para os efeitos nocivos da vibração sobre o corpo humano. Mas com alteração feita em 2010 são fornecidos valores que delimitam a zona de precaução. Já de acordo a norma ISO 2631/1:1985, para avaliação da vibração de corpo inteiro, a vibração pode atuar em

várias direções no corpo humano, na faixa de frequência de 1 a 80Hz, onde a região de maior sensibilidade para o eixo Z encontra-se na faixa de 4 a 8Hz e para os eixos X e Y, na faixa de frequência de 1 a 2 Hz.

Os resultados obtidos tomaram como valores de referência a NHO 09 e NR 15. O equipamento forneceu as unidades em milímetros por segundos ao quadrado, que devido aos valores encontrados serem de baixa intensidade.

As tabelas 9 (4), 10 (4) e 11 (4) apresentam os resultados obtidos nas avaliações de vibração de corpo inteiro nas escavadeiras Caterpillar, Case e Komatsu, com uso do analisador de vibração com seu respectivo *software*.

Tabela 9 (4) - Análise escavadeira CAT 320D.

Equipamento: escavadeira hidráulica									
Fabricante / modelo: Caterpillar 320D									
Função analisada: operador de escavadeira									
Característica do solo: AMd – Quartzozas Distróficas (dunas) - macio									
Analisador de vibração e acelerômetro: Svantek 106(serial 23973) e SV 38 (serial 19161)									
Data	Tempo de avaliação	Eixos de vibração	VDVR mm/s <sup>1,75</sup>	aren mm/s <sup>2</sup>	Eixos mm/s <sup>2</sup>	Pico	Fator de crista	VDV	RMS
27/3/15	900 s	x	263,330	9,204	15,828	390,670	767,026	14,256	11,306
		y			938,50	3951,937	7857,963	79,250	670,363
		z			6,805	477,570	888,812	14,240	6,805

Fonte: Adaptado *software* SvanPCC++

Tabela 10 (4) - Análise escavadeira Case CX220B.

Equipamento: escavadeira hidráulica									
Fabricante / modelo: Case CX220B									
Função analisada: operador de escavadeira									
Característica do solo: AMd – Quartzozas Distróficas (dunas) - macio									
Analisador de vibração e acelerômetro: Svantek 106(serial 23973) e SV 38 (serial 19161)									
Data	Tempo de avaliação	Eixo de vibração	VDVR mm/s <sup>1,75</sup>	aren mm/s <sup>2</sup>	Eixos mm/s <sup>2</sup>	Pico	Fator de crista	VDV	RMS
27/3/15	600 s	x	274,789	9,694	32,691	544,264	1038,269	13,213	23,351
		y			988,413	5380,343	10358,813	76,033	706,009
		z			6,797	486,194	967,854	13,122	6,797

Fonte: Adaptado *software* SvanPCC++

Tabela 11 (4) - Análise escavadeira Komatsu PC 130.

Equipamento: escavadeira hidráulica									
Fabricante / modelo: Komatsu PC130									
Função analisada: operador de escavadeira									
Característica do solo: PV – Podzólico vermelho-amarelo - macio									
Analisador de vibração e acelerômetro: Svantek 106( <i>serial 23973</i> ) e SV 38 ( <i>serial 19161</i> )									
Data	Tempo de avaliação	Eixo de vibração	VDVR mm/s <sup>1,75</sup>	aren mm/s <sup>2</sup>	Eixos mm/s <sup>2</sup>	Pico	Fator de crista	VDV	RMS
27/3/15	300 s	x	279,576	9,784	46,659	442,904	868,580	11,117	22,899
		y			997,514	4632,442	8816,780	64,565	712,541
		z			6,642	359,178	706,822	10,914	6,642

Fonte: Adaptado *software SvanPCC++*.

Observa-se que o eixo “y” é o que apresenta maior intensidade em todas as escavadeiras, conforme as tabelas 9 (4), 10 (4) e 11 (4). Os quadros 4 (4) e 5 (4) mostram os resultados obtidos e os valores de referência para tomada de decisão.

Quadro 4 (4) – resultados da aceleração resultante normalizada (aren) e valor de dose de vibração resultante (VDVR) e o quadro 5 (4) – referência normativa para comparação com resultado das análises.

Quadro 4 (4) - Resultado da análise de VCI.

Escavadeira	aren (m/s <sup>2</sup> )	VDVR (m/s <sup>1,75</sup> )
Caterpillar 320D	0,009204	0,263330
Case CX220B	0,009694	0,274789
Komatsu PC130	0,009784	0,279576

Fonte: Adaptado *software SvanPCC++*.

Quadro 5 (4) - Referência para tomada de decisão.

aren (m/s <sup>2</sup> )	VDVR (m/s <sup>1,75</sup> )	Consideração técnica	Atuação recomendada
0 a 0,5	0 a 9,1	Aceitável	No mínimo manutenção da condição existente.
> 0,5 a < 0,9	> 9,1 a < 16,4	Acima do nível de ação	No mínimo adoção de medidas preventivas.
0,9 a 1,1	16,4 a 21	Região de incerteza	Adoção de medidas Preventivas e corretivas visando à redução da exposição diária.
acima de 1,1	acima de 21	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas

Fonte: NHO 09 – Adaptado.

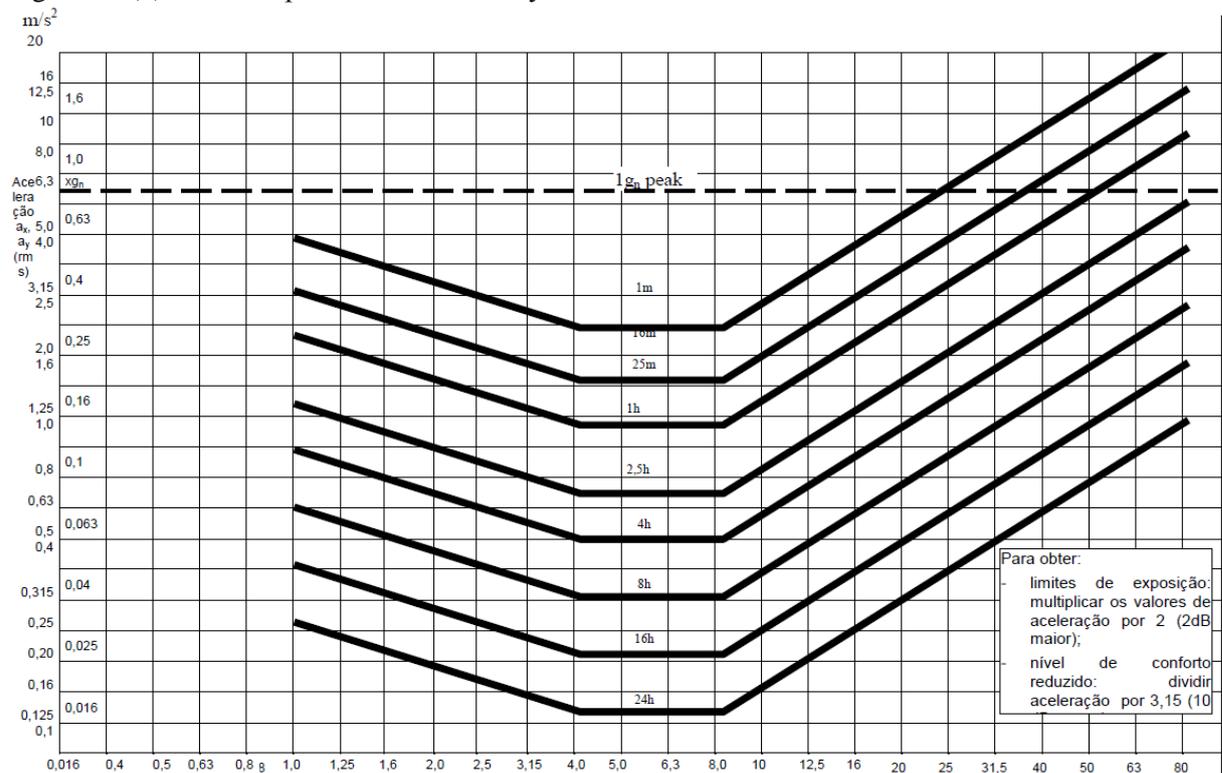
Na figura 32 (4) apresentam os limites para os eixos “x” e “y” e a figura 33 (4) apresenta o limite para o eixo “z”

Observa-se pelas tabelas 9 (4), 10 (4) e 11 (4), que o eixo “y” apresentou maior índice em relação aos outros eixos, “x” e “z”. Tanto na aceleração ponderada quanto em rms.

Durante as avaliações não houve relatos ou reclamações dos operadores de escavadeira referente a sensações desconfortáveis que poderiam sentir, e isso vem corroborar com os resultados obtidos. Porém os efeitos ocasionados pelo eixo “y” – lado direito ao lado esquerdo, só serão possíveis de verificação com acompanhamento médico durante a vida laboral.

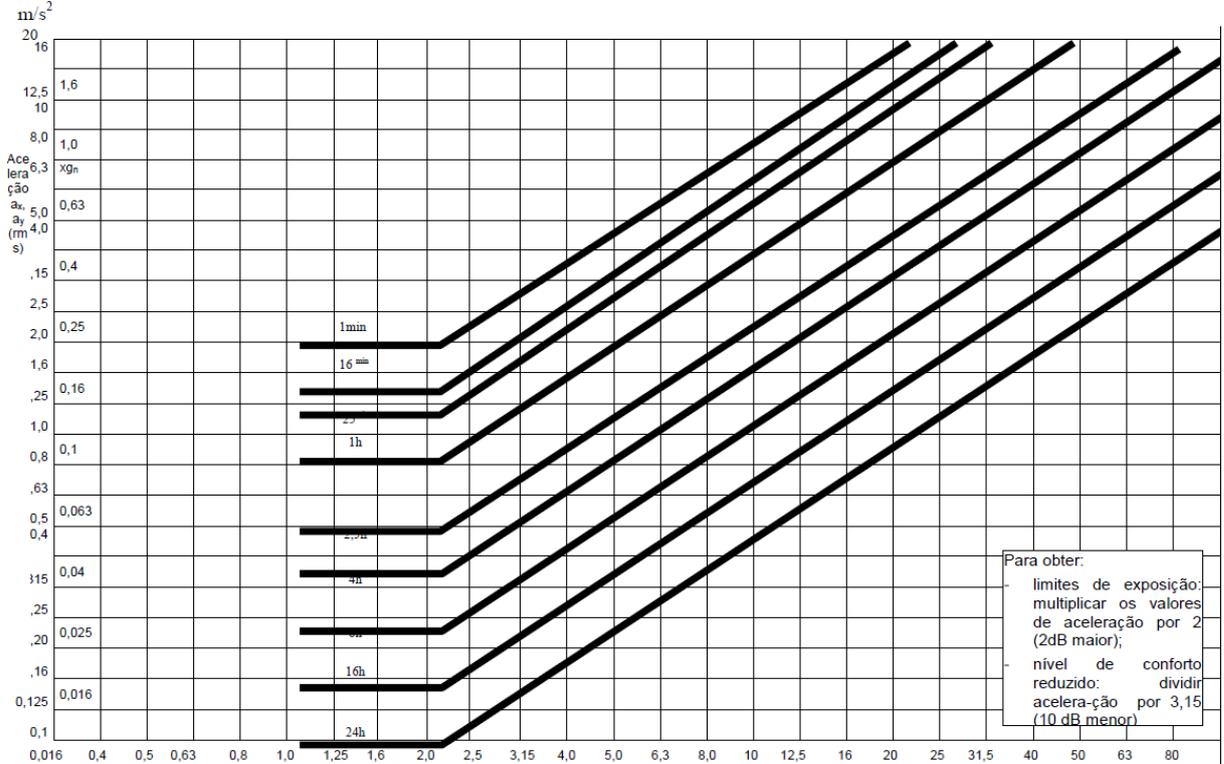
A figura 32 (4) mostra uma das curvas apresentadas na norma ISO 2631-1:1997, para os eixos “x” e “y” utilizadas na obtenção dos tempos limites de exposição, e figura 33 (4), para eixo “z”.

Figura 32 (4) - Limites para os eixos “x” e “y”.



Fonte: ISO 2631-1:1997

Figura 33 (4) - Limites para os eixos “z”.



Fonte: ISO 2631-1:1997

## 5 Conclusão

Neste capítulo estão apresentados as características favoráveis das escavadeira quanto aos aspectos de ergonomia, segurança, saúde e conforto. Caracteriza cada eixo com o ciclo de atividade, explicitando. Os resultados, aren e VDVR, enquadrado dentro dos limites aceitáveis das normas NHO 09 e NR 15, e sugestão para trabalhos futuros considerando somente o eixo y, devido o trabalho de rotação com seus efeitos sobre o operador.

No caso em estudo as escavadeiras hidráulicas observadas durante a análise de Vibração de Corpo Inteiro, apresentam aspectos ergonômicos e de segurança favoráveis a saúde e integridade física do trabalhador. Todas possuíam condicionadores de ar contribuindo para que o operador não entrasse em contato com possíveis agentes ambientais externos, como poeira, calor e ruído; cinto de segurança, extintor de incêndio, apoio para os pés e proteção da cabine contra tombamento dentre de outros itens.

O acesso a cabine era facilitado com apoio para os pés e mãos, colocados de forma que o acesso fosse seguro. Quanto ao conforto, este deve ao sistema de amortecimento da cabine a qual está montada sobre coxins hidráulico e do sistema de amortecimento do assento, devido ao material de que o mesmo é feito e aos ajustes que o banco (assento e encosto) que permitem que sejam feitos, como a regulagem vertical e longitudinal.

O espaço envolvente, cabine, permite que o operador possa esticar as pernas, não apresentando restrição quanto as características antropométricas dos operadores das escavadeiras analisadas. O ciclo de trabalho observado permite também que o mesmo possam sair da máquinas para relaxar. Os operadores de escavadeiras possuíam carteira de habilitação “E” devido a exigência da empresa.

Quanto ao agente físico vibração, observou-se que o efeito deste no eixo  $z$  – *pés a cabeça* é minimizado devido a escavadeira possuir ajuste de peso do operador, conjunto de amortecimento na base do assento, do material de que o assento é constituído, pela cabine está

apoiada sobre coxins hidráulicos e por fazer pouco movimento de translado. Também outro fator importantíssimo observado foi o solo em as escavadeiras estavam trabalhando.

As atividades em Paraipaba/Ce, Trairí/Ce, Aquiraz/Ce ficavam no litoral, com o solo semelhante a areia de dunas, suave. Quanto a atividade em Maracanaú/Ce, qual ficava próximo ao litoral, a areia possuía uma granulometria maior que a areia de dunas, mas também suave.

O efeito no eixo  $x$  – *costa/frente* foi baixo pois o movimento de translado era de pequena distância, geralmente entre cinco (5) a dez (10) metros a cada 20 minutos, como o solo também contribui para este índice.

No eixo  $y$  – *lado direito ao lado esquerdo*, este possui elevado índice devido ao movimento rotacional que a escavadeira faz, podendo a mesmo fazer giro de 360°, confirmando os dados obtidos. Este foi o movimento predominante nas atividades, uma vez que esta máquina foi concebida e projetada para essa finalidade.

Com relação aos efeitos relacionados a vibração de corpo inteiro citados em literaturas, por exemplo dor de cabeça, dor nas costas, fadiga muscular, efeito no sistema gastrointestinal dentre outros não foram citados pelos operadores. Isto, também, colabora com os resultados obtidos.

Desta forma, os resultados obtidos,  $a_{\text{ren}}$  ( $\text{m/s}^2$ ) para as escavadeiras Caterpillar, Case e Komatsu de 0,009204, 0,009694 e 0,009784 respectivamente e VDVR ( $\text{m/s}^{1,75}$ ) 0,263330, 0,274789 e 0,279576 respectivamente também ficaram abaixo dos valores de referência da exposição ocupacional à vibração, da NHO 09.

Quanto aos valores referência para tomada de decisão, NHO 09, o resultado foi considerado tecnicamente aceitável e recomendado permanecer nesta situação.

Assim, com as características analisadas, solo, escavadeira, ciclo de trabalho e ciclo de atividade, o trabalho é considerado aceitável e salubre.

Uma sugestão para futuros trabalhos com escavadeiras hidráulicas sobre esteiras seria os efeitos da vibração no eixo Y, já que este é predominante sobre os demais, pois existe muito mais movimentos rotacional, do que de deslocamento e vertical.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO/TR 25398**: máquinas rodoviárias: diretrizes para avaliação da exposição à vibração transmitida ao corpo humano por máquinas que transportam o operador: utilização de dados harmonizados medidos por institutos internacionais, organizações e fabricantes. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10263-1**: máquinas rodoviárias: ambiente do compartimento do operador – Parte 1: termos e definições. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 11112**: máquinas rodoviárias: assentos do operador: dimensões e requisitos. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 11226**: ergonomia: avaliação de posturas estáticas de trabalho. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 20474-5**: máquinas rodoviárias: segurança-Parte 5: requisitos para escavadeiras hidráulicas. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 20474-5**: máquinas rodoviárias: segurança-parte 5: requisitos para escavadeiras hidráulicas. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 3411**: máquinas rodoviárias: dimensões físicas de operadores e espaço envolvente para o operador. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 7096**: máquinas rodoviárias: avaliação em laboratório da vibração transmitida pelo assento do operador. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 7250-1**: medidas básicas do corpo humano para o projeto técnico-parte 1: definições de medidas corporais e pontos anatômicos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO NM-6165**: máquinas rodoviárias: tipos básicos: identificação e termos e definições. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM-ISO 5353**: máquinas rodoviárias, tratores e máquinas agrícolas e florestais: ponto de referência do assento. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA PARA CONSTRUÇÃO E MINERAÇÃO (SOBRATEMA). **Estudo sobratema do mercado brasileiro de equipamentos para construção**. Disponível em: <[www.sobratema.org.br](http://www.sobratema.org.br)>. Acesso em: 21 de jan. 2015.

BELLUSCI, S. M. **Doenças profissionais ou do trabalho**. 10. ed. São Paulo: Senac, 1996.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 09**: programa de prevenção de riscos ambientais. Disponível em: <[www.mte.gov.br/legilacao/norma-regulamentadoras](http://www.mte.gov.br/legilacao/norma-regulamentadoras)>. Acesso em: 10 dez. 2014.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15**: anexo nº 8: atividades e operações insalubres. Disponível em: <[www.mte.gov.br/legilacao/normas-regulamentadoras](http://www.mte.gov.br/legilacao/normas-regulamentadoras)>. Acesso em: 10 dez. 2014.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 17**: anexo 2: trabalho em teleatendimento/telemarketing. Disponível em: <[www.mte.gov.br/legilacao/norma-regulamentadoras](http://www.mte.gov.br/legilacao/norma-regulamentadoras)>. Acesso em: 10 dez. 2014.

BREVIGLIERO, E., POSSEBON, J., SPINELLI, R., **Higiene ocupacional**: agentes biológicos, químicos e físicos. 3. ed. São Paulo: Senac, 2006.

CUNHA, I. A. **Níveis de vibração e ruído gerados por motosserras e sua utilização na avaliação da exposição ocupacional do operador à vibração**. 2000. 154p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

DORNELAS, Juliana Gonçalves. **Influência da vibração de corpo inteiro e/ou na audição de indivíduos sentados**. 2011. 141p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

DUL, Jan; WEERDMEEESTER, Bernard. **Ergonomia prática**. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2012.

FALZON, P. **Natureza, objetivos e conhecimentos da ergonomia**: elementos de uma análise cognitiva da prática. São Paulo: Blucher, 2007.

FERNANDES, João Cândido. **Segurança nas vibrações sobre o corpo humano**. Disponível em: <[www.feb.unesp.br/jcandido/vib/Apostila.doc](http://www.feb.unesp.br/jcandido/vib/Apostila.doc)>. Acesso em: 30 nov de 2014.

FONTANA, Gustavo. **Avaliação ergonômica do projeto interno de cabines de *forwarders* e *skidders***. 2005. 80 p. Dissertação (mestrado) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

FRANCHINI, Danilo. **Análise do nível de vibrações verticais no assento de um trator agrícola.** Santa Maria, 2007. 149p Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO, DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO (FUNDACENTRO). **Norma de higiene ocupacional 09 (NHO 09):** avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro: procedimento técnico. Disponível em: <[www.fundacentro.gov.br/biblioteca/normas-de-higiene-ocupacional](http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/normas-de-higiene-ocupacional)>. Acesso em: 30 nov. 2014.

GERGES, Samir N. Y. **Ruído: fundamentos e controle.** 2. ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

GUIMARÃES, Lia Buarque de Macedo. **Ergonomia de produto: antropometria, fisiologia e biomecânica.** 5. ed. Porto Alegre: FEENGE, 2004.

GUIMARÃES, Nelson. **Equipamentos de construção e conservação.** Curitiba: UFPR, 2010.

HALL, Susan J., **Biomecânica básica.** 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

IIDA, Itiro. **Ergonomia: projeto e produção.** 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Classes de solos.** Disponível em: <[http://www.ipece.ce.gov.br/categoria5/tematicos/Tematicos\\_thumbs/13\\_classes\\_solos.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/categoria5/tematicos/Tematicos_thumbs/13_classes_solos.pdf)>. Acesso em: 15 fev. 02 2015.

JORNAL OFICIAL DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. **Directiva 2002/44/CE:** relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde espreitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (vibrações). Disponível em: <[http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:546a09c0-3ad1-4c07-bcd5-9c3dae6b1668.0010.02/DOC\\_1&format=PDF](http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:546a09c0-3ad1-4c07-bcd5-9c3dae6b1668.0010.02/DOC_1&format=PDF)>. Acesso em: 10 jan. 2015.

KROEMER, K. H. E.; GRANDJEAN, E., **Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MORAES, A.; MONT'ALVÃO, C. **Ergonomia: conceitos e aplicações.** 2.ed. Rio de Janeiro: 2AB, 2000.

MORAES, Ana Maria de. **Avisos, advertências e projeto de sinalização: Ergodesign Informacional.** Rio de Janeiro: IUSER, 2002.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Código internacional de doenças (CID-10): Lista de doenças relacionadas ao trabalho: Lista A - código 22: vibrações. [S.l.]: Edusp, 2008.

SALIBA, T. M.; CORRÊA, M. A. C. **Insalubridade e periculosidade**: aspectos técnicos e práticos. 5. ed. São Paulo: LTr, 2000.

SALIBA, Tuffi Messias. **Curso básico de segurança e higiene ocupacional**. São Paulo: LTr, 2004.

SALIBA, Tuffi Messias. **Higiene do trabalho e programa de prevenção de riscos ambientais-PPRA**. 3. ed. São Paulo: LTr, 2002.

SALIBA, Tuffi Messias. **Manual prático de avaliação e controle de ruído: PPR**A. 6. ed. São Paulo: LTr, 2011.

SALIBA, Tuffi Messias. **Manual prático de avaliação e controle de calor: PPR**A. 3. ed. São Paulo: LTr, 2010.

SALIBA, Tuffi Messias. **Manual prático de avaliação e controle de vibrações: PPR**A. 3. ed. São Paulo, LTr, 2014.

SANTOS, N. et al. **A ergonomia dos sistemas de produção**. Curitiba: Gênese, 1997.

SOARES, Marcelo Márcio. **Antropometria**. Apostila do curso de mestrado em ergonomia. UFPE. 2013.

SOTELO JR, José; FRANÇA, Luis Novaes Ferreira. **Introdução às vibrações mecânicas**. São Paulo: Blucher, 2013.

THOMSON W. T. **Teoria das vibrações com aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1978.

VENDRAME, Antonio Carlos. **Gestão do risco ocupacional**. 2. ed. São Paulo: IOB, 2008.

VIDAL, Mario Cesar Rodriguez. **Guia para análise ergonômica do trabalho (AET) na empresa**: uma metodologia realista, ordenada e sistematizada. Rio de Janeiro: Virtual Científica, 2012.

VIEIRA, J. L. **Manual de ergonomia**: manual de aplicação da norma regulamentadora nº 17. 2. ed. São Paulo: EDIPRO, 2011.

XIMENES, Gilmar Machado. **Gestão ocupacional da vibração no corpo humano, aspectos técnicos e legais relacionados à saúde e segurança.** 2006. 150p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

YAMASHITA, Rosa Yasuko. **Avaliação das condições de trabalho e da exposição à vibração do operador de máquina de colheita florestal.** 2002. 70 p. Dissertação (Mestrado) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

# ANEXO A – Certificado de calibração



**CHROMPACK**  
Instrumentos Científicos Ltda.  
Desde 1966



## Certificado de Calibração

Certificate of Calibration

Certificado Nº 66.723
Página 1/2

**Dados do Cliente**

Nome: HSO Consultoria  
 Endereço: Avenida Antônio Jereis, Nº. 3651  
 Cidade: Fortaleza  
 Estado: CE  
 CEP: 80165-000

**Dados do Instrumento Calibrado**

Tip: Monitor de Vibração  
 Marca: Iwanick  
 Modelo: 87108  
 Nº de Série: 23873  
 Patrimônio: Não consta  
 Nº Processo: 25362  
 Data de Calibração: 11. fev. 2015



**Procedimento Utilizado:**  
 O procedimento operacional de calibração PRO-IME-VCI-2012

**Padrões Utilizados**

Nome	Certificado	Data de Calibração
IEV11	UT95-UT90-CO-2180	08/04/2014
Duodenário	R9C-LV25115-14-RO	26/07/2014
Terra-Hipótenú	R9C-LV2885-14-RO	26/07/2014

**Condições Ambientais**

Temperatura °C	Humidade Relativa %	Pressão Atmosférica mbar
24	42	935

**Resultados Obtidos:**  
 Os resultados foram obtidos através de aplicação de erros sistemáticos de acalibração a frequências conferidas previamente aos acelerômetros e comparados as tolerâncias de norma internacional ISO 9047. Para configurações dos resultados utilizamos como referências as normas internacionais ISO 2031 e ISO 5349.

Este certificado é válido somente para o instrumento especificado no campo de "Instrumento Calibrado". Os resultados apresentados não devem ser utilizados para fins legais, pois não foram avaliados de acordo com a Portaria 10.000 de 02 de Setembro de 2003, emitida pelo INMETRO, e não foram avaliados de acordo com a Portaria 10.000 de 02 de Setembro de 2003, emitida pelo INMETRO, e não foram avaliados de acordo com a Portaria 10.000 de 02 de Setembro de 2003, emitida pelo INMETRO.

Av. Engº Seneque de Oliveira, 388 - 60701-200 - Jd. Palácio - São Paulo - SP - Brasil  
 Fone: 51 11 8354-9528 - www.chrompack.net





## Certificado de Calibração

Certificate of Calibration

Certificado Nº 86.723

Página 2/2

VCI - Vibração do Corpo Livre - $\text{ms}^{-2}$ (1/12)					
Eixo calibrado X		Ponderação $W_d$ - RMS		Senso: $\text{mm/s}^2$	
Frequência Aplicada Hz	Aceleração Aplicada $\text{ms}^{-2}$	Valor Esperado $\text{ms}^{-2}$	Valor Medido $\text{ms}^{-2}$	Tolerâncias ISO8041	
15,92	1,0	0,125	0,112	0,141	0,112
79,58	1,0	0,021	0,018	0,208	0,019
158,2	1,0	0,004	0,004	0,004	0,003

Eixo calibrado Y		Ponderação $W_d$ - RMS		Senso: $\text{mm/s}^2$	
Frequência Aplicada Hz	Aceleração Aplicada $\text{ms}^{-2}$	Valor Esperado $\text{ms}^{-2}$	Valor Medido $\text{ms}^{-2}$	Tolerâncias ISO8041	
15,92	1,0	0,128	0,12	0,141	0,112
79,58	1,0	0,021	0,018	0,208	0,019
158,2	1,0	0,004	0,004	0,004	0,003

Eixo calibrado Z		Ponderação $W_k$ - RMS		Senso: $\text{mm/s}^2$	
Frequência Aplicada Hz	Aceleração Aplicada $\text{ms}^{-2}$	Valor Esperado $\text{ms}^{-2}$	Valor Medido $\text{ms}^{-2}$	Tolerâncias ISO8041	
15,92	1,0	0,114	0,098	0,097	0,089
79,58	1,0	0,023	0,018	0,148	0,018
158,2	1,0	0,029	0,026	0,032	0,026

**OBSERVAÇÃO:** As evidências da rastreabilidade estão armazenadas na CHROMPACK para consulta.  
 Certificado assinado eletronicamente.  
 A incerteza expandida  $k=2$  das medições não excede a 1,7% relativo a medição.  
 Não há erro de abrangência:  $k=2,50$ .

Técnico Responsável pela Calibração

Téc. Daniel Verra Code

Responsável Técnico pela Calibração

Eng. Alexandre Paschoa da Silva  
 CREA nº 500914782