



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

RICARDO LUÍS ALVES DA SILVA

**EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL À VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO EM  
OPERADORES DE MÁQUINAS PORTUÁRIAS DE MOVIMENTAÇÃO DE  
CONTÊINERES**

Recife  
2023

RICARDO LUÍS ALVES DA SILVA

**EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL À VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO EM  
OPERADORES DE MÁQUINAS PORTUÁRIAS DE MOVIMENTAÇÃO DE  
CONTÊINERES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica

**Área de concentração:** Engenharia de Materiais e Fabricação

**Orientador:** Prof. Dr. Kleber Gonçalves Bezerra Alves

**Orientador:** Prof. Dr. Álvaro Antônio Ochoa Villa

**Coorientador:** Prof. Dr. José Ângelo Peixoto da Costa

Recife

2023

Catálogo na fonte  
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

S586e Silva, Ricardo Luís Alves da.

Exposição ocupacional à vibração de corpo inteiro em operadores de máquinas portuárias de movimentação de contêineres / Ricardo Luís Alves da Silva, 2023.

156 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Gonçalves Bezerra Alves.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Antônio Ochoa Villa.

Coorientador: Prof. Dr. José Ângelo Peixoto da Costa.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Recife, 2023.

Inclui referências e apêndices.

1. Engenharia mecânica. 2. Vibrações de corpo inteiro. 3. Distúrbios musculoesqueléticos. 4. Análise modal e harmônica. 5. Higiene ocupacional. 6. Ergonomia. 7. Método de elementos finitos. I. Alves, Kleber Gonçalves Bezerra (Orientador). II. Villa, Álvaro Antônio Ochoa (Orientador). III. Costa, José Ângelo Peixoto da (Coorientador) IV. Título.

621CDD (22. ed.)

UFPE  
BCTG / 2023 - 181

RICARDO LUÍS ALVES DA SILVA

**EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL À VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO EM  
OPERADORES DE MÁQUINAS PORTUÁRIAS DE MOVIMENTAÇÃO DE  
CONTÊINERES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica

Aprovada em: 12/07/2023

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Kleber Gonçalves Bezerra Alves (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dra. Nadège Sophie Bouchonneau da Silva (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Oscar Olímpio de Araújo Filho (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Allysson Macário de Araújo Caldas (Examinador Externo)  
Instituto Federal da Paraíba

---

Prof. Dr. Eduardo Padrón Hernandez (Examinador Externo)  
Universidade Federal de Pernambuco



Emitido em 12/07/2023

ATA DE DEFESA DE TESE N° 838/2023 - DEMEC (11.65.55)

(N° do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

*(Assinado digitalmente em 04/09/2023 19:05)*

KLEBER GONCALVES BEZERRA ALVES

COORDENADOR - TITULAR

PPGEMEC (11.65.17)

Matricula: ###104#4

*(Assinado digitalmente em 05/09/2023 13:31)*

LUANA ANTERO DE MELO

SECRETARIO EXECUTIVO

DEMEC (11.65.55)

Matricula: ###546#0

*(Assinado digitalmente em 11/09/2023 19:22)*

OSCAR OLIMPIO DE ARAUJO FILHO

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

DEMEC (11.65.55)

Matricula: ###969#2

Visualize o documento original em <http://sipac.ufpe.br/documentos/> informando seu número: 838, ano: 2023, tipo: ATA DE DEFESA DE TESE, data de emissão: 04/09/2023 e o código de verificação: 66cd0f3f42

Dedico este trabalho aos meus pais.

E conhecereis a verdade, e a verdade vos libertará.

João 8:32

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pela força e perseverança que me deu durante essa jornada.

Aos professores do PPGEM-UFPE por todo conhecimento cedido durante todas as disciplinas

Aos meus orientadores pela brilhante condução e apoio.

A toda minha família pelo apoio incondicional.

Ao terminal portuário e administração do porto por ter aberto as portas para realização desse trabalho.

Ao Instituto Federal - *Campus Recife* pelo forte apoio.

A Professora Soraya Rego Barros pela dedicação no intermédio inicial para o acesso ao terminal portuário.

## RESUMO

Considerando a expansão da movimentação mundial de cargas marítimas que cresce exponencialmente nos portos e para viabilizar essas demandas o uso crescente de máquinas portuárias, este trabalho visa avaliar como a operação de máquinas de movimentação de contêineres estão afetando seus operadores no que concerne as vibrações ocupacionais. Foram realizadas avaliações ergonômicas (desconforto e postura) e quantitativas de vibrações de corpo inteiro nos postos de trabalho do operador de portêiner e tractor em um porto situado na região nordeste do Brasil e desenvolvido um modelo homem assento em 3D com as devidas condições de contornos e estudados os resultados de análise modal e harmônica por elementos finitos no software ANSYS. Os dados de desconforto foram coletados utilizando o Questionário nórdico de sintomas musculoesquelético e os dados de postura de trabalho foram coletados e usados no método de na Avaliação Rápida de Todo o Corpo (REBA). Os resultados do questionário demonstraram que os distúrbios musculoesqueléticos são altamente prevalentes particularmente na coluna lombar, cervical e dorsal. Esses dados são ratificados pela pontuação final do REBA que ficou entre 6 e 7, o que revela o nível de risco mediano de postura do trabalhador durante a execução da tarefa. Quanto as exposições as vibrações os resultados obtidos apontaram para um contexto limítrofe, visto que tivemos a aceleração resultante de exposição normalizada (AREN) com os níveis de alerta ultrapassados em sua maioria (86,2%) o valor da dose de vibração resultante (VDVR) da mesma forma teve o nível de alerta ultrapassado na maioria dos casos (96,6%). Em relação ao limite máximo estabelecido pela legislação brasileira o AREN não chegou a ser ultrapassado, enquanto que o VDVR teve o limite máximo ultrapassado em 20% dos casos. A análise modal do modelo revelou que as primeiras 8 frequências naturais ficaram entre 5 e 13 hertz, faixa de frequência que abrange grande parte das frequências de ressonância do corpo humano. A análise harmônica revelou uma aproximação entre o modelo e resultados reais de aceleração na região de frequência de 1 a 5 Hz.

**Palavras-chave:** vibrações de corpo inteiro; distúrbios musculoesqueléticos; análise modal e harmônica; higiene ocupacional; ergonomia; método de elementos finitos.

## ABSTRACT

Considering the expansion of world movement of maritime cargo that grows exponentially in ports and to make these demands viable the increasing use of port machines, this work aims to evaluate how the operation of container handling machines is affecting their operators with regard to occupational vibrations. Ergonomic (discomfort and posture) and quantitative evaluations of whole body vibrations were quay crane and terminal tractor operator workstations in a port located in the northeast region of Brazil, and a 3D man seat model was developed with the necessary contours and conditions. studied the results of modal and harmonic analysis by finite elements in ANSYS software. Discomfort data were collected using the Nordic Musculoskeletal Symptom Questionnaire and work posture data were collected and used in the Rapid Whole Body Assessment (REBA). The results of the group demonstrated that musculoskeletal disorders are highly prevalent, especially in the lumbar, cervical and dorsal spine. These data are confirmed by the final evaluation of the REBA, which was between 6 and 7, which reveals the median risk level of the worker's posture during the execution of the task. As for the exposures to vibrations, the results obtained pointed to a borderline context, since they had the interference resulting from normalized exposure (AREN) with the alert levels exceeded in the majority (86.2%) the value of the resulting vibration dose (VDVR ) likewise had the alert level exceeded in most cases (96.6%). Regarding the maximum limit established by Brazilian legislation, the AREN was not exceeded, while the VDVR had the maximum limit exceeded in 20% of cases. The modal analysis of the model revealed that the first 8 natural frequencies were between 5 and 13 hertz, a frequency range that covers most of the resonant frequencies of the human body. The harmonic analysis revealed an approximation between the model and real acceleration results in the frequency region of 1 to 5 Hz.

**Keywords:** whole body vibration; musculoskeletal disorders; modal and harmonic analysis; occupational hygiene; ergonomics; finite element method

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gastos com concessões de auxílios doença por acidente de trabalho.....	19
Figura 2 - Eixos Basicêntricos do Corpo Humano .....	28
Figura 3 - Frequências de Ressonância do Corpo Humano .....	30
Figura 4 - Representação gráfica das unidades de medida de vibração ocupacional .....	31
Figura 5 - Vibrômetro (Medidor De Vibrações Ocupacionais).....	33
Figura 6 - Acelerômetro Tipo Seat Pad .....	34
Figura 7 - Curvas de ponderação em frequência para vibração transmitida ao corpo inteiro $W_d$ e $W_k$ .....	35
Figura 8 - Postura do Operador de Portêiner .....	49
Figura 9 - Fluxo de Procedimentos da Pesquisa .....	62
Figura 10 - Portêiner .....	63
Figura 11 - Tractor .....	63
Figura 12 - Goniômetro .....	65
Figura 13 - Medição com Kinovea.....	65
Figura 14 - Operação Portêiner.....	66
Figura 15 - Operação Tractor.....	66
Figura 16 - Software DbA08 .....	66
Figura 17 - (A) Diagrama Esquemático do Sistema Assento Suspensão e (B) Modelo Mecânico para o Sistema Assento Suspensão .....	68
Figura 18 - Diagrama de Corpo Livre para o Sistema Suspensão Assento .....	69
Figura 19 - Modelo de Assento Utilizado Nas Simulações 1d .....	71
Figura 20 - Assento Ergoseat Ng H.....	72
Figura 21 - Modelo do Assento do Portêiner .....	73
Figura 22 - Modelo do Corpo Humano .....	73
Figura 23 - Modelo Sistema Homem Assento .....	74
Figura 24 - Malha 3d Tetraédrico. ....	75
Figura 25 - Malha 3d Hexaédrico .....	75
Figura 26 - Prevalência de Sintomas por Região do Corpo.....	79
Figura 27 - Posicionamento dos Punhos.....	82
Figura 28 - Percentual de Dor/Desconforto por Região do Corpo .....	86
Figura 29 - Resultado Aren Portêiner .....	89

Figura 30 - Resultado VDVR Portêiner.....	90
Figura 31 - Aceleração Média Resultante nos Eixos X,Y E Z no Tempo Portêiner ...	91
Figura 32 - Dose de Vibração nos Eixos X,Y e Z no Tempo Portêiner .....	91
Figura 33 - Distribuição de Frequência com a Aceleração no Eixo Z Portêiner .....	92
Figura 34 - Resultado Aren Tractor .....	92
Figura 35 - Resultado VDVR Tractor.....	94
Figura 36 - Aceleração Média Resultante Nos Eixos X,Y E Z No Tempo Tractor.....	95
Figura 37 - Dose de Vibração nos Eixos X,Y e Z no Tempo Tractor .....	95
Figura 38 - Distribuição de Frequência com a Aceleração no Eixo Z Tractor .....	96
Figura 39 - Resultado Aren Total da Amostra .....	98
Figura 40 - Cabine do Portêiner (Trolley). .....	99
Figura 41 - Lança Elevadiça.....	99
Figura 42 - Resultado VDVR Total da Amostra .....	99
Figura 43 - Caso 1 Deslocamento.....	101
Figura 44 - Caso 1 Aceleração .....	102
Figura 45 - Caso 1- Transmissibilidade X Frequência .....	102
Figura 46 - Caso 2 Deslocamento.....	103
Figura 47 - Caso 2 Aceleração.....	103
Figura 48 - Caso 2 - Transmissibilidade X Frequência .....	104
Figura 49 - Comparativo Caso 1 e 2 .....	104
Figura 50 - Caso 3 Deslocamento.....	105
Figura 51 - Caso 3 Aceleração.....	105
Figura 52 - Caso 3 - Transmissibilidade X Frequência .....	106
Figura 53 - Caso 4 Deslocamentos .....	106
Figura 54 - Caso 4 Aceleração.....	107
Figura 55 - Caso 4 - Transmissibilidade X Frequência .....	107
Figura 56 - Comparativo Caso 3 e 4 .....	108
Figura 57 - Caso 5 Deslocamentos .....	109
Figura 58 - Caso 5 Aceleração.....	109
Figura 59 - Caso 5 - Transmissibilidade X Frequência .....	110
Figura 60 - Comparativo Caso 4 E 5 .....	110
Figura 61 - 1º Modo de Vibração da Malha 01 .....	112
Figura 62 - Região de Deslocamento da Espuma na Malha 01 .....	112
Figura 63 - 1º Modo de Vibração da Malha 02 .....	113

Figura 64 - Região de Deslocamento da Espuma na Malha 02.....	113
Figura 65 - 1º Modo de Vibração da Malha 03 .....	114
Figura 66 - Região de Deslocamento da Espuma na Malha 03.....	114
Figura 67 - Deslocamento Máximo em Milímetros do Modelo .....	116
Figura 68 - Tensão Equivalente em Mega Pascal do Modelo.....	116
Figura 69 - Frequência Natural 1ª Modo .....	117
Figura 70 - Frequência Natural 2ª Modo .....	118
Figura 71 - Frequência Natural 3ª Modo .....	118
Figura 72 - Frequência Natural 4ª Modo .....	119
Figura 73 - Frequência Natural 5ª Modo .....	119
Figura 74 - Frequência Natural 8ª Modo .....	120
Figura 75 - Modelo com Configurações de Processamento .....	122
Figura 76 - Região do Assento Seleccionada para Análise.....	123
Figura 77 - Gráfico Frequência X Aceleração.....	124
Figura 78 - Gráfico Frequência X Deslocamento.....	124
Figura 79 - Posição do Acelerômetro entre o Operador e Região Central do Assento .....	125
Figura 80 - Sala de Operação Remota de Portêiner .....	126
Figura 81 - Tractors Robôs .....	127

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sensibilidade do corpo as vibrações .....	21
Tabela 2 - Tipos de Acelerômetros .....	33
Tabela 3 - Pontuação Para o Tronco .....	47
Tabela 4 - Níveis de Ação do Reba.....	47
Tabela 5 - Levantamento de Estudos Recentes sobre o tema da pesquisa .....	59
Tabela 6 - Parâmetros de Rigidez, Amortecimento e Massa para Simulação 1d .....	70
Tabela 7 - Parâmetros de Malha .....	74
Tabela 8 - Resultados Preliminares do QNSM .....	78
Tabela 9 - Resultados Detalhados de Prevalência de Sintomas Musculoesqueléticos .....	80
Tabela 10 - Pontuações Reba com Frequência e Porcentagem de Participantes ....	81
Tabela 11 - Teste Qui-Quadrado ou Teste Exato de Fisher e Teste de Mann- Whitney .....	84
Tabela 12 - Teste Qui-Quadrado ou Teste Exato de Fisher Dor X Tratamento .....	85
Tabela 13 - Critério de Julgamento e Tomada de Decisão – NHO 09 .....	88
Tabela 14 - Resultados de Aren e VDVR – Operadores de Portêiner .....	89
Tabela 15 - Resultados de Aren e VDVR - Operadores de Tractor .....	93
Tabela 16 - Teste de Significância entre Equipamentos e VCI.....	97
Tabela 17 - Casos de Dados de Rigidez, Amortecimento e Massa.....	101
Tabela 18 - Análise dos Deslocamentos .....	115
Tabela 19 - Frequências Naturais dos Modos de Vibração .....	117
Tabela 20 - Fatores de Participação Modal por Eixo .....	120
Tabela 21 - Condições de Contorno para Análise Harmônica .....	122
Tabela 22 - Resultado da Análise Harmônica .....	123
Tabela 23 - Aceleração Real X Aceleração no Modelo .....	125

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
ANSI	American National Standards Institute
AREN	Aceleração resultante de exposição normalizada
ASTM	American Society for Testing and Materials
BSI	British Standards Institution
CAD	Computer-aided design
CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ISO	International Organization for Standardization
LER	Lesão por Esforço Repetitivo
MEF	Métodos de Elementos Finitos
MSDs	Musculoskeletal disorders
NBR	Norma Brasileira
NHO	Norma de Higiene Ocupacional
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NR	Norma Regulamentadora
OWAS	Ovako Working Posture Analysis System
QNSM	Questionário Nórdico de Sintomas Musculoesqueléticos
REBA	Rapid Entire Body Assessment
RMS	Root Mean Square
ROSA	Rapid Office Strain Assessment
RULA	Avaliação Rápida de Membros Superiores
SEAT	Seat Effective Amplitude Transmissibility
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
TCLE	Termo de Compromisso Livre e Esclarecido
VCI	Vibrações de Corpo Inteiro
VDV	Valor da Dose de Vibração
VDVR	Valor da Dose de Vibração Resultante
VMB	Vibração de Mão e Braço

## LISTA DE SIMBOLOS

<i>Símbolo</i>	<i>Denominação</i>	<i>Unidade</i>
A	Área	m <sup>2</sup>
g	Aceleração	m/s <sup>2</sup>
f	Frequência	Hz
m	Massa	Kg
p	Tensão de Von Misses	MPa
k	Rigidez	N/m
b	Amortecimento	Ns/m

### Letras gregas

<i>Símbolo</i>	<i>Denominação</i>	<i>Unidade</i>
ζ	Razão de Amortecimento	

### Sobrescrito

<i>Símbolo</i>	<i>Denominação</i>	<i>Unidade</i>
®	Marca registrada	-

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	17
1.1	MOTIVAÇÃO .....	19
1.2	OBJETIVO GERAL.....	22
1.2.1	Objetivos Específicos .....	22
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	24
2.1	VIBRAÇÕES – CONCEITOS.....	24
2.2	CLASSIFICAÇÃO DAS VIBRAÇÕES .....	24
2.3	VIBRAÇÕES OCUPACIONAIS .....	25
2.3.1	Vibrações Ocupacionais de Corpo Inteiro (VCI).....	26
2.3.2	Avaliação de Vibração de Corpo Inteiro.....	32
2.3.3	Análise de Vibração de Corpo Inteiro na Posição Sentada.....	35
2.3.4	Controle da Exposição Ocupacional a Vibrações de Corpo Inteiro .....	38
2.4	ANÁLISE ERGONÔMICA DE POSTURA.....	41
2.5	VIBRAÇÕES OCUPACIONAIS EM OPERADORES DE MÁQUINAS.....	51
2.6	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	54
3	METODOLOGIA EMPREGADA .....	60
3.1	LOCAL, PARTICIPANTES E PERÍODO DA PESQUISA.....	61
3.2	PREVALÊNCIA DE SINTOMAS MUSCULOESQUELÉTICOS .....	63
3.3	ANÁLISE ERGONÔMICA DE POSTURA.....	64
3.4	AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO (VCI) ..	65
3.5	MODELAGEM NUMÉRICA E COMPUTACIONAL .....	66
3.5.1	Modelo Dinâmico Numérico Unidimensional.....	67
3.6	PROCESSAMENTOS E ANÁLISE DOS DADOS .....	75
4	RESULTADOS .....	77
4.1	RESULTADOS DAS ANÁLISES ERGONÔMICAS.....	77
4.2	RESULTADOS DAS ANÁLISES DE OCORRÊNCIAS DE SINTOMAS MUSCULOESQUELÉTICOS .....	77
4.3	RESULTADOS DE ANÁLISE POSTURAL .....	80
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....	82
4.4.1	Discussões dos resultados de análises ergonômicas e de postura.....	85
4.5	RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES DE VIBRAÇÃO OCUPACIONAL DE CORPO INTEIRO – VCI .....	87

4.5.1	Discussões dos resultados das avaliações de vibração de corpo inteiro .....	97
4.6	RESULTADOS E DISCUSSÕES DAS SIMULAÇÕES .....	99
4.6.1	Resultados e Discussões de Simulações 3D .....	111
4.6.2	Análise Estrutural, Modal e Harmônica .....	115
4.7	DISCUSSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES .....	126
5	CONCLUSÕES .....	128
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	131
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>132</b>
	<b>APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO –</b>	
	<b>TCLE.....</b>	<b>140</b>
	<b>APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO DE SINTOMAS MÚSCULO</b>	
	<b>ESQUELÉTICOS – ADAPTADO.....</b>	<b>143</b>
	<b>APÊNDICE C – PARECER CONSUBSTANCIADO DO CFE.....</b>	<b>145</b>
	<b>APÊNDICE D – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO.....</b>	<b>150</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Durante a Revolução Industrial as indústrias passaram por intensas modificações. Tais modificações consistem basicamente em: evolução tecnológica dos processos produtivos; descoberta de novas matérias-primas; aumento do volume de produção e busca por novos mercados pelas empresas. Esses eventos modificaram o cenário existente em muitos países, e percebe-se em pesquisa de várias publicações sobre acidentes que a velocidade do controle sobre essas novas tecnologias ainda não conseguiu acompanhar a velocidade de avanço da mesma.

Os avanços tecnológicos na área industrial resultam basicamente em aumento da produção, com maquinários cada vez mais capazes de agregar qualidade e velocidade ao processo, devido ao uso crescente da microeletrônica e engenharia de software, esses fatores, entre outros, tem contribuído para um aumento da disponibilidade de energia nas máquinas que, por sua vez, é transmitida aos seus operadores na forma de vibrações mecânicas. Esse contato do homem com as máquinas acaba expondo-o a vibrações oriundas destes maquinários e causando distúrbios a sua saúde. Com o advento da Indústria 4.0 ou quarta revolução industrial a integração entre máquinas e softwares estão cada vez mais latentes, usando tecnologias para automação e troca de dados, conceitos de sistemas ciberfísicos, internet das coisas e computação em nuvem. Essas tecnologias em breve tornarão possível ter um monitoramento em tempo real das vibrações e tomadas de decisões evitando paradas, diminuído manutenções corretivas e preventivas e por consequência reduzindo também doenças provocadas pelas vibrações (GERMANO; MELLO; MOTA, 2021).

Acompanhando esse crescimento diante de uma demanda de alta de produção, os sistemas de transporte e logística foram obrigados a se adequar com a criação de sistemas de controle, armazenamento, transporte de insumos e manufaturados. As capacidades de transporte terrestre, marítimo e aéreo tiveram seus volumes com crescimentos geométricos. Segundo dados da Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento - UNCTAD (2020), cerca de 80% do transporte do comércio global é efetuado por via marítima. E com isso, o transporte marítimo está sempre evoluindo e é cada vez mais importante para as trocas comerciais e a economia mundial.

De acordo com o UNCTAD Handbook 2020 o transporte mundial de carga marítima passou em 1970 de 2566 milhões de toneladas para 11,8 bilhões de toneladas em 2019.

Os portos marítimos são instalações de grande importância para a economia de um país, uma vez que as cargas movimentadas podem evoluir a grandes quantidades, como também o transporte de passageiros. As atividades portuárias geralmente são associadas à poluição da água, do ar, contaminação do solo e a problemas relacionados com a poeira e ruído, à geração de resíduos, operações de dragagem, movimentação de navios, caminhões e vagões, entreposto de armazenamento de substâncias perigosas, etc. (DARBRA; CASAL, 2004).

Segundo os dados apresentados pela World Shipping Council (2021), do ranking de portos movimentadores de contêineres, os maiores portos do mundo estão situados na região Asiática, principalmente na China. O porto de Shanghai, na China, em 2020 movimentou 47.5 milhões de TEU (TwentyFeet Equivalente Unit – Unidade de medida de um contêiner).

O uso de contêineres para movimentação de cargas em portos é uma crescente devido à praticidade de acondicionamento nos navios, como também de transporte em caminhões e vagões de trens. A criação do contêiner segundo vários autores remonta para a década de 30 pelo Norte-americano Malcom McLeam, fundador da empresa SeaLand. Mais tarde a 26 de abril de 1956, ficou oficialmente conhecido quando um navio petroleiro de guerra com uma armadura de aço, carregado com 58 contêineres de alumínio atracou numa doca em Newark, New Jersey. Em 01 de maio deste mesmo ano, um navio a vapor em Houston atracou com 58 caminhões que transportavam as caixas de metal, utilizando uma grua especialmente construída e levou-as para seus usuários finais. Existe uma padronização mundial de suas dimensões e os portos são dotados de movimentadores de contêineres especialmente desenvolvidos (FABIANO et al, 2010). Essas máquinas realizam a movimentação dos mesmos no pátio de armazenamento do porto como também carregam e descarregam os navios. Os volumes de movimentação acabam atribuindo um ritmo acelerado e extenso de trabalho aos operadores, deixando-os cada vez mais expostos às transmissões de vibrações de corpo inteiro (VCI) oriundas dessas máquinas. As exposições prolongadas a essas vibrações podem afetar a região da coluna dos operadores trazendo sintomas musculoesqueléticos que ocasionam doenças (GRIFFIN,1990).

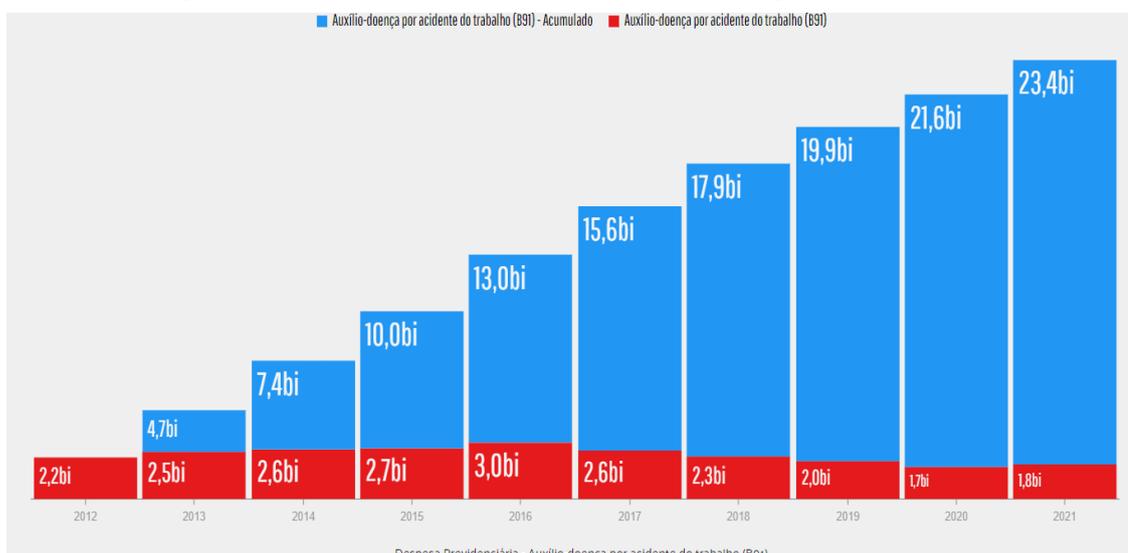
Os guindastes de cais, Porteiner, realizam o carregamento e descarregamento dos contêineres no navio. O Transteiner realiza a movimentação dos contêineres no pátio de armazenamento juntamente com a empilhadeira de alcance ou reach stacker (RS). O transporte dos contêineres do pátio para o cais, e vice-versa, são realizados pelos caminhões de movimentação interna - IMV (*Internal Movement Vehicle*) também conhecido como tractor.

Nesse sentido, este trabalho procura estudar as vibrações produzidas por estas máquinas com mensurações no local e simulações computacionais de transmissão de vibrações para o operador para posterior comparação e possível validação. As simulações vão ajudar nas avaliações preliminares para tomada de decisão a respeito da real necessidade de medições reais de vibração devido a dificuldade de acesso ao equipamento. Paralelamente serão realizadas avaliações ergonômicas de postura dos operadores objetivando verificar a potencialização desse fator nas consequências das exposições as vibrações e enfim sugerir mecanismos de avaliação e controle para prevenção de doenças.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

No Brasil em 2021 os gastos com a concessão de auxílios previdenciários devido a acidentes e doenças do trabalho somaram 1.8 bilhões de reais e desde 2012 acumulam 23,4 bilhões de reais conforme Figura 1. Grande parte desses benefícios são decorrentes de afastamentos por distúrbios musculoesqueléticos.

Figura 1 - Gastos com concessões de auxílios doença por acidente de trabalho



Fonte: Smartlab, 2023

Segundo o Ministério da Saúde (2019) as Lesões por Esforços Repetitivos (LER) e os Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT) são as doenças que mais afetam os trabalhadores brasileiros. O levantamento mostrou que, em 10 anos, ocorreu um aumento 184% no índice nesse mesmo período. A exposição a vibração ocupacional é responsável por parcela significativa desses casos de LER e DORT.

Muito presente, mas por vezes ignorada no passado, as vibrações estão sendo cada vez mais reconhecidas como um risco ocupacional para o conforto, o desempenho e a própria saúde do ser humano (UPADHYAY; BHATTACHERJEE; PATRA; CHAU, 2022). No Brasil, em 2014, as normas regulamentadoras (NR) 09 e 15 sofreram alterações significativas em relação à exposição ocupacional a vibrações. Essas normas foram acrescentadas de anexos que determinaram legalmente os limites de tolerâncias para vibrações de mão e braço (VMA) e vibração de corpo inteiro (VCI). A partir deste advento, as empresas passaram a dar uma atenção maior à questão da exposição ocupacional às vibrações, como também a fiscalização foi mais intensificada. Por sua vez, essas questões ainda pouco exploradas no Brasil inclusive na área portuária, passaram a ser mais estudadas nos centros de pesquisa de todo país, motivo pelo qual se propõe este estudo na área de máquinas portuárias.

A produção de vibrações está, normalmente, associada a desequilíbrios, tolerâncias e folgas das diferentes partes constituintes de cada máquina, podendo ainda resultar do contato da máquina vibrante com a estrutura. Se as vibrações assim produzidas, mesmo de pequena amplitude, forem transmitidas a estruturas adjacentes, excitando as frequências de ressonância destas, serão geradas novas fontes produtoras de vibrações com maior amplitude (MANSFIELD, 2005).

Segundo Mansfield (2005), propagando-se transversalmente (ao longo dos eixos x ou y, ao longo dos braços ou através do tórax) e longitudinalmente (ao longo do eixo z, da coluna vertebral) ou em diversas direções ao mesmo tempo, as vibrações podem transmitir-se ao corpo todo ou a qualquer das suas partes. São classificadas em dois tipos, segundo o local do corpo atingido:

- Vibrações transmitidas ao corpo inteiro (VCI): são de baixa frequência e alta amplitude e situam-se na faixa de 0,5 a 80 Hz;
- Vibrações do sistema mão-braço – (VMB localizadas): situam-se na faixa de 8 a 1000 Hz.

Chaffin, Andersson e Martin (2006) afirma que o corpo humano é uma sofisticada estrutura biomecânica, e a sensibilidade a vibração pode envolver diversos fatores, tais como, postura, tensão muscular, frequência, amplitude e direção da vibração, como também a duração e a dose acumulada de exposição. A Tabela 01 apresenta um comparativo entre regiões do corpo sensíveis e suas principais fontes geradoras.

Tabela 1 – Sensibilidade do Corpo as Vibrações

<b><i>Frequência (Hz)</i></b>	<b><i>Sensibilidade</i></b>	<b><i>Fontes de Vibração</i></b>
0 a 2	Sistema Vestibular	Barcos, Veículos e aeronaves
2 a 30	Biomecânica: Ressonância do corpo	Veículos, aeronaves e guindastes
> 20	Músculos, tendões e pele	Ferramentas e máquinas

Fonte: (CHAFFIN; ANDERSSON; MARTIN, 2006)

No caso das máquinas portuárias em estudo, as vibrações se classificam como de corpo inteiro (VCI). As consequências geradas pela exposição às VCI mais comuns estão associadas a um aumento do risco de dor na zona lombar, dor ciática, e alterações degenerativas na coluna vertebral, incluindo lesões nos discos intervertebrais da zona lombar (BOVENZI, 2010).

Devido à grande demanda de movimentação de cargas via marítima, as operações portuárias de carga e descarga de navios geralmente funcionam em turnos ininterruptos, fazendo com que seus operadores trabalhem por longos períodos sem pausa. Essas longas jornadas podem expor de forma perigosa operadores de máquinas de movimentação de contêineres a vibrações de corpo inteiro, podendo causar efeitos na saúde e principalmente sintomas musculoesqueléticos na região da coluna vertebral (AZMI et al, 2019).

Com embasamento no exposto a presente pesquisa pretende identificar, considerando as características do trabalho dos operadores de máquinas portuárias de movimentação de contêineres, quais são os níveis de exposição diária à VCI, e quais fatores estão relacionados com o trabalho que são capazes de influenciar nesta exposição para criação de um modelo computacional 1D e 3D de forma que se possa simular diversos ambientes industriais, inclusive portuários para análise e tomada de

decisão. Além disso, sendo o operador exposto à VCI, pretende-se identificar a prevalência de sintomas músculo esqueléticos da coluna vertebral e, os fatores relacionados com o trabalho do operador que podem influenciar neste acometimento.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro (VCI), utilizando simulação computacional por elementos finitos, em operadores de máquinas portuárias de movimentação de contêineres.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

- Levantamento geral do quantitativo e informações básicas das máquinas de movimentação de contêineres do estabelecimento a partir de informações fornecidas pela empresa;
- Aplicação de questionário para levantamento do perfil e queixas dos operadores das respectivas máquinas;
- Realização de análise postural dos operadores no local utilizando o método REBA;
- Estabelecimento dos ciclos de trabalho de cada tipo de máquina e estratégia de amostragem;
- Levantamento quantitativo de níveis de VCI por máquina a qual os operadores estão expostos para verificação dos limites de tolerância;
- Desenvolvimento da Modelagem computacional 1D e 3D;
- Comparativo do modelo computacional com dados experimentais e/ou da literatura com vistas a validação;

## 1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos e 4 apêndices. No capítulo 1, apresenta-se a introdução, motivação, objetivos gerais e específicos e a organização da tese.

O capítulo 2 é dedicado a revisão de literatura de pesquisas realizadas no âmbito da avaliação da exposição a vibração de condutores de veículos e máquinas, suas posturas de trabalhos e estudos de simulação computacional de vibração na interface homem e assento bem como os fundamentos teóricos básicos sobre:

vibrações mecânicas, vibrações ocupacionais, vibrações de corpo inteiro, avaliação ocupacional de vibração de corpo inteiro, análise de transmissão de vibrações ocupacionais na posição sentada de operadores de máquinas, avaliação ergonômica postural, parâmetros teóricos para simulação computacional 1D e 3D. Esse estudo fundamentou as decisões estratégicas para planejamentos dos caminhos seguidos na pesquisa.

No capítulo 3, são apresentadas as metodologias empregadas para alcançar os objetivos específicos tais como a metodologia empregada nas análises de sintomas musculoesqueléticos e posturas de trabalho, aplicação da normatização de avaliação de vibração ocupacional de corpo inteiro e métodos empregados para realização das simulações 1D e 3D.

No capítulo 4 apresentamos os resultados e discussões das avaliações ergonômicas de postura e das entrevistas de queixas de sintomas musculoesqueléticos, bem como os resultados das avaliações quantitativas de vibrações de corpo inteiro. Os resultados de modelagem numérica e por elementos finitos do modelo homem assento definido e as condições de contorno também são apresentados. O capítulo também traz as principais considerações feitas para a realização do modelo e as discussões sobre os resultados com comparativos entre a modelagem e os resultados reais.

O capítulo 5 traz as conclusões relativas aos estudos e sugestões para trabalhos futuros nessa linha de pesquisa.

Por fim após a bibliografia o apêndice A apresenta o termo de consentimento livre e esclarecido utilizado nas pesquisas de campo, o apêndice B mostra o questionário de sintomas musculoesqueléticos aplicado com os operadores, o apêndice C apresenta o relatório do parecer consubstanciado do comitê de ética na pesquisa da UFPE. O apêndice D apresenta o certificado de calibração do vibrômetro utilizado nas avaliações quantitativas de vibrações ocupacionais.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 VIBRAÇÕES – CONCEITOS

A maioria das atividades humanas envolve vibração de uma forma ou de outra. Por exemplo, ouvimos porque nossos tímpanos vibram e vemos porque as ondas de luz sofrem vibrações. A respiração está associada ao movimento dos pulmões e andar envolve o movimento oscilatório de pernas e mãos (RAO, 2009).

Ruiz & Muñoz (1999) evidenciam com clareza e simplicidade em relação ao conceito de vibrações que ajudarão à sua compreensão. Os referidos autores apresentam o conceito de vibração como: “O movimento oscilante de um sistema elástico, relativamente a uma posição de referência”.

Na bibliografia consultada normalmente são citadas três componentes principais de um sistema vibratório: a forma de armazenamento da energia potencial (mola ou a elasticidade de um elemento), a forma de armazenamento da energia cinética (a massa ou a inércia) e a forma de perda da energia do sistema (amortecimento). O sistema vibratório, propriamente dito, implica a transformação de energia potencial para energia cinética e desta de volta para energia potencial. Caso o sistema seja amortecido, ocorre perda de energia a cada ciclo de vibração e, por isso, para assegurar a manutenção do sistema será necessário fornecer energia proveniente de uma fonte externa (RAO, 2009).

O conceito de grau de liberdade é muito importante quando se trata de vibrações mecânicas. Rao (2009), por exemplo, descreve-o como o número mínimo de coordenadas independentes necessárias para determinar com exatidão as posições das partes que constituem o sistema, num determinado momento (tempo).

### 2.2 CLASSIFICAÇÃO DAS VIBRAÇÕES

As vibrações se classificam em: vibração livre ou forçada, vibração não amortecida ou amortecida, vibração linear ou não linear, e vibração determinística ou aleatória (RAO, 2009). Na sequência apresenta-se uma descrição resumida de cada tipo.

- Vibração livre ocorre sempre que, após a transmissão inicial de energia, o sistema não é perturbado;

- Vibração forçada ocorre quando um sistema é submetido de forma repetida a uma transmissão de energia. Especial cuidado deve ser observado quando a frequência de perturbação do sistema (transmissão de energia) coincide com a frequência natural do sistema, potenciando deste modo as oscilações e comprometendo a integridade das estruturas que suportam o sistema. Nestas situações dizemos que o sistema entra em ressonância;
- Vibração não amortecida implica que não seja dissipada ou perdida energia do sistema, por fricção, atrito ou resistência, durante as oscilações;
- Vibração amortecida ocorre sempre que durante as oscilações do sistema, é perdida ou dissipada energia;
- Vibração linear verifica-se quando as componentes do sistema, massa, mola e sistema de amortecimento, se comportam de forma linear;
- Vibração não linear se verifica quando as componentes do sistema, massa, mola e sistema de amortecimento, não se comportam de forma linear. Este é o tipo de vibração mais frequentemente verificado nas situações reais de exposição à vibração (RAO, 2009).

Segundo Almeida (1990), geralmente as vibrações que ocorrem nas máquinas e estruturas são indesejáveis, não somente por causa dos movimentos desagradáveis, o ruído e as tensões dinâmicas, que causam fadiga e consequentemente falha na estrutura, mas também pelas perdas de energia e redução no desempenho que acompanham as vibrações. Por causa dos efeitos desastrosos das vibrações, deve-se ter uma análise cuidadosa do comportamento dinâmico das estruturas na fase de projeto, quando modificações podem facilmente ser feitas no sentido de eliminar as vibrações ou reduzi-las ao máximo possível.

### 2.3 VIBRAÇÕES OCUPACIONAIS

As pessoas são expostas principalmente a vibrações localizadas ou vibrações que afetam todo o corpo. Geralmente, a vibração localizada afeta apenas o sistema mão-braço, pois é causada por um indivíduo segurando um objeto vibratório, como uma ferramenta, peça de trabalho ou dispositivo de controle (por exemplo, um joystick, guidão ou volante). Nesse caso, a vibração é denominada Vibração “transmitida à mão” ou “Vibração de mão e braço (VMB)”. Quando a VMB atinge intensidades altas

por tempos relativamente longos é possível o desenvolvimento de uma doença caracterizada por distúrbios dos músculos, nervos, ossos, articulações e circulatórios, conhecida como síndrome dos dedos brancos, assim conhecida por causar forte falta de circulação sanguínea nas pontas dos dedos da mão, podendo levar até a necrose. Os efeitos da vibração transmitida à mão são mais acentuados em níveis relativamente altos de frequências, na faixa de 8 a 1000 Hz geralmente considerada a mais importante (MANSFIELD, 2005). A vibração localizada também pode ocorrer em outros locais, como nos pés devido a vibração do pedal, mas é incomum observar respostas humanas adversas nessas situações.

Quando a vibração atinge toda a pessoa exposta, ou seja, a vibração afeta todas as partes do corpo essa configuração é denominada de "Vibração do corpo inteiro (VCI)". Geralmente é transmitida através das superfícies dos bancos, encostos e no chão, embora também possa ser importante para quem está de pé, como para quem viaja em trens ocupados ou pacientes sendo transportados de ambulância. A maioria das exposições a vibrações no corpo inteiro está associada ao transporte onde os condutores ou passageiros de veículos estão expostos a distúrbios e impactos mecânicos enquanto viajam. A vibração do corpo inteiro pode afetar o conforto, o desempenho e a saúde, dependendo da magnitude, forma de onda e tempo de exposição. As pessoas são mais sensíveis a VCI na faixa de frequências de 1 a 20 Hz. Devido ao objeto desta pesquisa estar no campo das VCI's, o nível de aprofundamento em relação a VMB será limitado.

### **2.3.1 Vibrações Ocupacionais de Corpo Inteiro (VCI)**

Rao (2009) afirma que a exposição ocupacional de seres humanos à vibração resulta em dor, desconforto e eficiência reduzida. O efeito da exposição à VCI mais frequentemente reportado na bibliografia consultada é a "dor nas costas". Os estudos epidemiológicos são a base desta afirmação. Griffin e Bovenzi são dois autores que periodicamente realizam estudos deste tipo, procurando sistematizar o perfil das exposições e a sintomatologia reportada. Destacamos como primeira abordagem epidemiológica o livro publicado por Griffin em 1990 (COSTA; AREZES; MELO, 2012). Mas efeitos na visão, cognição, sistema circulatório e digestivo são relatados em inúmeras publicações. As vibrações podem prejudicar a aquisição de informações (por exemplo, pelos olhos), a saída de informações (por exemplo, por meio de movimentos das mãos ou pés) ou processos centrais complexos que ligam a entrada e saída (por

exemplo, aprendizagem, memória, decisão, fazer). Os maiores efeitos das vibrações de corpo inteiro ocorrem nos processos de entrada (principalmente visão) e nos processos de saída (principalmente no controle contínuo das mãos).

Os efeitos das vibrações na visão e no controle manual são causados principalmente pelo movimento da parte do corpo afetada (ou seja, o olho ou a mão). Esses efeitos podem ser atenuados reduzindo a transmissão de vibrações para a mão-olho ou tornando a tarefa menos sujeita a perturbações (por exemplo, aumentando o tamanho de uma tela ou reduzindo a sensibilidade de um botão). Frequentemente, os efeitos da vibração na visão e no controle manual podem ser bastante reduzidos com o redesenho da tarefa (GRIFFIN,1990).

Como resultado da associação entre a exposição à VCI e problemas de saúde, principalmente lombalgias, foram criadas normas de segurança para sugerir desde os procedimentos de coleta de dados até os níveis limite, acima dos quais a exposição é considerada particularmente prejudicial para os trabalhadores (RELACRE, 2014).

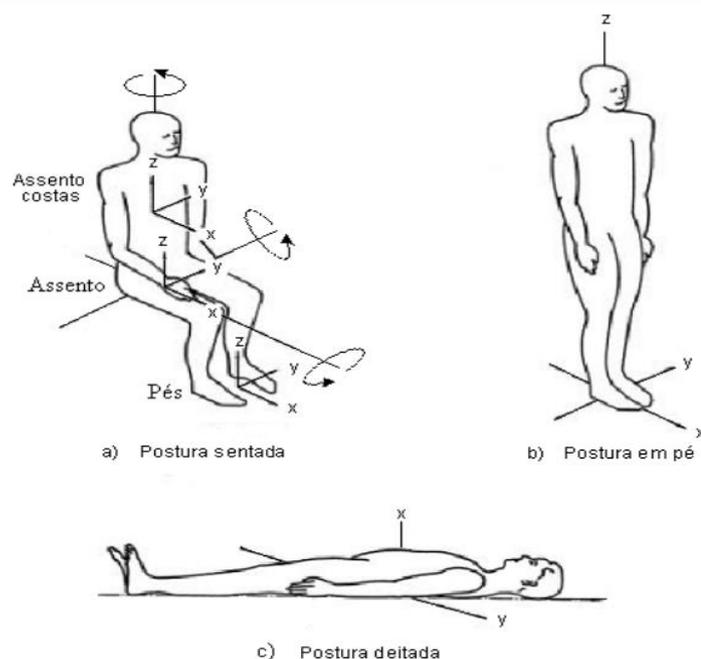
A Organização Internacional de Normalização (*International Organization for Standardization – ISO*) iniciou o desenvolvimento da norma ISO 2631 que trata da exposição ocupacional à VCI em 1966 e foi publicada pela primeira vez em 1974. Algumas discordâncias técnicas fizeram com que o Instituto Britânico de Padrões [*British Standards Institution (BSI)*] criasse sua própria norma, a BS 6841:1987—*Measurement and evaluation of human exposure to whole body mechanical vibration an drepeated shock*. Nos Estados Unidos, tanto o Instituto Nacional Americano de Padrões [*American National Standards Institute (ANSI)*] e a Conferência Governamental Americana de Higienistas Industriais [(*American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)*)] adotaram a ISO 2631 tanto para medição quanto para definir valores limite de exposição.

No Brasil, desde 2013, a exposição humana à VCI deve ser avaliada utilizando o método definido na Norma de Higiene Ocupacional (NHO) nº 09, em atenção às normas internacionais ISO 2631-1:2022- *Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration. Part 1- General Requirements* e ISO 8041:2017-*Human response to vibration- Measuring instrumentation* (SÃO PAULO, 2013). A NHO 09, assim como a ISO 2631-1:2022, descreve os procedimentos adequados para coleta dos dados, bem como a interpretação da exposição, que é dependente da frequência, da amplitude e do período de tempo de exposição.

A exposição ocupacional à VCI é medida com base nos movimentos provenientes de máquinas e/ou veículos do ambiente de trabalho para o corpo humano, transmitido através do assento para uma pessoa sentada ou do piso para uma pessoa em pé. Assim, ao avaliar a VCI, a aceleração deve ser medida na interface com o trabalhador, ou seja, na superfície do assento para uma pessoa sentada ou debaixo dos pés de uma pessoa em pé. A vibração é medida com o auxílio de um acelerômetro, que deve ser colocado em uma almofada de assento, que é de preferência fixada ou assentada com fita adesiva ou uma alça para assegurar que o acelerômetro permaneça na posição desejada e seja capaz de resistir a todas as alterações de posição do trabalhador (RELACRE, 2014).

A ISO 2631 (1997) e NHO 09 indicam que existem três possibilidades de posicionamento do corpo humano quando submetido à vibração de corpo inteiro, sendo elas: em pé, sentado ou deitado, conforme demonstrado na Figura 2 (SÃO PAULO, 2013).

Figura 2 - Eixos Basicêntricos do Corpo Humano



Fonte: São Paulo (2013)

Os eixos basicêntricos de coordenadas tem a origem no centro do tronco, e cada parte específica do corpo humano possui uma diferente resposta à vibração, por conta da frequência que raramente se propaga numa única direção, justificando a

necessidade nesses casos de estabelecimento de eixos para mensurar a exposição. Os eixos denominados X, Y e Z são a referência para mensurar as vibrações ocupacionais e estão representados conforme figura 10. O eixo X tem direção das costas para o peito, o eixo Y tem direção da direita para esquerda e o eixo Z tem direção dos pés para a cabeça, essas direções devem ser respeitadas quando no posicionamento do acelerômetro no local de medição.

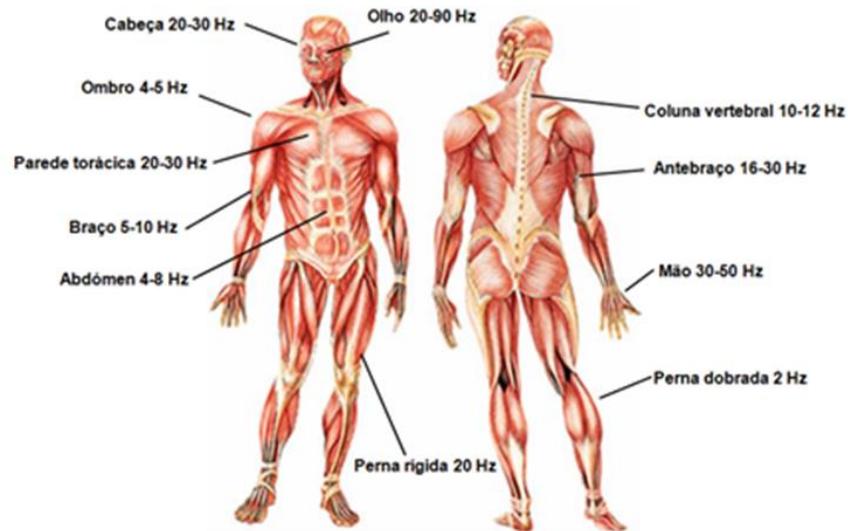
No âmbito da saúde ocupacional a posição sentada é de longe a considerada mais frequente, visto que nas condições de exposição a vibração, a operação de máquinas domina e o operador está sentado em quase cem por cento dos casos.

As vibrações de corpo inteiro são caracterizadas por serem vibrações de baixa frequência e alta amplitude situando-se na faixa de 1 a 80 Hz, mais especificamente de 1 a 20 Hz (FAI; DELBRESSINE; RAUTERBERG, 2007). O corpo humano pode ser considerado um sistema mecânico, porém heterogêneo, formado por vários segmentos compostos por faixa de frequências naturais distintas. Segundo Balbinot e Tamagna (2001), cada parte do corpo pode tanto amortecer, como amplificar as vibrações. Sendo que as amplificações ocorrem principalmente durante o fenômeno de ressonância, quando as partes do corpo vibram em frequências próximas às suas frequências fundamentais.

A Figura 3 ilustra as frequências de ressonância de algumas partes do corpo humano. Como pode ser observado, exposições a vibrações verticais de 4 a 8 Hz afetam o sistema tórax-abdômen, de 10 a 12 Hz na coluna vertebral e de 20 a 30 Hz na parede torácica, consideradas as partes do corpo humano que mais afetadas em atividades laborais sentadas submetidos à vibração.

Conforme Griffin (1990) as principais faixas de frequências as quais o corpo humano é exposto variam até 100Hz. As magnitudes de interesse ao estudo do corpo humano sob vibração são de  $0,01\text{m/s}^2$  a  $10\text{m/s}^2$  (pico), sendo essa última consideradas as mais prejudiciais. A intensidade de vibração encontrada em alguns veículos situa-se entre  $0,2\text{ m/s}^2$  e  $2\text{ m/s}^2$  (*r.m.s.*) ou até mais. Estes valores dependem do tipo de pista (asfalto, sem pavimento, acidentado) e do tipo do veículo (BALBINOT; TAMAGNA, 2001).

Figura 3 - Frequências de Ressonância do Corpo Humano



Fonte: Pardal (2015)

Para NHO 09 os parâmetros básicos para a avaliação da exposição à VCI são a *Aceleração Resultante de Exposição Normalizada (AREN)* e o *Valor da Dose de Vibração Resultante (VDVR)*. O limite de exposição adotado (limite de tolerância) que corresponde ao valor que se ultrapassado poderá trazer danos à saúde dos operadores, de acordo com a NR-09 e NHO-09 corresponde ao valor da  $AREN = 1,10 \text{ m/s}^2$  e  $VDVR = 21 \text{ m/s}^{1,75}$ . Da mesma forma a NR-09 considera o nível de ação, que corresponde a 50% do limite de tolerância e que se atingido algumas medidas de prevenção e conscientização já devem ser tomadas. O nível da ação para NR-09 e NHO-09 corresponde a  $AREN = 0,5 \text{ m/s}^2$  e  $VDVR = 9,1 \text{ m/s}^{1,75}$ . O AREN é calculado pela expressão 3.1.

$$AREN = ARE \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad [m/s^2] \quad 3.1$$

Onde T = tempo de duração da jornada diária de trabalho em horas ou minutos;

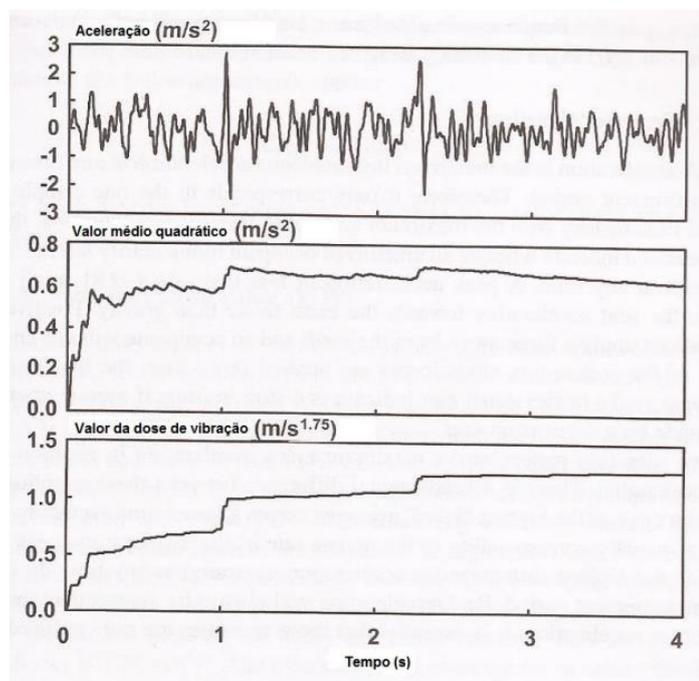
$T_0 = 8$  horas ou 480 minutos.

O ARE é a aceleração resultante de exposição (r.m.s.) que corresponde à aceleração média representativa da exposição ocupacional diária, considerando os três eixos ortogonais. Esse valor é calculado pelo equipamento de medição. O ARE é a denominação da NHO 09 para a aceleração raiz quadrada média (r.m.s.) relatada

pelo ISO 2631/97. A vibração por definição é um movimento que oscila em torno de um ponto fixo, dessa forma assumindo que não há translação, resultando um valor médio de um sinal igual a zero, pois todos os valores positivos cancelarão todos os valores negativos quando é medido por uma duração infinita ou por um número completo de ciclos em todas as frequências. Como tal, a média da aceleração não indicará a magnitude do sinal. O r.m.s. resolve este problema elevando ao quadrado cada valor no sinal, tomando a média e tirando a raiz quadrada deste valor final. A unidade de r.m.s. aceleração é  $m/s^2$ . Algumas das características do r.m.s. são ilustrados na Figura 4 onde o sinal de aceleração é caracterizado como vibração aleatória é apresentado como aceleração corrida, r.m.s., e VDV em execução medido para um sinal aleatório.

A aceleração corrida evolui em torno de um ponto médio ocorrendo uma anulação entre os pontos acima e abaixo desse ponto médio. O r.m.s. rapidamente itera para um valor estável, enquanto o VDV acumula continuamente.

Figura 4 – Representação Gráfica das Unidades de Medida de Vibração Ocupacional



Fonte: (MANSFIELD, 2005)

O VDVR é calculado pela expressão 3.2, onde o  $VDV_{exp_j}$  corresponde ao *valor da dose da exposição* representativo da exposição ocupacional diária no eixo  $j$ , sendo que  $j$  é igual a  $x$ ,  $y$  ou  $z$ .

$$VDVR = \sqrt[4]{[VDVexp_x + VDVexp_y + VDVexp_z]}.^4 \quad [m/s^{1,75}] \quad 3.2$$

O  $VDVexp_j$  é calculado pela expressão 3.3

$$VDVexp_{ji} = f_j VDV_{ji} \sqrt[4]{\frac{TE}{TM}} \quad [m/s^{1,75}] \quad 3.3$$

$VDV_{ji}$  = valor da dose de vibração medido no eixo “j” relativo a componente de exposição “i”, valor fornecido pelo equipamento;

TE = tempo total de exposição à vibração, ao longo de toda a jornada de trabalho, decorrente da componente de exposição “i” em estudo. Corresponde ao número de repetições da componente vezes o tempo de sua duração;

TM = tempo total utilizado para a medição das “s” amostras representativas da componente de exposição “i” em estudo.

$f_j$  = fator de multiplicação em função do eixo considerado ( $f = 1,4$  para os eixos “x” e “y” e  $f = 1,0$  para o eixo “z”).

### 2.3.2 Avaliação de Vibração de Corpo Inteiro

Qualquer sinal de vibração tem três parâmetros: deslocamento, velocidade e aceleração, que são indissociáveis. Para qualquer onda, o deslocamento, velocidade e aceleração não coincidem uns com os outros, de fato, para uma onda senoidal, o deslocamento e a aceleração têm uma relação inversa. Dependendo da frequência da vibração, o deslocamento, velocidade ou a aceleração pode dominar o mecanismo de perceber se um objeto está vibrando. Nas baixas frequências, o deslocamento é a propriedade mais importante, nas frequências intermediária e alta, velocidade e aceleração são as propriedades mais importantes, respectivamente (MANSFIELD, 2005).

Para avaliação da exposição ocupacional a vibração utiliza-se um vibrômetro, equipamento composto por um medidor integrador, acelerômetro e acessórios conforme Figura 5.

Transdutores de vibração, os acelerômetros são dispositivos responsáveis por medir aceleração, quando expostos a ela, mudam suas propriedades elétricas. Existem no mercado vários tipos de acelerômetros, dentre os mais comuns estão:

piezoresistivo, piezoelétrico, ICP (circuito integrado piezoelétrico) e capacitivo sendo que cada tipo requer seu próprio condicionamento de sinal. A Tabela 02 mostra as principais diferenças entre os tipos de acelerômetros.

Tabela 2 – Tipos de Acelerômetros

<b><i>Acelerômetro</i></b>	<b><i>Princípio de funcionamento</i></b>
Piezoelétrico	São constituídos por um cristal piezoelétrico ligado a uma massa. Com a vibração a massa comprime e traciona o cristal gerando cargas elétricas.
Piezoresistivo	São constituídos por extensômetros (strain gauges) que são configurados como um circuito elétrico Ponte de Wheatstone. Uma de suas extremidades é fixada ao invólucro do acelerômetro e a outra a uma massa. Ao vibrar a inércia flexiona o strain gauge, o que gera uma tensão elétrica.
ICP	São constituídos de um elemento piezoelétrico acompanhado de um circuito eletrônico. Quando submetido à vibração sua saída já é convertida em tensão elétrica.
Capacitivo	São constituídos por um pequeno capacitor composto de uma placa móvel e uma fixa. A massa interna do acelerômetro está conectada à placa móvel, enquanto que a estrutura está ligada à parte fixa. Ao vibrar, a massa interna do acelerômetro altera a distância entre as placas, sendo que a distância é inversamente proporcional a capacitância. Assim uma alteração na distância entre as placas faz variar o sinal de saída do circuito

Fonte: (MANSFIELD, 2005)

Figura 5 – Vibrômetro (Medidor de Vibrações Ocupacionais)

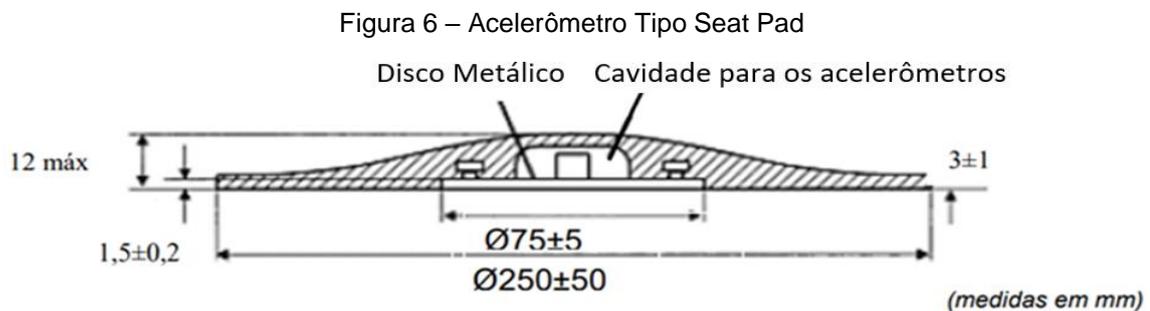


Fonte: O autor, 2023

O acelerômetro piezoelétrico são altos geradores de sinal (sensores ativos), não necessitando de fonte de potência. Além disso, não possuem partes móveis e geram um sinal proporcional à aceleração, que pode ser integrado, obtendo-se a velocidade e o deslocamento do sinal. A essência de um acelerômetro é o material piezoelétrico, usualmente uma cerâmica ferroelétrica artificialmente polarizada.

Quando ela é mecanicamente tensionada, proporcionalmente à força aplicada, gera uma carga elétrica que polariza suas faces.

A intensidade desse sinal elétrico é transformada em escala proporcional de aceleração resultante de vibração. De acordo com Mansfield (2005) os acelerômetros tipo *Seat Pad* descritos na Figura 6 são acelerômetros específicos para medição de vibração de corpo inteiro no assento ou no encosto de bancos. São acelerômetros montados no centro de um disco de metal fino de 7,5 cm de diâmetro, circundados por um disco flexível de borracha de 25 cm de diâmetro. Esta composição é importante visto que quando pressionado pelo corpo contra o assento o acelerômetro cria contato com o assento, sendo que a parte flexível de borracha se deforma não causando desconforto ao ser humano submetido ao teste.

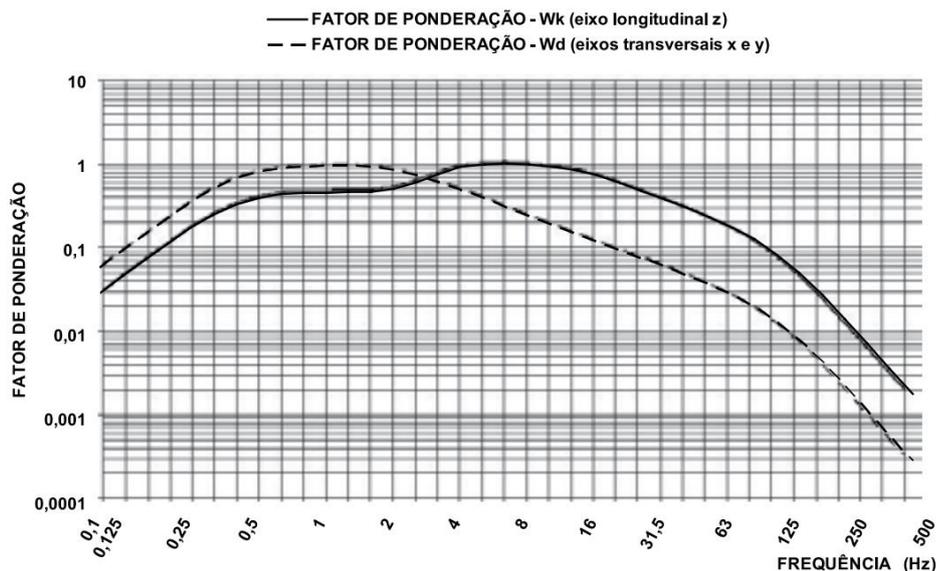


Fonte: (MAINSFIELD, 2005)

O equipamento já vem com ajustes que modelam a resposta em frequência ao comportamento do corpo diante da exposição à vibração. Esse ajuste é chamado de ponderação em frequência, segundo Mansfield (2005) foi observado que o homem é 10 vezes mais sensível à vibração em 5 Hz do que em 100 Hz. Portanto, pode-se propor que as medidas de vibração em 100 Hz sejam reduzidas em um fator de 10 quando comparadas às medidas de vibração em 5 Hz, a fim de manter a paridade de sensação subjetiva entre as duas medidas. As ponderações de frequência são, portanto, aplicadas aos sinais no domínio do tempo para modificá-los de modo que o sinal ponderado represente a resposta humana à vibração, em vez das características mecânicas da superfície vibrante. Conforme estabelecido pela norma ISO 2631-1 (1997) para vibração de corpo inteiro, as três ponderações de frequência mais comumente usadas são conhecidas como  $W_b$ ,  $W_k$  e  $W_d$ . As ponderações  $W_b$  e  $W_k$  são usadas apenas para vibração vertical, ou seja, são aplicadas no eixo Z, enquanto que a ponderação  $W_d$  é aplicada aos eixos horizontais X e Y conforme Figura 7.

Para avaliação dos efeitos da vibração no conforto e na percepção de acordo com a ISO 2631, aceleração rms é determinada com frequência ponderada para os três eixos de translação no assento. Além disso, são descritos métodos para incluir vibração rotacional e vibração nos pés e nas costas do assento. As mesmas ponderações de frequência são usadas para avaliações de saúde (embora o padrão também se refira ao uso de  $W_b$  para avaliações de veículos ferroviários). Se as medições de vibração não podem ser feitas no encosto, então os fatores de multiplicação de 1,4 para os eixos horizontais e 1 para o eixo vertical devem ser usados para maior conforto. Ao comparar (ou combinar) valores ponderados nos eixos x e y com valores ponderados no eixo z, um fator de correção de 1,4 é necessário, uma vez que os limites de 4-8 Hz para a vibração do eixo z são 1,4 vezes maiores que os limites dos eixos x e y correspondentes na faixa de 1-2 Hz (ou seja, os valores dos eixos x e y devem ser multiplicados pelo fator  $f = 1,4$  antes de fazer a comparação com os valores do eixo z). O fator f deve ser usado conforme a ISO 2631-1(1997) sempre que se avalia a VCI na posição sentada para fins de saúde.

Figura 7 - Curvas de ponderação em frequência para vibração transmitida ao corpo inteiro  $W_d$  e  $W_k$



Fonte: adaptada de ISO 2631:1997

### 2.3.3 Análise de Vibração de Corpo Inteiro na Posição Sentada

Levando em consideração que a posição sentada predomina no campo de pesquisa dessa tese, a seguir serão tecidas algumas considerações sobre o tema.

O tempo de exposição a vibração, a magnitude, a frequência e direção não são os únicos fatores que determinam o desconforto de uma pessoa exposta. O peso, altura, idade, a postura e atributos psicológicos podem afetar a relação do corpo e o consequente efeito da exposição a vibração (GRIFFIN,1990). Na posição sentada a transmissão a vibração pode ser consideravelmente afetada pelo assento, requerendo uma atenção maior no mesmo.

Chaffin, Andersson e Martin (2006) afirma que o ato de sentar por definição é a posição do corpo humano quando o peso do mesmo é transferido para uma área que o suporte, trazendo como vantagens:

- estabilidade necessária para as atividades que envolvem controle visual e motor;
- menor consumo de energia em relação a posição em pé;
- redução do stress nas extremidades das articulações inferiores;
- menor pressão no sistema circulatório das extremidades inferiores.

Segundo Griffin (1990), a percepção da vibração pelo corpo humano e seu efeito no conforto, nas atividades ocupacionais e na saúde são dependentes da sua distribuição no corpo e essa distribuição de vibração é determinada pela postura e localização da interface entre o corpo e o ambiente. Balbinot e Tamagna (2002) afirmam que os assentos dos veículos e máquinas são utilizados para acomodar pessoas de diferentes biótipos que realizam atividades diversas e raramente são projetados para uma única pessoa ou atividade. Os mesmos devem colocar seu ocupante numa posição confortável para executar suas tarefas com o mínimo de esforço objetivando diminuir a fadiga. Os assentos de veículos e máquinas devem ser concebidos para oferecer ao operador condições mínimas de operação e segurança, devem ser ajustáveis para melhor condição de conforto e eficácia na realização das tarefas.

Mansfield (2005) afirma que os assentos de veículos e máquinas devem ter boas propriedades estáticas e dinâmicas. A propriedade estática tem relação com a postura do condutor, pressões de contato e propriedades térmicas, enquanto que as vibrações se caracterizam como a principal propriedade dinâmica, bem como a sua transmissibilidade e impedância. Quando não há vibração o conforto é influenciado pelas propriedades estáticas, à medida que a vibração aumenta as propriedades dinâmicas se evidenciam. O tempo de exposição também terá influência sobre o desconforto nas condições estáticas e dinâmicas. Para os usuários de assentos de

veículos e máquinas, a redução da vibração é fator decisivo para a melhoria do conforto. Um assento com boas propriedades dinâmicas minimiza a vibração indesejada para os usuários.

Balbinot e Tamagna (2001) afirmam que existem três fatores que combinados determinam a eficiência dinâmica de um assento: o ambiente vibracional, a resposta dinâmica do assento e a resposta do corpo humano. Qualquer frequência e eixo de vibração podem contribuir para vibração torna-se desconfortável para o usuário. Os projetos de assentos devem ser concebidos de modo a reduzir a transmissibilidade das vibrações nesses eixos e frequências dominantes.

Em assentos de veículos uma propriedade importante no estudo das vibrações é a transmissibilidade. Essa variável pode ser conceituada como a relação entre a vibração na superfície do assento e a vibração na base do assento (piso do veículo) conforme expressão 3.4.

$$T(f) = \frac{a_{\text{assento}}(f)}{a_{\text{piso}}(f)} \quad 3.4$$

Onde  $T(f)$  é a transmissibilidade,  $a_{\text{assento}}$  é a aceleração no assento e  $a_{\text{piso}}$  é a aceleração no piso, todos na frequência  $f$ .

Mansfield (2005) afirma que a frequência de ressonância dos assentos convencionais é em cerca de 4Hz e a 6 Hz eles fornecem isolamento quando estão carregados por um adulto humano. Mais efetivamente a transmissibilidade é avaliada pela sua amplitude efetiva no assento, que mede seu desempenho dinâmico considerando a transmissibilidade, ponderação em frequência e espectro de vibração. A transmissibilidade de amplitude efetiva no assento é denominada de “*Valor SEAT (Seat Effective Amplitude Transmissibility)*” (GRIFFIN, 1990). E, é calculada pela expressão 3.5

$$SEAT\% = 100x \frac{VDV_{\text{assento}}}{VDV_{\text{piso}}} \quad 3.5$$

Onde VDV é o valor de dose de vibração em  $m/s^2$  na frequência de ponderação  $W_k$ . Um valor SEAT de 100% indica que as propriedades dinâmicas do assento não melhoraram ou reduziram o conforto no assento; um valor de SEAT maior que 100% indica que a vibração é pior no assento do que no piso, e um valor de SEAT menor que 100% indica que as propriedades dinâmicas do assento foram eficazes na

redução da vibração. Assentos de veículos e máquinas de trabalho como caminhões e tratores geralmente possuem suspensão com molas e amortecedores, esses assentos têm a propriedade de isolar o condutor de vibrações e impactos, alterando assim a transmissibilidade e isolando a vibração em frequências acima de 3 Hz.

#### **2.3.4 Controle da Exposição Ocupacional a Vibrações de Corpo Inteiro**

As estratégias de controle da exposição ocupacional as vibrações de corpo inteiro são resultado de uma investigação das causas que promovem as intensidades de VCI a ultrapassarem os limites de tolerâncias, essa ultrapassagem pode ocasionar distúrbios musculoesqueléticos e outros problemas de saúde. Em um estudo de levantamento bibliográfico Tiemessen, Hulshof e Frings-Dresen (2007) realizaram uma revisão da literatura com o objetivo de identificar estratégias preventivas para reduzir a exposição à vibração. Foram identificados vários fatores direcionados para a redução da intensidade da exposição, duração e o número de intervalos de exposição. Eles categorizaram esses fatores em duas classes: a) considerações de projeto e b) habilidades e comportamento.

As considerações de projeto envolvem a manutenção da máquina ou veículo, carga submetida, assento, suspensão do assento e cabine, e condições da interface da máquina com o piso (fixação da máquina na base, pneus de veículos, uso de sapatas e coxins). No que se refere as habilidades e comportamento foram considerados: o peso, postura e experiência do motorista, ajuste do banco, condução e velocidade, condição da pista, horário de trabalho e condicionamento físico.

Tiemessen, Hulshof e Frings-Dresen (2007) concluíram que esses fatores combinados de ambas as classes tiveram um efeito positivo (ou redutor) na magnitude da vibração. Em relação as prioridades para tratamento do risco verificaram-se que a classe de habilidade e comportamento se revelou como a opção mais preferida entre os administradores pelo curto prazo de execução, facilidade de implementação e menor investimento, em comparação com a classe de considerações de projeto.

Importante ressaltar que as intervenções em projetos apesar de serem mais dispendiosas e de longo prazo de execução revelam-se mais duradouras e eficazes visto que se isentam da instabilidade do comportamento humano. O importante para o sucesso das medidas de controle é combinar a implantação de ações de ambas as classes e estabelecer uma sistemática de avaliação da eficácia dessas medidas.

O anexo 1 da norma regulamentadora 9 (NR-9) apresenta medidas preventivas que devem ser contempladas para o controle da exposição ocupacional as vibrações, são elas:

- Avaliação periódica da exposição;
- Orientação dos trabalhadores quanto aos riscos decorrentes da exposição à vibração e à utilização adequada dos equipamentos de trabalho, bem como quanto ao direito de comunicar aos seus superiores sobre níveis anormais de vibração observados durante suas atividades;
- Vigilância da saúde dos trabalhadores focada nos efeitos da exposição à vibração;
- Adoção de procedimentos e métodos de trabalho alternativos que permitam reduzir a exposição a vibrações mecânicas.

A vibração pode ser controlada por meio de medidas coletivas, administrativas ou de organização do trabalho. Para vibração de mão e braço, existem luvas antivibratórias que podem ser utilizadas, porém, esse EPI não possui parâmetro objetivo que permita afirmar que seu uso reduz a intensidade da vibração abaixo do limite, como ocorre, por exemplo, com os protetores auriculares no controle do ruído. Ademais, essas luvas oferecem maior proteção nas altas frequências.

#### a) medidas de controle coletivas

Entre as medidas coletivas na exposição à vibração de corpo inteiro, destacam-se:

- uso de assentos com amortecedor de vibração ou com suspensão nos veículos;
- calibração adequada dos pneus dos veículos;
- a magnitude da aceleração varia significativamente em função do piso e das irregularidades das vias de circulação. Assim, nas estradas com pavimentação asfáltica, os valores são inferiores àqueles obtidos em vias sem pavimentação. Portanto, a pavimentação ou o acabamento adequado das referidas vias pode constituir medida eficaz no controle da exposição;
- a velocidade dos veículos também influencia significativamente no valor da aceleração. Desse modo, a exposição é menor na circulação em baixa velocidade. Assim, o controle da velocidade é uma medida de controle importante para esse agente;

- utilização de bancos com descanso para os braços, apoio lombar e ajuste do assento e do apoio das costas;
- uso de cabines com suspensão.

Na exposição à vibração de mão e braço, entre as medidas coletivas, destacam-se:

- usar ferramentas com características antivibratórias;
- substituir o equipamento por outro que produza nível de vibração mais baixo;
- executar práticas adequadas de trabalho que permitam manter as mãos e o corpo do trabalhador aquecidos, bem como minimizar o acoplamento mecânico entre o trabalhador e a ferramenta vibratória.

#### b) Medidas administrativas e de organização do trabalho

- Entre as medidas administrativas, a limitação do tempo de exposição é a mais eficiente, pois, como vimos anteriormente, o valor da aceleração para 8 horas é calculado em função do referido tempo. Desse modo, a pausa e o revezamento nas operações com a exposição à vibração deverão sempre ser estudados;
- monitorar a exposição à vibração;
- na vibração de mão e braço, deve-se utilizar luvas antivibratórias;
- realizar o controle médico dos trabalhadores expostos a esse agente.

É importante salientar que o item 5.2, anexo 1 da NR-9 determina que as medidas corretivas devem contemplar, no mínimo, uma das medidas abaixo:

- a) No caso de exposição às VMB, modificação do processo ou da operação de trabalho, podendo envolver: a substituição de ferramentas e acessórios; a reformulação ou a reorganização de bancadas e postos de trabalho; a alteração das rotinas ou dos procedimentos de trabalho; a adequação do tipo de ferramenta, do acessório utilizado e das velocidades operacionais;
- b) No caso de exposição às VCI, modificação do processo ou da operação de trabalho, podendo envolver: o reprojeto de plataformas de trabalho; a reformulação, a reorganização ou a alteração das rotinas ou dos procedimentos e organização do trabalho; a adequação de veículos utilizados, especialmente pela

adoção de assentos antivibratórios; a melhoria das condições e das características dos pisos e pavimentos utilizados para circulação das máquinas e dos veículos;

- c) Redução do tempo e da intensidade de exposição diária à vibração;
- d) Alternância de atividades ou operações que gerem exposições a níveis mais elevados de vibração com outras que não apresentem exposições ou impliquem exposições a menores níveis.

## 2.4 ANÁLISE ERGONÔMICA DE POSTURA

A norma da ABNT NBR ISO 11226 (2013) afirma que dor, fadiga e distúrbios do sistema musculoesquelético podem ser resultado da manutenção de posturas de trabalho inadequadas, que podem ser causadas por situações de trabalho precárias. Charles et al (2018) comentam que a vibração é apenas um dos muitos patógenos e recomendam que os principais fatores ergonômicos sejam considerados em qualquer avaliação de vibração. Fadiga e dor musculoesquelética podem afetar 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. Um bom projeto ergonômico é uma necessidade básica para evitar esses efeitos adversos. De acordo com Mansfield (2005) outros fatores de risco, além da postura inadequada, como ficar sentado por muito tempo, levantar peso e trabalhar no frio, estão frequentemente associados a ambientes onde a vibração de corpo inteiro também está presente.

Entende-se por postura “a manutenção dos segmentos corporais no espaço” (MORAES; MONT’ALVÃO, 2003). O trabalho na posição em pé tem as seguintes características do ponto de vista da biomecânica ocupacional:

- Altamente fatigante, pois exige muito trabalho estático da musculatura;
- Dificulta o bombeamento de sangue do coração para as extremidades do corpo;
- Trabalhos dinâmicos em pé são menos fatigantes que os estáticos (ou com poucos movimentos) em pé.

Muitos produtos e postos de trabalho inadequados provocam tensões musculares, dores e fadiga. As metodologias ergonômicas podem ajudar na identificação de esforços no trabalho que podem levar o trabalhador a adquirir lesões musculoesqueléticas. Essas lesões podem ser causadas por esforços repetitivos,

trabalho intenso, posturas inadequadas de operadores tentando um encaixe entre equipamentos e máquinas; transporte de cargas pesada, cansaço físico etc. Esses fatores contribuem com afastamento do trabalhador por acidentes de trabalho, doenças ocupacionais, fadiga e/ou estresse (SHIDA; BENTO, 2012).

Nos Estados Unidos da América (EUA), mais de 600.000 distúrbios musculoesqueléticos (DORT) foram responsáveis por US\$ 54 bilhões em custos e um terço de todas as perdas de dias de trabalho (KANG et al., 2014). Os trabalhadores acometidos estão sujeitos a prejuízos na qualidade de vida e reveses no desempenho, pois os DORT prejudicam estruturas corporais como músculos, tendões, ligamentos, cartilagens, ossos, articulações e/ou nervos (GOES et al., 2020; SMITH et al., 2020).

No Brasil um estudo do Ministério da Saúde denominado “Saúde Brasil” publicado em 2018 apontou que as Lesões por Esforços Repetitivos (LER) e os Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT) são as doenças que mais afetam os trabalhadores brasileiros. O levantamento do Ministério da Saúde mostrou que, em 10 anos, as duas doenças representam 67.599 casos entre os trabalhadores do país, representando um aumento 184% no índice nesse mesmo período (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2019). Os dados estatísticos impulsionam inúmeros estudos no campo da prevenção de distúrbios musculoesqueléticos buscando soluções para mitigar suas consequências.

Em um estudo comparativo buscando a melhor técnica do uso do esfregão, Yang, Jais e Cheung (2022), avaliaram os fatores de risco musculoesqueléticos (repetições, postura, forças) do membro superior durante tarefas de limpeza do chão. A amostra de análise foi de 200 mulheres que foram entrevistadas para determinar o sistema de limpeza mais comum, padrões de limpeza e tipo de piso utilizado em suas casas, e considerando o método REBA. Como resultado significativo, foi sobre o esfregão plano, que se observou a maior contagem de repetições e taxas de esforço durante a limpeza e tarefas de esfregação e todos os participantes acharam que o esfregão de fibra de algodão era o que melhor limpava e todos os 3 esfregões tiveram risco postural médio.

Utilizando o mesmo método, Joshi e Deshpande (2020) apresentaram um estudo de sensibilidade sobre a avaliação rápida de corpo inteiro (REBA) e a identificação de zonas de postura insensíveis e sensíveis, procurando identificar os escores posturais que não mudam com a mudança parâmetros de entrada. O estudo indicou que existem muitas zonas de postura insensíveis que não alteram as

pontuações dependentes quando as pontuações independentes dos membros do corpo são alteradas. Na busca por uma ferramenta de avaliação de risco, Yazdanirad et al. (2022) propuseram um instrumento de avaliação de risco de distúrbios osteomusculares (PRAMUD) entre os trabalhadores. Foram considerados 300 funcionários do sexo masculino em uma siderúrgica. Os dados pessoais foram coletados através de entrevista. Além disso, foram solicitados a preencher a versão persa dos questionários de desconforto musculoesquelético de Cornell (CMDQ). Foi verificado que parâmetros pessoais, além de itens físicos desempenham um papel importante na previsão distúrbios, desta forma, a ferramenta PRAMUD pode ser usada para rastrear avaliar o risco de distúrbios musculoesqueléticos em pessoas com variadas características pessoais e ocupacionais. Além disso, como resultado, o método resolveu o problema de superestimação nas avaliações e pode estimar adequadamente os níveis de risco de lesões musculoesqueléticas. Assim, o uso desta ferramenta pode alertar oportunamente o perigo e prevenir a ocorrência de distúrbios musculoesqueléticos.

Rodrigues et al. (2019), realizaram uma adaptação transcultural da ROSA (Rapid Office Strain Assessment) para o português brasileiro e avaliaram as medidas psicométricas de confiabilidade (consistência interna, confiabilidade intra e inter observador e erro de medição), validade de construto (validade transcultural e teste de hipóteses) e acurácia em uma amostra de profissionais de saúde ocupacional e escritório de informática trabalhadores. Foram utilizados 43 profissionais de saúde ocupacional (observadores) e 90 trabalhadores foram inscritos neste estudo para realizar a adaptação transcultural do ROSA para o português brasileiro (ROSA-Br) e avaliar suas propriedades psicométricas. Foi verificada uma precisão moderada na pontuação final ROSA-Br de 6, o que levou a confirmação do uso do ROSA-Br para avaliações e pesquisas ergonômicas de campo.

Luzio et al. (2020) introduziram uma técnica de feedback visual e vibrotátil em um robô plataforma para reabilitação de membros superiores a técnica foi proposta visando garantir a postura ergonômica durante a reabilitação. Duas modalidades de feedback foram usadas para fornecer informações sobre a postura incorreta do pescoço e do tronco. Dez indivíduos saudáveis foram envolvidos neste estudo. Os resultados obtidos revelaram que ambas as modalidades de feedback são soluções válidas para fornecer informações de postura, mas olhando para o tempo médio de

reação, descobriu-se que o feedback visual é mais intuitivo do que o feedback vibrotátil.

Lowe et al. (2019) apresentaram uma perspectiva contemporânea sobre o escopo de uso de ferramentas e métodos de avaliação e informações sobre o uso de programas de software de computador ou aplicativos móveis para auxiliar análise do local de trabalho por profissionais de ergonomia, visando melhorias e diminuição do tempo de trabalho através da identificação manual, portanto, o uso de aplicativos de dispositivos móveis para avaliação ergonômica parece estar em fase de adoção inicial. Na área de procedimentos cirúrgicos e com o objetivo de fornecer melhores características ergonômicas e de usabilidade exigidas destas intervenções, Sancibrian et al. (2020) apresentaram um protótipo de cabo utilizados em instrumentos de cirurgia laparoscópica. Dentre os resultados mais impactantes encontrados incluíam o nível mais baixo de dor, assim como redução da hiperflexão do pulso.

No mesmo contexto, porém direcionado à prevenção e segurança laboral, Garosi et al. (2022) propuseram e analisaram um exoesqueleto passivo de suporte de cabeça/pescoço como possível intervenção ergonômica para aplicações de trabalho com as mãos acima da altura dos ombros, sendo verificado a necessidade de suporte extra nas regiões dos membros superiores para diminuir a tensão na região do ombro. Como forma de verificar mecanismos e técnicas que possam ajudar no acompanhamento de problemas ergonômicos em operações de colheita, Enez e Nalbantoglu (2019), realizaram uma análise comparativa sobre os efeitos de distúrbios musculoesqueléticos (MSDs) associados a diferentes posturas de trabalho durante a colheita sob condições externas variáveis, comparando o trabalho etapas usando o Sistema de Avaliação da Postura de Trabalho Ovako (OWAS) e Avaliação Rápida de Todo o Corpo (REBA).

Foi verificado uma diferença entre os resultados do OWAS e os do REBA, estabelecendo que os dois métodos foram desenvolvidos considerando diferentes tipos de trabalho e que nenhum dos métodos foi concebido para a silvicultura. Além disto, foi verificado que o método de avaliação de risco MSDs mais adequado na indústria florestal foi o OWAS. Um estudo similar foi proposto em Kee, Na e Chung (2020) onde a análise comparativa foi direcionada aos tempos máximos de retenção (MHTs) para posturas corporais. Os métodos observacionais estudados foram: Ovako Working Posture Analysis System (OWAS), Avaliação Rápida de Membros Superiores

(RULA) e Avaliação Rápida de Todo o Corpo (REBA), com base no MHTs. A amostra de análise foi constituída por 17 estudantes de pós-graduação saudáveis do sexo masculino sem histórico de distúrbios musculoesqueléticos. O RULA avaliou as posturas testadas no experimento mais estressante do que o OWAS e REBA, e a pontuação final RULA foi mais sensível ao MHTs. Finalmente, e com base nos resultados, conclui-se que o método RULA apresenta melhores condições na avaliação de cargas posturais sob essas condições.

Na área da construção civil, especificamente em atividades de alvenaria, foi introduzida uma alternativa de avaliação, proposta em Pan et al. (2021), onde foi avaliado o impacto de uma plataforma de escalada em mastro (MCWP), projetada sobre o movimento do tronco e estabilidade postural de trabalhadores durante a execução de tarefas de alvenaria. Os resultados indicaram que o uso da bancada de produção em forma de “L” resultou nas menores amplitudes de movimento do tronco e reduziu significativamente os ângulos do tronco dos trabalhadores nos três planos quando comparados tanto com a bancada de produção em forma reta e quanto com a abordagem convencional de não usar uma bancada de produção. Além disto, foi verificado que tanto a velocidade de oscilação do corpo quanto a área foram significativamente reduzidos.

No trabalho de Seidel et al. (2021) foi proposta o desenvolvimento de um método baseado no Valor Limite para Nível de Atividade da Mão (TLV para HAL). Para a medição do HAL foram utilizados dados cinemáticos (frequências de potência média, velocidades angulares e micro-pausas), e no caso do TLV foi gerado a partir da combinação de dados eletromiográficos (valores quadráticos médios). De forma geral, a medição mostrou-se viável para ser utilizada em campo com muitos trabalhadores.

No trabalho apresentando por Lantonie et al. (2022) um estudo comparativo para avaliar os níveis de dureza de assentos de veículos, considerando dois níveis exclusivamente, (S1 – macio e S2 – firme) e diferentes tipos de estradas (cidade, rodovia, montanha, país), na distribuição do perfil de pressão e percepção desconforto durante a condução prolongada. Como amostra de análise foram utilizados vinte participantes que conduziram duas sessões de 3 horas (uma por assento) em um carro estático simulador. Segundo os resultados, o assento mais macio, S1, induziu uma maior superfície de contato na almofada e encosto, refletindo uma melhor distribuição de pressão. A distribuição de pressão foi menos homogênea em estradas

de montanha e cidade do que em estradas monótonas (estrada e campo). Apesar das diferenças de pressão entre os assentos, no entanto, ambos levaram a aumentos semelhantes no desconforto percebido em todo o corpo ao longo da sessão de condução. Além disso, a mais alta pontuação de desconforto foram no pescoço e na região lombar, qualquer que seja o assento.

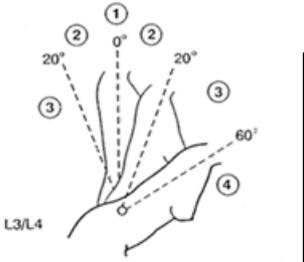
Na prática, a avaliação ergonômica do trabalho é realizada através de métodos/ferramentas e normas, que consideram um grupo de condições de trabalho e um foco específico, melhor definida por Másculo e Vidal (2011). Dentre as mais diversas ferramentas podemos citar como as mais usadas NIOSH, OWAS, RULA e REBA, sendo esta última como a mais indicada para avaliação de posturas de membros superiores e inferiores.

A Rapid Entire Body Assessment – REBA foi desenvolvida para avaliar posturas de trabalho imprevisíveis de corpo inteiro, a fim de identificar as posturas sensíveis a fatores de risco musculoesqueléticos. Tal método utiliza, no processo de investigação, registros segundo os planos de movimentos e discrimina atividades musculares causadas por posturas instáveis, em seguida categoriza as ações e gera recomendações de urgência.

Segundo os autores, Hignett e McAtmney (2000), o método permite a verificação de posturas no trabalho, aplicação de forças, variações de movimentos e ações, força muscular, trabalho repetitivo e o tipo de agarre adotado pelo trabalhador durante o trabalho. O REBA permite avaliar tanto posições estáticas quanto em movimento e, ainda, variações bruscas ou inesperadas na posição. Divide o corpo em áreas que são codificados uma a uma como ilustra a Tabela 03, e avalia tanto os membros superiores, como o tronco e pescoço, e os membros inferiores. Importante ressaltar que cada etapa do REBA corresponde a postura única. O método recomenda que seja feita a análise na postura mais representativa. O método orientará sobre a necessidade ou não de planejar intervenções corretivas. Outro aspecto é que as pontuações individuais resultantes para os segmentos corporais, a carga, a pega e a atividade, poderão guiar o avaliador sobre as situações com maiores problemas ergonômicos, a fim de implantar medidas preventivas. Um outro aspecto positivo desta ferramenta é que a segmentação corporal codificada individualmente permite uma avaliação por segmento (riscos de lesões musculares, atividade muscular dinâmica e estática, mudanças bruscas e posturas instáveis) com indicação de uma intervenção

ergonômica mais urgente. A Tabela 04 do método ilustra as ações a serem tomadas com o resultado final da avaliação.

Tabela 3 – Pontuação Para O Tronco

<i>Posição</i>	<i>Pontuação</i> <i>o</i>	<i>Alterar pontuação</i>
<i>Tronco Reto</i>	1	+1 ponto se há torção ou flexão lateral do tronco. 
<i>O tronco está entre 0 e 20 graus de flexão ou 0 e 20 graus de extensão.</i>	2	
<i>O tronco está entre 20 e 60 graus de flexão ou mais de 20 graus de extensão.</i>	3	
<i>O tronco está dobrado mais de 60 graus.</i>	4	

Fonte: Hignett e McAtmney (2000)

Tabela 4 – Níveis De Ação Do Reba

<b><i>Pontuação Final</i></b>	<b><i>Nível de ação</i></b>	<b><i>Nível de Risco</i></b>	<b><i>Atuação</i></b>
1	0	<i>Negligenciável</i>	<i>Nenhuma ação é necessária</i>
2 - 3	1	<i>Baixo</i>	<i>A ação pode ser necessária.</i>
4 - 7	2	<i>Médio</i>	<i>É necessário tomar medidas.</i>
8 -10	3	<i>Alto</i>	<i>É necessário agir a curto prazo.</i>
11 - 15	4	<i>Muito alto</i>	<i>Ação imediata.</i>

Fonte: adaptação Hignett e McAtmney (2000)

Em paralelo a análise postural e para subsidiar melhor as informações, um questionário para levantamento do perfil e queixas de saúde dos operadores pode ser utilizado. Segundo Marconi e Lakatos (2017) o formulário é um dos instrumentos essenciais para a investigação, cujo sistema de coleta de dados consiste em obter informações diretamente do entrevistado, portanto, o que caracteriza o formulário é o contato face a face entre pesquisador e informante e o roteiro de perguntas é preenchido pelo entrevistador, no momento da entrevista. Para o objetivo a utilização de uma adaptação do Questionário Nórdico de Sintomas Musculoesqueléticos (QNSM), conforme anexo 01, é recomendada. O QNSM é uma ferramenta de coleta de dados epidemiológicos muito utilizada nos estudos primários na área ocupacional. Estudos realizados em muitos países vêm mostrando que os Distúrbios Musculoesqueléticos relacionados ao trabalho são um importante problema de saúde

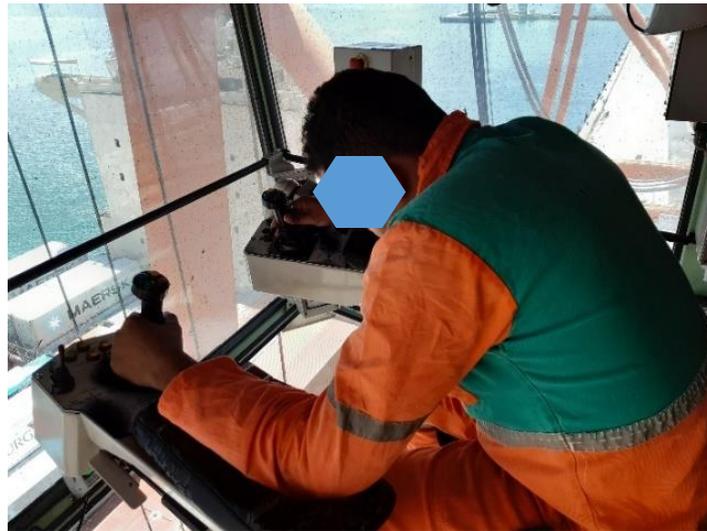
pública, apresentando alta prevalência em países industrializados e em desenvolvimento (FERNANDES et al., 2010).

Os Distúrbios Musculoesqueléticos além de gerarem incapacidade e sofrimento para o trabalhador, resultam em altos custos para a sociedade. Eles são definidos como lesões ou disfunções que afetam os músculos, tendões, ligamentos, articulações, nervos periféricos e raízes nervosas, em diferentes segmentos corporais como a região do pescoço, ombro, cotovelos, antebraços, punhos, mãos, região lombar e segmentos dos membros inferiores. Os riscos para desenvolvimento desses distúrbios são multifatoriais, e incluem fatores individuais (obesidade, idade), fatores físicos relacionados ao trabalho (movimentos repetitivos, trabalho pesado, flexão frequente, vibração do corpo inteiro, posturas inadequadas) e fatores psicossociais (COSTA; VIEIRA 2010).

A ferramenta original proposta por Kuorinka et al (1987), consiste de um questionário padronizado para a análise de sintomas musculoesqueléticos em um contexto ergonômico ou de saúde ocupacional. As perguntas forçam a escolha de variantes e podem ser autoadministradas ou utilizadas em entrevistas, concentrando-se em sintomas mais frequentemente encontrados no ambiente profissional.

As posições de trabalho adotadas pelos operadores dessas máquinas serão estudadas, pois suspeita-se que em combinação com as VCI podem potencializar as consequências negativas da exposição. Os operadores de portêiner são mão de obra especializada em movimentação de contêineres no carregamento e descarregamento de embarcações. Exercem suas atividades em postura sentada por longos períodos (4 a 6 horas consecutivas) em um clima organizacional que submete o operador a uma carga de responsabilidade alta, sofrendo pressões por produtividade, visto que o custo do tempo do equipamento e das embarcações são altos. Altos níveis de desempenho e pressão são exigidos para maximizar a produtividade. A carga cognitiva do operador é constantemente exigida, visto que o mesmo controla o guindaste através de um joystick e precisa observar a movimentação do contêiner em solo, sendo auxiliado por um assistente no cais. A visão da movimentação se dá através de paredes e pisos transparentes que forçam o operador a olhar constantemente para baixo fazendo com que adotem posturas estáticas e não comuns por longos períodos, exigindo principalmente do tronco e pescoço conforme Figura 8.

Figura 8 – Postura do Operador de Portêiner



Fonte: O autor, 2023

As pressões nos assentos dos operadores de portêiner foram estudadas e verificou-se que a medida que o tempo passa os operadores vão mudando de posição de modo a reduzir a pressão na região das nádegas e levando essas pressões para a região das coxas. A mudança de posição consiste em um movimento para frente da articulação do quadril, provavelmente para reduzir as concentrações de pressões devido a maior presença de tuberosidades isquiáticas, no entanto o contato das costas com o encosto traseiro do banco era muito limitado (PAU et al, 2016).

A dor lombar é uma das principais preocupações dos operadores de guindastes devido à exposição à vibração do corpo inteiro combinada com uma postura sentada. Isto é particularmente verdadeiro para operadores de guindastes de contêineres (portêiner) que trabalham a cerca de 40 metros do solo, impondo uma postura altamente restrita, duas mãos nos joysticks, duas pernas afastadas, permitindo uma visão quase vertical (WANG et al, 2003).

Wang et al (2003) realizaram um estudo no porto de Le Havre na França onde foram avaliadas ergonomicamente as cabines dos portêineres com auxílio de simulação computadorizada de um modelo humano e pesquisas de campo. O projeto se propôs a definir uma especificação efetiva para a modificação das cabines existentes e o projeto de novas com a análise do desconforto postural e o design do local de trabalho da cabine. Inicialmente identificou-se que as maiores queixas dos operadores eram desconforto na região lombar, pescoço e olhos. Como possíveis causas foram identificados os seguintes fatores: alcance desconfortável dos controles;

visão ruim; mau ajuste do assento. Com dados antropométricos dos operadores, uso do modelo simulado e resultados das queixas dos operadores foi observado algumas situações como: na posição mais confortável para os operadores alguns controles ficavam fora do alcance para um grupo de operadores de menor estatura; o ajuste mais usual do assento dificulta a um grupo dos operadores a manipulação dos joysticks. Como solução para melhoria do conforto sugeriu-se o ajuste do assento e um apoio para os pés ajustável, a redução do curso dos joysticks e/ou aproximá-los do operador. Para os controles foram recomendados os consoles em formato de U melhorando o alcance e conforto.

Um estudo realizado na Itália em 2006 pela Escola internacional de Ergonomia e um fabricante de cabines para portêiner, revelou uma série de pontos necessários de melhoria. A pesquisa ocorreu em grandes portos europeus onde foram aplicados questionários, avaliando sobrecarga biomecânica, avaliação de posturas e análise eletromiográfica. Como resultados uma nova solução de estação de trabalho foi projetada incluindo o assento, apoio para os pés e braços ajustáveis, respondendo pelas várias “restrições técnicas” associado a esta estação de trabalho específica. Regulamentos internacionais em vigor foram levados em conta, bem como os resultados dos testes eletromiográficos que provou ser essencial para a pesquisa de soluções exigindo o mínimo de esforço muscular. A sobrecarga biomecânica pode ser reduzida principalmente em níveis de tronco e membros superiores. A região cervical ainda está sobrecarregada, e é reforçada pela grande atenção necessária no manuseio de contêineres a 30-40 m de altura. No futuro, o campo visual poderá ser movido para a parte dianteira e superior da cabine através de uma grande tela de LCD conectada a uma câmera embaixo da cabine captando o campo visual real.

Em resumo as vantagens das melhorias foram:

- O operador trabalha com o pescoço minimamente inclinado, aliviando a região cervical;
- O campo visual pode ser melhorado com o uso do zoom da câmera de TV em momentos pontuais, como o engate do contêiner. Na verdade, dada a grande distância entre a estação de trabalho e as áreas de coleta, um resultado adicional é o aumento da segurança e a redução dos tempos de operação de carregamento.
- A qualquer momento, o uso do campo visual real clássico pode ser retomado.

Para estações de trabalho existentes, onde mudanças não são possíveis, o uso de uma cinta elástica ajustável adaptável a todos os tipos de assento, torna-se

extremamente útil, pois descarrega o peso do tronco sem compressão ou incômodo (PIGINI, 2006).

## 2.5 VIBRAÇÕES OCUPACIONAIS EM OPERADORES DE MÁQUINAS

O capítulo a seguir apresenta uma série de trabalhos e estudos, realizados nos últimos anos, referentes à análise de vibrações de corpo inteiro de operadores de máquinas em geral e portuárias e suas contribuições para melhoria das condições de trabalho e prevenção de doenças musculoesqueléticas.

As normas brasileiras estipulam para vibrações de corpo inteiro (VCI) os limites de tolerância e o nível de ação para a aceleração resultante de exposição normalizada (AREN) em  $1,10 \text{ m/s}^2$  e  $0,5 \text{ m/s}^2$  (BRASIL, 2019). Em máquinas portuárias resultados de aceleração de vibração de corpo inteiro foram divulgados em um trabalho que inicialmente aplicou um questionário padronizado em 219 operadores de máquinas portuárias expostos, sendo: 85 condutores de transtêiner, 88 motoristas de empilhadeiras Reach Stacker (RS) e 46 operadores de portêiner. As intensidades de vibrações de corpo inteiro em termos de aceleração resultante de exposição normalizada (AREN) foram:  $0,90 \text{ m/s}^2$  para empilhadeiras RS,  $0,48 \text{ m/s}^2$  para transtêiner,  $0,22 \text{ m/s}^2$  para portêiner, neste caso foi observado que no caso das empilhadeiras o nível de ação do AREN ( $0,5 \text{ m/s}^2$ ) foi ultrapassado (BOVENZI; PINTO; STACCHINI, 2002).

O nível de ação representa um valor de alerta nos quais algumas ações preventivas já devem ser tomadas como exames médicos, treinamento e monitoramento (BRASIL, 2019). As lombalgias foram significativamente maiores nos operadores de empilhadeiras. Experimentos biodinâmicos mostraram que em um indivíduo sentado exposto à vibração vertical, o trato lombar da coluna tem uma ressonância na faixa de frequência entre 2 e 6 Hz. Uma vez que sob ressonância ocorrem grandes deslocamentos relativos entre as vértebras lombares, é provável que a coluna lombar dos operadores dessas máquinas portuárias tenha sido sobrecarregada por vibrações mecânicas durante as condições de operação, além disso, as descobertas desta investigação fornecem evidências epidemiológicas adicionais de que a exposição a VCI sentada combinada com posturas de tronco não neutras, como durante a condução, está associada a um risco aumentado de efeitos adversos a longo prazo sobre a saúde na região lombar (BOVENZI; PINTO; STACCHINI, 2002).

Como aponta o estudo anterior as vibrações de ressonância do corpo humano foram estudadas por vários pesquisadores que consideraram diferentes métodos biodinâmicos nos modelos de corpo humano usando massa, densidade, rigidez etc., semelhantes ao corpo humano. Kitazaki e Griffin (1997) desenvolveram um modelo bidimensional de respostas biomecânicas humanas à vibração do corpo inteiro usando o método dos elementos finitos. Elementos de viga, mola e massa foram utilizados para modelar o tecido da coluna, vísceras, cabeça, pelve e nádegas na região do plano sagital médio. Em frequências abaixo de 10 Hz o modelo produziu 7 modos que coincidiram com as medições realizadas em laboratório. A principal resposta de ressonância foi de 5 Hz e consistia em um modo de corpo inteiro no qual a cabeça, coluna vertebral e pelve moviam-se quase rigidamente, com deformação axial e de cisalhamento do tecido abaixo da pelve. O estudo demonstrou que um aumento da área de contato entre as nádegas, coxas e a superfície do assento, ao mudar a postura de ereta para inclinada, podem diminuir a rigidez axial abaixo da pelve, com uma força-deflexão não linear em relação ao tecido, resultando em diminuições nas frequências naturais. Os autores concluíram que as frequências naturais calculadas para os três primeiros modos podem ser consideradas mais confiáveis que as medições. Um total de sete modos de vibrações foi calculado e para uma postura normal do corpo abaixo de 10 Hz, e as formas do modelo coincidiram bem com os obtidos nas medições.

Outro parâmetro utilizado para avaliar a exposição a vibração de corpo inteiro é a utilização do fator “R” previsto na norma ISO 2631-5:2004, o mesmo é calculado levando em consideração as forças compressivas nas placas vertebrais e seus efeitos à saúde durante anos de exposição a VCI. “R” é um valor que prevê o risco de falha por fadiga da placa terminal vertebral devido a compressões repetidas. De acordo com a norma, quando R for acima de 1 existe alta probabilidade de efeitos negativos à saúde. No cálculo do fator R pela norma ISO 2631-5(2004) existe uma variável denominada “C” que representa a tensão estática em função da força gravitacional que de acordo com a norma para uma pessoa dirigindo é considerada 0,25MPa. Um conjunto de 50 modelos de elementos finitos foram desenvolvidos baseados na anatomia humana e adaptados a diferentes posturas típicas dos motoristas europeus e seus parâmetros antropométricos. Matrizes tridimensionais simularam esses modelos por um programa Matlab com interface gráfica para prever forças de compressão e cisalhamento intraespinhais causadas pela entrada de VCI nas

direções x, y e z no assento, encosto, pés e mãos, medidos em máquinas móveis. Os fatores de risco resultantes do novo método de avaliação são comparados com a avaliação existente nos procedimentos da ISO 2631-1 e ISO 2631-5 e revelam diferenças significativas. O objetivo do estudo foi usar modelos dinâmicos de elementos finitos para a previsão das forças intraespinhais causadas por condições reais de exposição medidos em países europeus, para usar essas previsões para um procedimento de avaliação que reflita o risco de fadiga, levando em consideração as características antropométricas dos motoristas europeus e comparar os resultados deste novo procedimento de avaliação com avaliações baseadas nas normas ISO e na diretiva 2002/44 / CE

Uma causa óbvia de erros de julgamento pela ISO 2631-5 (2004) é quando se assume a tensão estática constante de 0,25 MPa. O estresse estático previsto pelos modelos de elementos finitos é, em média, duas vezes mais alto e varia dentro de uma ampla faixa em função da estatura e postura, e no nível lombar. Como o estresse estático contribui para avaliação de riscos à saúde, qualquer simplificação tem efeitos significativos, portanto neste modelo considerou-se três valores de tensão estática "C", dependendo das características físicas dos grupos, tornando assim mais precisa a avaliação pelo fator R.

Nesse estudo foi observado diferenças significativas do fator R com o C customizado por grupo em relação ao R com o C fixo de 0,25 MPa proveniente da ISO, principalmente no grupo de operadores de colheitadeiras que o  $R_{ISO}$  foi de 0,65 e o R por elementos finitos foi acima de 2 (SEIDEL et al, 2007). A relação entre os resultados da lombalgia e as medidas de exposição diária à vibração de corpo inteiro (VCI) em motoristas profissionais foi investigada por Bovenzi (2010). Em um período de dois anos, 202 motoristas de veículos com sintomas de dor lombar foram investigados e medições de vibrações de corpo inteiro foram realizadas onde a análise do VDVR se mostrou mais representativa em termos de previsões de lombalgias em relação ao AREN. Incapacidades graves representaram 14,4% e dores de alta intensidade representaram 16,8%. Identificou-se que a carga física de trabalho também foi um prenúncio para surgimento de lombalgias.

## 2.6 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Simulação implica a modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo (SCHRIBER, 1974).

A simulação computacional vem sendo um crescente, principalmente devido ao surgimento de softwares específicos nos últimos anos. A técnica da simulação é aplicada nas mais diversas áreas do conhecimento e sua finalidade é avaliar o desempenho dos sistemas de produção, principalmente aqueles mais complexos, onde vários eventos, dependentes entre si, ocorrem ao mesmo tempo. A técnica tem por objetivo avaliar teorias por meio da experimentação, antecipar resultados experimentais e ainda realizar experiências que de outro modo seriam inacessíveis à realidade ou muito onerosas. Pode-se então dizer que as empresas que utilizam esta metodologia obtêm vantagens competitivas em relação aos seus concorrentes.

Mosef (1997) por sua vez apresentou uma definição que se tornou clássica: “a simulação é o processo de elaborar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com este, com o propósito de compreender o comportamento do sistema, ou avaliar estratégias para a operação do mesmo”.

A modelagem computacional é a área que trata da simulação de soluções para problemas científicos, analisando os fenômenos, desenvolvendo modelos matemáticos para sua descrição, e elaborando códigos computacionais para obtenção daquela solução. Já a simulação consiste em empregar técnicas matemáticas em computadores com o propósito de imitar um processo ou operação do mundo real. Dessa forma, para ser realizada uma simulação, é necessário construir um modelo computacional que corresponde à situação real que se deseja simular (FREITAS FILHO, 2008).

Nos processos de tomada de decisão gerenciais, nem sempre a intuição e as experiências prévias são suficientes. A simulação tem sido cada vez mais aceita e empregada como uma técnica que permite ao pesquisador ou analista dos mais diversos campos de atuação (economia, administração, engenharias, biologia, entre outros) averiguar soluções, com a profundidade desejada, aos problemas no qual lida diariamente; por causa da sua versatilidade de aplicações, torna-se impossível enumerar todas as áreas específicas nas quais a simulação vem sendo usada (STIVARI; GARNEIRO, 2013).

O aumento da complexidade das estruturas e da capacidade dos computadores favoreceu o aparecimento de novos métodos de análise nomeadamente o método dos elementos finitos. Após esta utilização inicial, em problemas de elasticidade, a mesma foi se rapidamente estendendo a outros domínios como o da transferência de calor e da mecânica dos fluidos, do eletromagnetismo, das vibrações mecânicas e acústicas, da computação, da realidade virtual (TAVARES,1998).

O objetivo do método é a obtenção de uma formulação que possa explorar a análise, de forma automática, de sistemas complexos, e/ou irregulares, por intermédio de programas computacionais. Para atingir tal objetivo, o método considera o sistema global como equivalente a um agrupamento de elementos finitos no qual cada um destes é uma estrutura contínua mais simples. Impondo que em certos pontos comuns a vários elementos, designados por nós, os deslocamentos sejam compatíveis e as forças internas em equilíbrio o sistema global, resultante do agrupamento, reage como uma única entidade.

O Método dos Elementos Finitos (MEF), disponível através de diversos softwares comerciais, é largamente utilizado na análise dinâmica de estruturas. Na análise de vibrações livres, ou seja, na determinação de frequências e modos naturais de vibração, o MEF apresenta bons resultados para as primeiras frequências. (PETYT, 1990; BATHE, 1996).

Uma das técnicas mais empregadas neste campo de estudo é a Análise Modal, que é um método experimental usado para “obter uma descrição matemática do comportamento dinâmico ou de vibração” de um sistema vibratório (EWINS, 1984).

Segundo He e Fu (2001) a análise modal em análise por elementos finitos determina a frequência natural de vibração de uma estrutura de acordo com as suas características de distribuição de massa e de rigidez. A análise modal estuda as propriedades dinâmicas de um sistema através de excitações por vibrações.

Os mesmos afirmam que a análise modal determina os seguintes parâmetros de uma estrutura:

- Frequências naturais: em quais frequências a estrutura naturalmente vibra;
- Modos de vibrar: para cada frequência natural, qual é a forma da vibração
- Fator de participação do modo: o quanto de massa participa em determinada direção para cada modo.

Análise modal é a mais fundamental dentre as análises dinâmicas, essencial na determinação do comportamento dinâmico da estrutura ainda nas primeiras fases de um projeto.

A análise modal permite a modificação do projeto para evitar regiões de ressonância bem como para induzir a vibração em uma determinada frequência possibilita ao engenheiro identificar como um determinado projeto irá responder a diferentes carregamentos dinâmicos e o auxilia no cálculo de controles de solução (timestep, frequência natural) para outras análises dinâmicas.

Nas últimas duas décadas, a análise modal tornou-se uma tecnologia importante na busca para determinar, melhorar e otimizar as características dinâmicas da engenharia de estruturas. Não só foi reconhecido em engenharia mecânica e aeronáutica, mas a análise modal também descobriu aplicações profundas para a construção civil e problemas biomecânicos, estruturas espaciais, instrumentos acústicos, transporte e usinas nucleares. Outro fato relevante na vida moderna são as crescentes demandas de segurança e confiabilidade nas estruturas contemporâneas, definidas por regulamentos governamentais ou acumulados pelos consumidores. Essas demandas criaram novos desafios para o meio científico na compreensão das estruturas de engenharia, onde a vibração de uma estrutura é de importância, o desafio está em entender melhor suas propriedades dinâmicas usando meios analíticos, numéricos ou experimentais, ou uma combinação deles. A análise de elementos finitos como uma abordagem de modelagem computacional forneceu aos engenheiros uma ferramenta de design versátil, especialmente quando propriedades dinâmicas precisam ser analisadas (HE; FU, 2001).

He e Fu (2001) ainda afirmam que a análise modal é o processo de determinar as características dinâmicas inerentes de um sistema em formas de frequências naturais, fatores de amortecimento e formas de modos, e usá-las para formular um modelo matemático para seu comportamento dinâmico. O modelo matemático formulado é chamado de modelo modal do sistema e as informações para as características são conhecidas como dados modais. Os modos naturais de vibração são inerentes a um sistema dinâmico e são determinados completamente por suas propriedades físicas (massa, rigidez, amortecimento) e suas distribuições espaciais. Cada modo é descrito em termos de seus parâmetros modais: frequência natural, fator de amortecimento modal e padrão de deslocamento característico, ou seja, forma do modo. A análise moderna de elementos finitos capacita a discretização de quase

qualquer estrutura dinâmica linear e, portanto, aumentou consideravelmente a capacidade e o escopo da análise modal teórica, nesse contexto o método de elementos finitos constitui uma excelente alternativa para a solução de problemas dinâmicos que envolvem um grande número de graus de liberdade.

Por outro lado, o rápido desenvolvimento nas últimas duas décadas de recursos de aquisição e processamento de dados deu origem a grandes avanços no campo experimental da análise, que ficou conhecido como teste modal.

De acordo com Schwarz e Richardson (1999), modos de vibração ou ressonâncias são propriedades inerentes de uma estrutura. Os modos de vibração, são designados pelas propriedades do material como massa, rigidez e amortecimento e também através das condições de contorno da estrutura em questão. Cada modo é definido por uma frequência natural, amortecimento modal e um modo de vibração. Se as propriedades do material ou as condições de contorno da estrutura alteram-se, conseqüentemente os modos de vibração também passarão por mudanças.

Um modelo computacional do corpo humano inteiro sentado foi desenvolvido, incluindo esqueleto, músculo, vísceras, ligamento, disco intervertebral e pele para prever o efeito dos fatores nas características biodinâmicas da coluna (DONG; GUO, 2017). A frequência de ressonância vertical prevista no modelo de corpo sentado estava no intervalo de frequência natural vertical de 4 a 7 Hz e análises modais foram realizadas para todos os modelos para extrair suas frequências de ressonância e estudar o efeito nas nádegas, vísceras e músculos. Na postura vertical, o estresse foi distribuído de forma relativamente uniforme nessas três regiões. Isto sugeriu que manter a postura correta era muito importante para reduzir o risco de lesão do disco intervertebral lombar sob vibração de corpo inteiro, estes estudos experimentais demonstraram que a exposição a vibração prolongada do corpo humano pode levar à fadiga muscular e reduzir sua função de ajuste com coluna vertebral e os modos de vibração de baixa ordem tem grande efeito na coluna vertebral humana.

Um estudo usando como referência homens indianos na posição de pé e sentado, sob condições livres de amortecimento, usando o MEF com análise modal foi realizado. Um modelo humano de 54 Kg foi segmentado em diferentes segmentos elipsoidais e, em seguida, um modelo CAD 3D foi gerado nas posições em pé e sentado. Na postura sentada, verificou-se que, com o aumento de frequências naturais, um efeito máximo de vibrações é transmitido da cabeça a 2,8 Hz para os braços inferiores a 18,75 Hz. Na postura em pé, um efeito máximo de vibrações se

transmite da cabeça (2,47 Hz) para os braços inferiores (19,49 Hz) com um aumento na frequência natural do modelo humano. Em ambas as posturas, o modelo se comporta como uma viga e foi concluído que o resultado deste estudo pode ser usado para projetar componentes para uso humano, isto é, assentos de automóveis, pisos, elevadores, etc., para evitar ressonância no componente projetado. Além disso, o estudo atual pode ser estendido para diferentes posturas do modelo humano em condições de amortecimento (KUMAR et al, 2019).

Motoristas profissionais estão expostos de maneira muito frequente a vibrações de corpo inteiro (VCI) que levam a ocorrência de distúrbios na coluna vertebral, embora essas consequências tenham sido muito investigadas de maneira tradicional a modelagem por elementos finitos pode ajudar a entender o problema de maneira mais profunda, neste caso um estudo utilizando um modelo de elementos finitos HYBRID III foi aprimorado com maior detalhamento da região lombar e submetido a simulação de VCI em diversas frequências e sob três inclinações diferentes de encosto do assento e quatro posturas predefinidas de coluna vertebral. Os resultados mostraram que sob carga vibracional com frequência de 5 Hz e em uma configuração típica de posição sentada, as forças do disco permaneceram em uma faixa segura (<1700 N) por curto prazo.

A tensão das fibras de colágeno (<0,3%) e pressão intradiscal (<1,15 MPa) também indicaram que as cargas espinhais estavam em uma faixa segura. Além disso, o cálculo do fator de risco "R" de acordo com a ISO 2631-5 (cerca de R = 0,8) confirmou a baixa probabilidade de um efeito adverso à saúde devido à VCI a longo prazo. Nas frequências de excitação de 6 Hz e 7 Hz os resultados dos fatores de risco foram mais elevados (1,17 para 6 Hz e 1,28 para 7 Hz) ultrapassando os limites recomendados pela ISO. O modelo modificado facilitou a determinação das forças e tensões provocadas pelas VCI em diferentes situações que apresenta os efeitos a curto prazo, como também o cálculo do fator de risco que permite fazer uma simulação de efeito a longo prazo (AMIRI; NASERKHAKI; PARNIANPOUR, 2019).

A Tabela 5 apresenta um resumo de estudos recentes envolvendo a temática objeto dessa pesquisa e seus principais resultados.

Tabela 5 – Levantamento De Estudos Recentes Sobre O Tema Da Pesquisa

Autor/Ano	Objetivo	Área de abordagem	Metodologia	Principais Resultados
Charles et al, 2018	Investigar exposições ocupacionais à vibração e à postura inadequada do ombro e pescoço	VCI e Lesões nos ombros e pescoço	Uma pesquisa bibliográfica foi realizada usando os termos distúrbios musculoesqueléticos, vibração e postura inadequada.	Exposições ocupacionais a VCI foram significativamente associadas a Lesões nos ombros e pescoço
Kim, Fard e Kato, 2020	Avaliação de VCI e simulação 3D em ocupantes de veículos sentados	VCI e simulação em veículos	Criação de um modelo humano 3D para prever exposição a VCI e comparação com avaliações de exposições a VCI na posição sentada.	O modelo permitiu a previsão da exposição a VCI até 30 Hz. A pesquisa mostrou a capacidade de melhorar a vibração ao prever a exposição no homem assento no início de um novo veículo.
Adam et al, 2020	Estudar o efeito de posturas sentadas e magnitude de vibração na suspensão de um banco de trator agrícola.	VCI	Magnitudes de VCI foram avaliadas em 11 indivíduos na posição sentada em diferentes posturas no sistema do assento de trator agrícola.	Os resultados mostraram que houve três picos de transmissibilidade do assento, com ressonância primária encontrada entre 1,75 e 2,5 Hz para cada postura.
Gao et al, 2021	Desenvolver um modelo biomecânico com a anatomia real do corpo humano para entender a resposta humana à vibração.	VCI e simulação	Um modelo de elementos finitos do corpo humano sentado foi desenvolvido com vários segmentos, e comparado os percentuais de massa corporal com dados anteriores. O modelo foi exposto a vibração.	O modelo humano sentado serviu para refletir a transmissibilidade do assento na coluna e os principais modos do corpo humano abaixo de 10 Hz, que é propício para expressar a resposta humana à vibração.
Singh, Singh e Kalsi, 2020	Avaliar o efeito de vibração de corpo inteiro em vários segmentos do corpo humano.	VCI e simulação	Um modelo 3D de três camadas foi criado de acordo com dados antropométricos masculinos e exposto a acelerações de 0,5, 1,0 e 1,5 m/s <sup>2</sup> em uma faixa de frequência de 0 a 20 Hz.	Foi descoberto que a faixa de frequência de 4 a 6 Hz é dominante em ambas as avaliações com efeito máximo na cabeça.
Yazdanirad et al , 2022	Desenvolver ferramenta de avaliação de risco de lesões musculoesqueléticas entre os trabalhadores e avaliar sua validação.	Lesões musculoesqueléticas	300 funcionários do sexo masculino em uma siderúrgica foram entrevistados.	Os resultados mostraram que os parâmetros pessoais e físicos desempenham um papel importante na previsão de lesões. A ferramenta pode ser usada para rastrear e avaliar o risco de distúrbios musculoesqueléticos em pessoas com várias propriedades pessoais e ocupacionais.
Kumar et al, 2022	Avaliar o risco a saúde musculoesquelética de operadores de dumper a VCI com referência ao grupo não exposto.	VCI e Lesões musculoesqueléticas	Medições de VCI foram feitas em 110 operadores de dumper em três minas de carvão. Um questionário de sintomas foi aplicado e comparado com um grupo de trabalhadores não expostos à VCI	Foi observado que a prevalência de dor na região lombar foi 2,52 vezes maior do que no grupo controle. O grupo de casos da Mina-2 foi 2,0 vezes mais propensa a riscos de vibração em comparação com a Mina-3.

Fonte: O autor, 2023

### 3 METODOLOGIA EMPREGADA

Neste capítulo, estão apresentados os métodos de pesquisa adotados, descrevendo a estratégia de investigação e os procedimentos metodológicos aplicados neste estudo. Os procedimentos realizados e os equipamentos utilizados para coleta dos dados são descritos em quatro etapas conforme Figura 09, que buscam coletar e analisar informações referentes à: 1) A exposição diária à VCI; 2) simulação computacional pelo método de elementos finitos das vibrações do sistema homem-assento-suspensão; 3) Análise ergonômica de postura no local de trabalho; 4) A prevalência de sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral.

Como se trata de uma pesquisa que envolve seres humanos foram seguidos todos os trâmites necessários para autorização da pesquisa junto ao comitê de ética da universidade e plataforma Brasil do ministério da saúde. Como resultado desse pedido de autorização foi incorporado a pesquisa o *Termo de Compromisso Livre e Esclarecido* (TCLE) (Apêndice 01), composto de informações sobre o uso e divulgação dos dados, confidencialidade, segurança das informações, contato com os pesquisadores e instituição de ensino. O modelo básico do formulário do TCLE é disponibilizado pelo comitê de ética da universidade e customizado para a pesquisa a ser realizada. Ao final do processo foi emitido pelo comitê de ética da universidade um parecer consubstanciado (Apêndice 03) do projeto de pesquisa aprovando a sua realização.

Os Resultados dos dados coletados de vibrações, postura e sintomas musculoesqueléticos de cada indivíduo foram digitados no Microsoft Excel® para formar o banco de dados e após possíveis correções, exportados para o Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) em sua versão 20.0 para realização de análise estatística alinhada com os objetivos deste estudo.

Primeiramente, a fim de caracterizar a amostra pesquisada, foi realizada uma análise descritiva dos dados, em que foram obtidas frequências absolutas (N) e relativa (%) com respeito às variáveis de interesse qualitativas/categóricas e, no caso de variáveis quantitativas/numéricas, estas foram apresentadas sob a forma de mediana (mínimo; máximo).

Com o objetivo de verificar associação estatisticamente significativa entre a variável de presença de dor ou desconforto nos últimos 12 meses em diversas partes do corpo (pescoço, ombros, punhos/mãos, joelhos, lombar, dorsal, cervical,

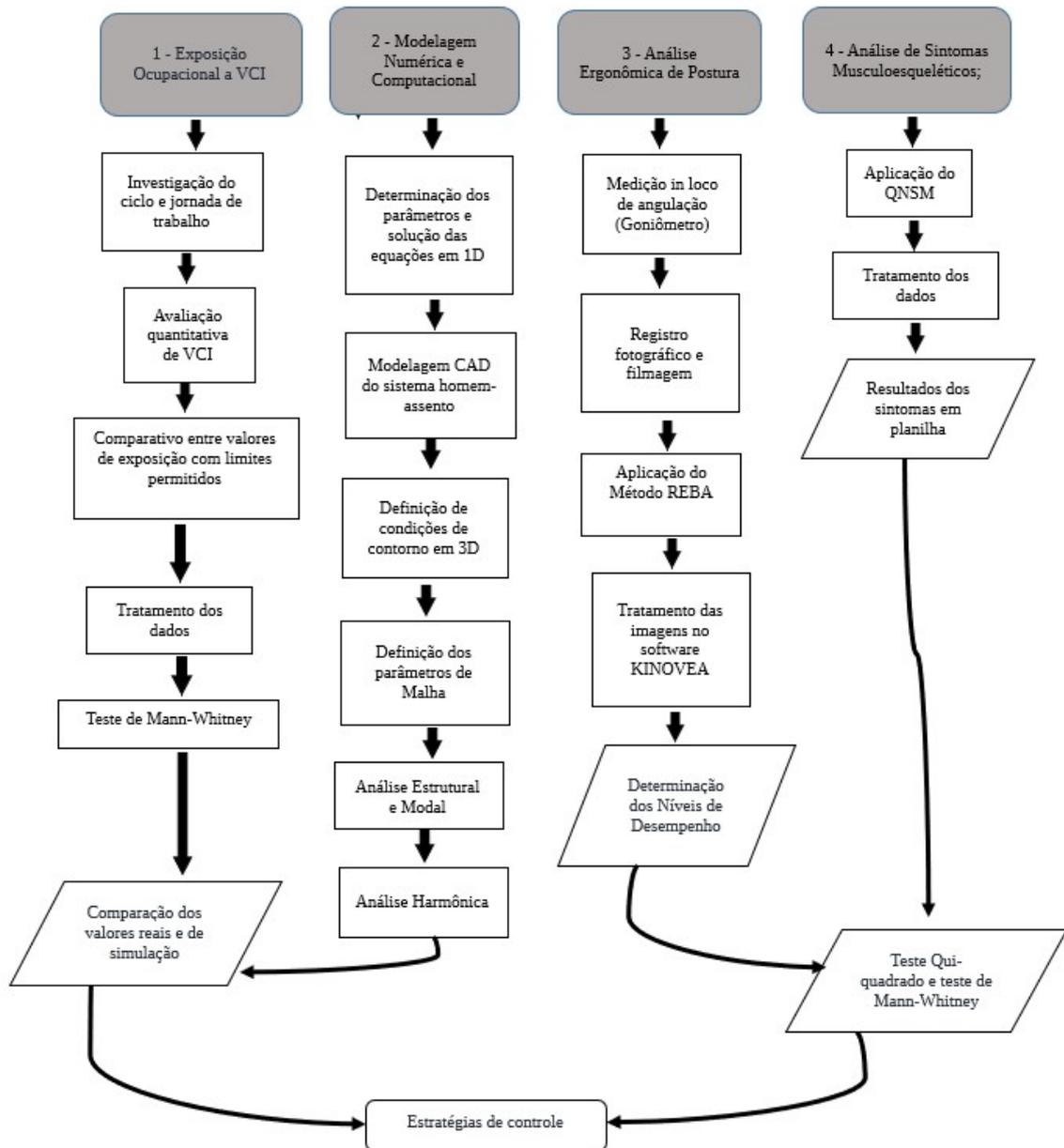
quadril/coxas) e as demais variáveis do estudo, foi utilizado o teste Qui-Quadrado (ou teste exato de Fisher, quando necessário), para variáveis qualitativas e Teste de Mann-Whitney, no caso de variáveis quantitativas, a exemplo das variáveis da análise de vibração. O teste Qui-Quadrado é um teste de hipóteses que se destina a encontrar um valor da dispersão para duas variáveis categóricas nominais e avaliar a associação existente entre variáveis qualitativas (MAGALHÃES; LIMA, 2010). O princípio básico deste teste é comparar proporções, ou seja, possíveis divergências entre as frequências observadas e esperadas para um certo evento.

Utilizada para a comparação de medidas ordinais ou numéricas entre dois grupos independentes, o teste Mann-Whitney compara a mediana ao invés da média, além disso, o teste não faz nenhuma suposição quanto a distribuição, populacional (MAGALHÃES; LIMA, 2010). Por fim, vale ressaltar que todas as análises estatísticas foram tomadas ao nível de 5% de significância.

### 3.1 LOCAL, PARTICIPANTES E PERÍODO DA PESQUISA

As visitas as áreas de produção aconteceram semanalmente durante o período de coleta. A amostra caracteriza-se como pequena e de uma população finita e conhecida, sendo assim calculada de acordo com Kirkwood e Sterne (2006) para estes casos, resultando em uma amostra mínima de 5 operadores de portêiner e 12 operadores de tractor. Assim de um total de 87 operadores de tractor e portêiner, foram amostrados 12 operadores de portêiner e 17 motoristas de tractor, representando assim uma amostra 33,33% do universo pesquisado.

Figura 9 – Fluxo de Procedimentos da Pesquisa



Fonte: O autor, 2023

Com base nos resultados das avaliações de postura através do REBA, dos questionários, das avaliações de vibração de corpo inteiro e simulações computacionais que foram realizadas em um plano de trabalho paralelo deste projeto de pesquisa, foi analisado as consequências na saúde no operador da exposição a estes dois fatores combinados. A Figura 9 ilustra com detalhes todas as etapas da pesquisa.

Finalmente após as discussões dos resultados sugeriu-se melhorias e mudanças nos projetos, na operação e manutenção das máquinas e seus respectivos

assentos, como também melhorias e manutenções no pavimento onde circulam esses veículos.

A coleta de dados foi realizada de novembro de 2021 a fevereiro de 2022 e deu-se nas instalações de um terminal portuário no nordeste do Brasil. Importante informar que por questões de sigilo de informações que envolvem possíveis riscos que afetam a saúde dos seus trabalhadores o nome do terminal de contêineres teve que ser preservado. Foram estudadas as operações com máquinas de movimentação de contêineres do ponto de vista da exposição ocupacional as VCI, e o estudo delimitado a análise ao Portêiner (QC) responsável pelo carregamento e descarregamento dos navios e aos caminhões Terminal Tractor, que realizam o transporte dos contêineres entre o cais e o pátio de armazenamento, conforme Figuras 10 e 11.

Figura 10 - Portêiner

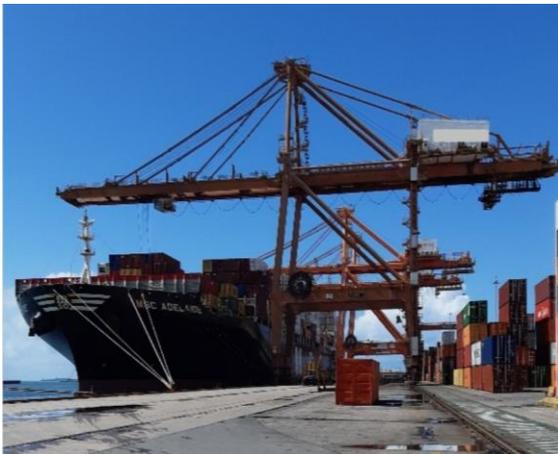


Figura 11 –Terminal Tractor



Fonte: O autor, 2023

### 3.2 PREVALÊNCIA DE SINTOMAS MUSCULOESQUELÉTICOS

Na sequência do estudo foram aplicados formulários para levantamento do perfil e queixas de saúde dos operadores.

O instrumento utilizado foi uma adaptação do Questionário Nórdico de Sintomas Musculoesqueléticos (QNSM). As perguntas forçam a escolha de variantes e podem ser autoadministradas ou utilizadas em entrevistas, concentrando-se em sintomas mais frequentemente encontrados no ambiente profissional. O QNSM adaptado pode ser visualizado no anexo 01. Os resultados dos questionários foram tratados em planilha eletrônica.

### 3.3 ANÁLISE ERGONÔMICA DE POSTURA

No que concerne a análise da postura dos operadores foi aplicada uma avaliação ergonômica do trabalho utilizando técnicas de análise postural com o intuito de investigar se a postura rotineira de trabalho combinada com as VCI, está contribuindo para o aparecimento ou agravamento de sintomas musculoesqueléticos na região da coluna vertebral dos operadores. A causa da dor nas costas de um indivíduo é muitas vezes indescritível. Outros fatores de risco, como postura inadequada, ficar sentado por muito tempo, levantar peso e trabalhar no frio, estão frequentemente associados a ambientes onde a vibração de todo o corpo também está presente.

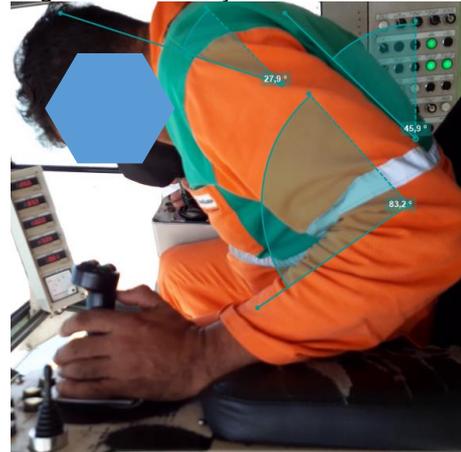
Dentre as ferramentas de avaliação ergonômica conhecidas a Rapid Entire Body Assessment– REBA foi identificada como uma das mais adequadas para o contexto visto que faz uma análise do corpo inteiro (HIGNETT; MCATMNEY, 2000)

Foram utilizadas filmagens e fotografias do operador realizando suas atividades para aplicação do método REBA e quando possível a aplicação do método no local utilizando o goniômetro conforme Figura 12 e na maioria dos casos utilizou-se da ferramenta de medição de ângulo do software KINOVEA conforme Figura 13. A análise ergonômica pelo método REBA foi aplicada a postura de maior duração no intervalo de trabalho do operador e os resultados das coletas tratados no aplicativo de carga postural do INSST.

Figura 12 - Goniômetro



Figura 13 – Medição Com Kinovea



Fonte: O autor, 2023

### 3.4 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO (VCI)

Na sequência foram realizadas as medições quantitativas de vibração de corpo inteiro – VCI nos operadores de portêiner e tractor, conforme Figuras 13 e 14, utilizando o vibrômetro e tratando os resultados nos softwares que acompanham o mesmo dB A8 e dB Maestro conforme Figuras 15 e 16. Foram realizadas avaliações em 3 dos 4 portêineres (Quay Crane - QC) em operação do terminal. Os portêineres 1 e 2 estão desativados e o portêiner 4 não foi possível realizar medição por dificuldade de acesso, o elevador estava inoperante e o acesso à cabine estava sendo feito a época através das escadas e restrito apenas ao operador por questões de segurança.

O vibrômetro utilizado nas avaliações quantitativas foi o VIB da marca 01dB, adequado para a medição de vibrações ocupacional de corpo inteiro de acordo com as exigências das normas ISO, Diretiva Europeia 2002/44/EC e recomendações da ACGIH, calibrado e com certificado de calibração RBC (laboratório credenciado INMETRO) (APÊNDICE 04). Instrumento ergonômico de fácil manuseio e utilização, leve para realizar a medição de dados, tratamento do sinal e a transferência de dados armazenados. O mesmo armazena níveis de vibração nos eixos X, Y e Z, dose diária de exposição AREN e VDVR através dos softwares dB A8 e dB Maestro e faz a gravação de sinal e espectro em 1/3 de oitavas.

Figura 13 – Operação Portêiner



Figura 14 – Operação Tractor



Fonte: O autor, 2023

Figura 15 – Software Dbã08

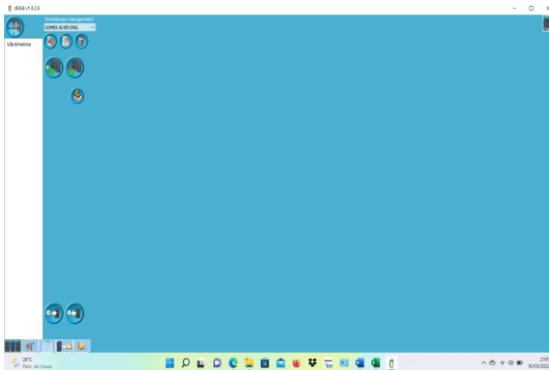
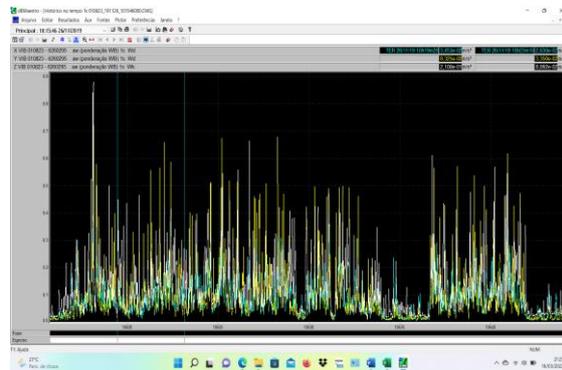


Figura 16 – Software Dbmaestro



Fonte: O autor, 2023

### 3.5 MODELAGEM NUMÉRICA E COMPUTACIONAL

Nessa etapa da pesquisa foi demonstrado inicialmente um modelo mecânico de assento suspensão de um sistema de isolamento de vibrações para uma máquina em uma dimensão (1D) e apresentado as equações matemáticas que representam o comportamento do sistema. Justifica-se a modelagem inicial em 1D pela facilidade de simulação e velocidade de processamento, trazendo resultados preliminares para análise inicial. Com parâmetros de massa, amortecimento e rigidez, determinados através de pesquisas na literatura, realizou-se inicialmente o processamento das equações no software Simulink® que simula as vibrações que afetam o corpo dos operadores de maneira a prever as consequências das mesmas. Para analisar o contexto real do cenário, e verificar a possibilidade de validar o modelo, serão

mensuradas as intensidades de vibrações as quais os operadores das respectivas máquinas estão submetidos e comparado esses valores com os níveis encontrados nas simulações numéricas em 3D utilizando o software Ansys Mechanical®. Os resultados das medições e simulações na sequência serão comparados entre si na perspectiva de uma constatação de semelhança ou aproximação entre os mesmos visando a validação do modelo frente aos dados reais.

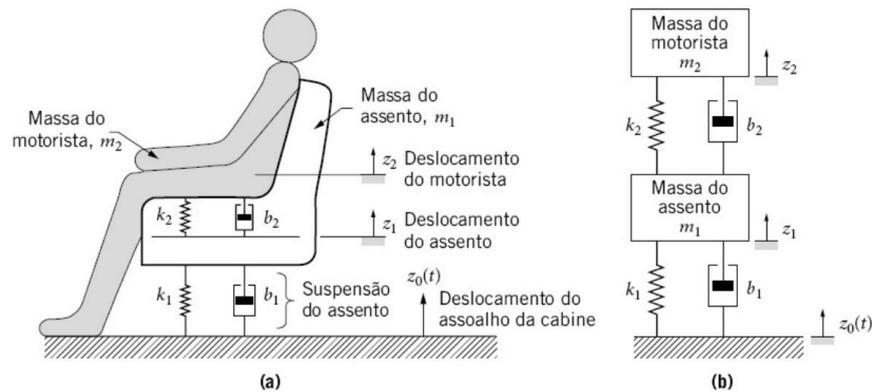
O desenvolvimento de um modelo numérico apropriado para análise é a primeira ação a ser tomada para avaliar um sistema, porque não se pode determinar uma resposta sem uma representação matemática de sua dinâmica. Nesta seção demonstraremos a modelagem numérica do sistema assento suspensão de um modelo dinâmico unidimensional e na sequência as simulações computacionais por elementos finitos do modelo customizado ao sistema homem assento do operador do portêiner. Nesta etapa da pesquisa por questões de viabilidade o trabalho se resumirá a operação do portêiner.

### **3.5.1 Modelo Dinâmico Numérico Unidimensional**

O modelo apresentado a seguir foi feito com base em um sistema de isolamento de vibrações para um veículo de acordo com Kluever (2018). Considerando a posição de trabalho dos operadores de máquinas objeto de nosso estudo, decidimos inicialmente como base para estudos preliminares realizar a simulação do modelo em uma dimensão – 1D usando o diagrama esquemático proposto por Kluever (2018) conforme Figura 16 usando os parâmetros de massa, rigidez e amortecimento de literaturas pesquisadas que relatam estudos similares.

A Figura 17 mostra o modelo mecânico concentrado do sistema suspensão-assento. A massa total do assento é  $m_1$ , enquanto a  $m_2$  representa a massa do motorista. A mola ideal  $k_1$  e o amortecedor viscoso  $b_1$  modelam o amortecedor físico, conectando o assento ao assoalho da cabine do veículo. A mola ideal  $k_2$  e coeficiente de atrito  $b_2$  representam, respectivamente, a rigidez e o amortecimento da almofada do assento. Finalmente,  $z_1$  é o deslocamento vertical da massa do assento e  $z_2$  é o da massa do motorista, e ambos são medidos com relação às suas posições de equilíbrio estático. O deslocamento vertical do assoalho da cabine (por causa das vibrações induzidas pelo deslocamento e terreno) é  $z_0(t)$  (note que o sentido para cima é a convenção de sinal positivo para todos os deslocamentos) (KLUEVER, 2018).

Figura 17 – (A) Diagrama Esquemático do Sistema Assento Suspensão e (B) Modelo Mecânico para o Sistema Assento Suspensão

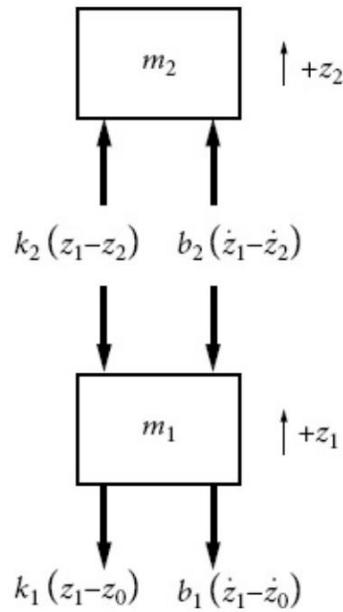


Fonte: Kluever, 2018

A Figura 18 representa o diagrama de corpo livre de um sistema mecânico de duas massas com convenção positiva (para cima) para os deslocamentos  $z_1$  e  $z_2$ . Todas as forças de molas e amortecedores dependem dos deslocamentos e velocidades relativos entre a massa do assento e o piso da cabine, e das massas do assento e do motorista, respectivamente. Assume-se que o deslocamento relativo  $z_1 - z_0$  é positivo, quando a mola da suspensão  $k_1$  está em tração e a força de reação atua para baixo sobre a massa do assento  $m_1$ . O deslocamento relativo  $z_1 - z_2$  é positivo, quando a almofada do assento é comprimida e a força de reação atua para baixo sobre a massa do assento  $m_1$  e para cima na massa do motorista  $m_2$  como mostrado pelas forças de mola  $k(z_1 - z_2)$  iguais e contrárias no diagrama de corpo livre.

De acordo com o diagrama apresentado por Kluever (2018) as forças de atrito dependem da velocidade relativa. Se for assumido que a velocidade relativa  $z_1 - z_0$  é positiva (isto é, a massa do assento  $m_1$  está se movendo “para fora” em relação ao assoalho da cabine), então a força de reação do atrito  $b_1(z_1 - z_0)$  sobre a massa  $m_1$  se opõe ao movimento relativo, como mostrado no diagrama de corpo livre. Da mesma forma, se for assumido que a velocidade relativa  $z_1 - z_2$  é positiva, então a força de reação do amortecimento da almofada do assento atua para baixo sobre a massa do assento  $m_1$  e para cima sobre a do motorista  $m_2$ , como mostrado pelas forças do amortecedor iguais e contrárias  $b_2(z_1 - z_2)$  no diagrama.

Figura 18 - Diagrama de Corpo Livre para o Sistema Suspensão Assento



Fonte: Kluever, 2018

Aplicando a segunda lei de Newton, tem-se:

$$\text{Massa1: } + \sum F = -k_2(z_1 - z_2) - b_2(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) - k_1(z_1 - z_0) - b_1(\dot{z}_1 - \dot{z}_0) = m_1\ddot{z}_1$$

$$\text{Massa2: } + \sum F = k_2(z_1 - z_2) + b_2(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) = m_2\ddot{z}_2$$

Organizando as expressões temos:

$$m_1\ddot{z}_1 + b_1\dot{z}_1 + b_2(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + k_1z_1 + k_2(z_1 - z_2) = b_1\dot{z}_0(t) + k_1z_0(t) \quad (4.1)$$

$$m_2\ddot{z}_2 + b_2(\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + k_2(z_2 - z_1) = 0 \quad (4.2)$$

Reunindo as equações 4.1 e 4.2, considerando  $x_1 = z_1$ ,  $x_2 = \dot{z}_1$ ,  $x_3 = z_2$ ,  $x_4 = \dot{z}_2$ , como variáveis de estado e  $z_0(t) = u_1$  e  $\dot{z}_0(t) = u_2$  como variáveis de entrada, e colocando em forma matricial temos:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{-(k_1 + k_2)}{m_1} & \frac{-(b_1 + b_2)}{m_1} & \frac{k_2}{m_1} & \frac{b_2}{m_1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{k_2}{m_2} & \frac{b_2}{m_2} & -\frac{k_2}{m_2} & -\frac{b_2}{m_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{k_1}{m_1} & \frac{b_1}{m_1} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

As duas saídas do sistema ou medidas foram especificadas como  $y_1 = z_2$  e  $y_2 = \ddot{z}_2$ . A primeira equação de saída é simplesmente  $y_1 = x_3$ , e a segunda é obtida a partir dos termos da última linha na Eq. (4.3)

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ k_2 & b_2 & -k_2 & -b_2 \\ m_2 & m_2 & m_2 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Com base na equação 4.4 dados de amortecimento (b), rigidez (k) e massa (m) definidos em pesquisas na literatura de acordo com a Tabela 06, serão inseridos num modelo numérico programado do software Simulink® para obtenção de resultados preliminares e análises iniciais do comportamento do sistema. Essas análises iniciais servirão de base teórica para desenvolvimento do sistema 3D.

Os dados de massa, rigidez e amortecimento necessários ao processamento do modelo 1D que constam na tabela 06 foram aproveitados de trabalhos correlatos conforme referências (BOLINA, 2013; ANFLOR; BECKER; TAMAGNA, 2004; ZHAO et al, 2021; YIN; DING; QIU, 2021; WEI; GRIFFIN, 1998)

Tabela 06 – Parâmetros de Rigidez, Amortecimento e Massa para Simulação 1d

Nº	$k_1$ (N/m)	$k_2$ (N/m)	$b_1$ (Ns/m)	$b_2$ (Ns/m)	$m_1$ (kg)	$m_2$ (kg)	Fonte
1	62800		1600		56		Bolina, 2013
2	70000		600		25	62,2	Anflor, Becker, Tamagna 2004
3	24.854	28.723			13	54	Macaia, 2017
4	32.300		514,11	677,60		60	Yin, Ding e Qiu 2021
5	35.776	38.374	761	458			Wei, Griffin, 1998
6						84	Tabela 10
7					62		Folheto TER

Fonte: O autor, 2023

Os dados do modelo foram utilizados combinando com outros dados já citados e simulações de deslocamento da massa do motorista no tempo e aceleração no motorista no tempo foram realizadas com base no modelo proposto pela Figura 17 utilizando a plataforma Simulink®.

Para uma simulação mais precisa foi utilizado o peso 62 quilogramas de um assento de guindaste indicado pelo folheto da indústria TER Tecno Elettrica Ravasi,

conforme Figura 19, visto que nas bibliografias de referências o peso do assento foi muito variado por conta dos tipos de máquinas estudadas (caminhão, tratores, motoniveladoras). A definição do peso do operador de 84 quilogramas foi baseada nos resultados dos questionários de sintomas musculoesqueléticos aplicados, onde o valor utilizado é o resultado da mediana dos pesos de todos os operadores entrevistados conforme Tabela 08.

As simulações podem utilizar entradas variadas para determinar a resposta do sistema assento suspensão, inicialmente considerou-se um “pico” no deslocamento do assoalho da cabine  $z_0(t)$ . Foi simulado que o veículo ou máquina passou sobre uma elevação, que causa um súbito deslocamento do assoalho da cabine. O deslocamento do assoalho  $z_0(t)$  foi modelado por um “pulso triangular” com um pico de 0,03 m (3 cm) e uma “taxa de elevação” constante vertical de  $\dot{z}_0 = 5,4$  m/s (subida). Portanto a duração total do pulso é de 5,6 ms. O sistema foi configurado para responder em termos do deslocamento e aceleração do motorista em função do tempo e transmissibilidade. Esse último consiste na razão entre o deslocamento de entrada e de saída.

Figura 19 – Modelo de Assento Utilizado nas Simulações 1d



Fonte: Folheto TER

### 3.5.2 Modelo Computacional – Método dos Elementos Finitos

Nesta seção, foi desenvolvido um modelo objetivando simular o posto de trabalho do operador de portêiner com a finalidade de prever o comportamento de funcionamento de um sistema homem assento utilizando a análise modal em análise por elementos finitos (MEF) na ferramenta de simulação ANSYS® 2022 R2 determinando a frequência natural de vibração do modelo de acordo com as suas

características de distribuição de massa e de rigidez. Na sequência aplicou-se uma carga externa de vibrações oriundas das fontes pertencentes ao equipamento para simular e analisar a transmissão das vibrações ao operador fazendo um comparativo com os resultados das medições quantitativas realizadas no portêiner que se encontram no tópico 4.5. Nos tópicos adiante serão especificados os detalhes da construção como a modelagem CAD do modelo humano e suas propriedades e modelo do assento do portêiner e suas propriedades, seus materiais e parâmetros utilizados na simulação, parâmetros de malha e condições de contorno.

### 3.5.2.1 Modelagem CAD e suas simplificações.

O assento do guindaste foi desenhado em escala real utilizando-se o software de CAD SPACECLIM que se encontra dentro da plataforma do software de simulação ANSYS®. Para desenhar o assento foi tomado como referência o assento ERGOSEAT NGH da empresa METAGRO concebido exclusivamente para operação de portêineres conforme Figura 20.

Figura 20 – Assento Ergoseat Ng H



Fonte: Metagro, 2023

A estrutura do assento foi configurada em aço estrutural ASTM A36 com 3 milímetros de espessura e densidade  $D = 7,85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , módulo de Young  $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$  e coeficiente de Poisson  $\nu = 0,26$ , a espuma do assento e do encosto foi

configurada em poliuretano com densidade  $D= 12,66 \text{ Kg/m}^3$ , módulo de Young  $E = 25 \text{ MPa}$  e coeficiente de Poisson  $\nu = 0,30$  (BHATIA et al, 2022). Na Figura 21 apresentamos o modelo finalizado do assento conforme especificações, com peso total de 109,30 Kg. O modelo do assento para efeitos de simulação foi fixado em sua parte superior em concordância com assento da Figura 20 que é fixado no teto da cabine (trolley) do portêiner.

O corpo humano utilizado foi modelado na plataforma Solidworks® em 3D conforme Figura 22 e foi considerado um sólido homogêneo e isotrópico, ou seja, as propriedades do material são as mesmas em todas as direções com as seguintes especificações: Densidade  $D=1062 \text{ kg/m}^3$ , Módulo de Young  $E=13 \text{ MPa}$  e coeficiente de Poisson  $\nu = 0,30$  (KUMAR, 2019; BHARADWAJ; PRAKASH, 2021).

Figura 21 – Modelo do Assento do Portêiner

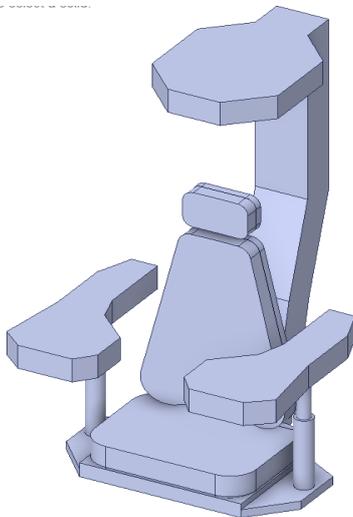
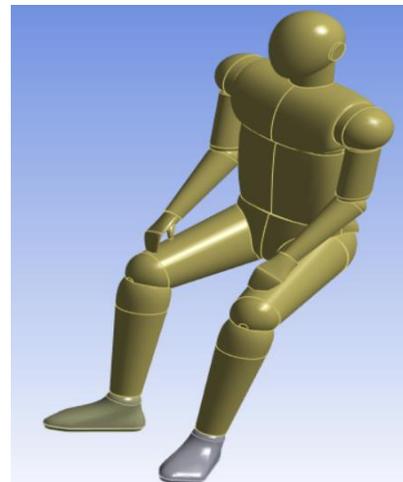


Figura 22 – Modelo do Corpo Humano

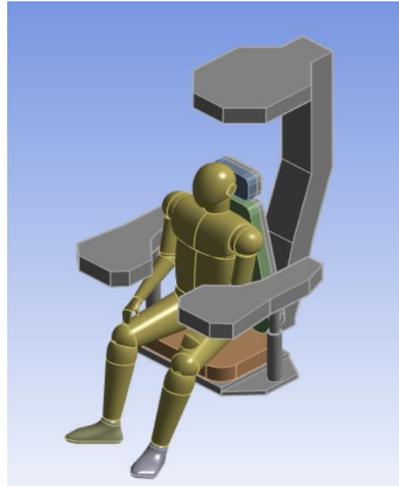


Fonte: O autor, 2023

### 3.5.2.2 Configurações de processamento da simulação

Na Figura 23 está ilustrado a junção dos modelos do assento do portêiner com o modelo do corpo humano. Os contatos entre eles se dão na cabeça com o encosto de cabeça, as coxas e nádegas com a região do assento e as costas na região da coluna torácica e cervical com no encosto. Para uma análise mais detalhada o processamento das simulações foi realizado em três configurações de malha, a Tabela 07 apresenta as principais informações de cada malha.

Figura 23 – Modelo Sistema Homem Assento



Fonte: Autor, 2023

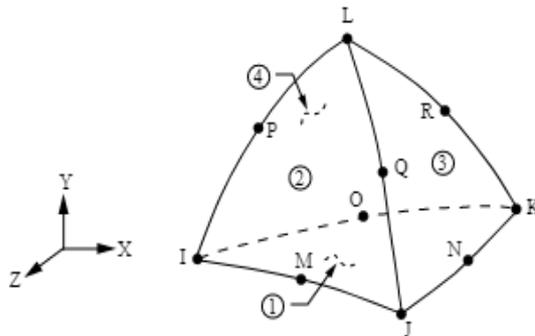
Tabela 7 – Parâmetros de Malha

	Número de elementos	Tipo de elementos	Tempo de simulação (s)	Tensão Von-Mises (MPa)
Malha 1	360612	SOLID187 - Sólido estrutural tetraédrico 3-D de 10 nós e SOLID186 - Sólido estrutural 3-D de 20 nós	353,5	140,23
Malha 2	414210	SOLID187 - Sólido estrutural tetraédrico 3-D de 10 nós e SOLID186 - Sólido estrutural 3-D de 20 nós	481,5	123,56
Malha 3	645031	SOLID187 - Sólido estrutural tetraédrico 3-D de 10 nós e SOLID186 - Sólido estrutural 3-D de 20 nós	993,8	123,08

Fonte: O autor, 2023

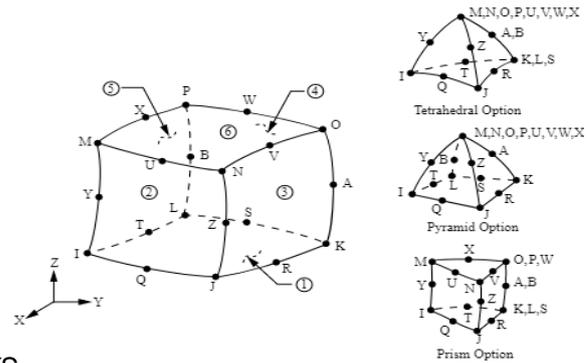
O elemento SOLID187 é 3D de 10 nós de ordem superior conforme Figura 24. O mesmo tem um comportamento de deslocamento quadrático e é adequado para modelar malhas irregulares, sem muita simetria. O elemento é definido por 10 nós com três graus de liberdade em cada nó: translações nas direções nodais x, y e z. O elemento tem plasticidade, hiperelasticidade, fluência, enrijecimento por tensão, grande deflexão e grande capacidade de deformação.

Figura 24 – Malha 3D Tetraédrico



Fonte: Biblioteca Software ANSYS

Figura 25 - Malha 3D Hexaédrico



SOLID186 é um elemento sólido 3D de 20 nós de ordem superior que exibe um comportamento de deslocamento quadrático. O elemento é definido por 20 nós com três graus de liberdade por nó: translações nas direções nodais x, y e z. O elemento suporta plasticidade, hiperelasticidade, fluência, enrijecimento por tensão, grande deflexão e grandes capacidades de deformação e está ilustrado na Figura 25.

Os elementos tetraédrico e hexaédrico foram os mais adequados para esse modelo, eles resultam numa malha mais suave para estruturas complexas como o corpo humano (KUMAR et al, 2019; BHATIA et al, 2022; DONG; GUO, 2017). Os dados do dispositivo que fez a simulação são descritos a seguir: Dispositivo WSCATEM, processador intel® xeon W-1250 @ 3,30 GHz, RAM instalada 16,00 GB (utilizável: 15,7 GB)

### 3.6 PROCESSAMENTOS E ANÁLISE DOS DADOS

Os instrumentos de coleta de dados que serão utilizados para levantamento das informações serão:

1. Formulário de levantamento de dados gerais dos operadores e queixas de sintomas musculoesqueléticos onde serão levantadas e processadas as informações de idade, atividade, tempo na função, condições físicas e queixas de sintomas na coluna vertebral.
2. Análise postural utilizando o método REBA, onde serão levantadas as posturas exercidas pelos operadores durante o exercício de suas atividades e suas possíveis implicações sobre a saúde;
3. Simulação computacional de exposição a VCI e avaliação quantitativa de VCI conforme normas vigentes para comparativo com o nível de ação e limite de tolerância .

De posse das informações acima relacionadas procederemos os tratamentos e análises dos resultados utilizando o Microsoft Excel® para formar o banco de dados e após possíveis correções, exportados para o Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) em sua versão 20.0 para realização de análise estatística alinhada com os objetivos deste estudo e com determinar as condições dos operadores e das máquinas que podem contribuir para o surgimento de sintomas musculoesqueléticos na coluna vertebral dos mesmos.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados das pesquisas no campo da análise postural ergonômica, análise de vibração ocupacional e simulações computacionais.

### 4.1 RESULTADOS DAS ANÁLISES ERGONÔMICAS

Nesta seção, os resultados dos levantamentos realizados pelo questionário e análise REBA serão apresentados e discutidos. Inicialmente os resultados do questionário receberam uma organização e os dados foram tabelados e compilados em gráfico de barras. A análise REBA teve suas pontuações calculadas e apresentadas em termos percentuais em forma de tabela. Por fim os dados coletados de cada indivíduo foram digitados no Microsoft Excel® para formar o banco de dados e após possíveis correções, exportados para o Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) em sua versão 20.0 para realização de análise estatística alinhada com os objetivos deste estudo. O terminal portuário, objeto da pesquisa, a época da coleta de dados possuía 23 operadores de portêiner e 64 motoristas de tractor e o universo analisado foram de 29 trabalhadores (33,33%).

### 4.2 RESULTADOS DAS ANÁLISES DE OCORRÊNCIAS DE SINTOMAS MUSCULOESQUELÉTICOS

Os resultados preliminares da aplicação do QNSM estão resumidos na Tabela 08. Os trabalhadores tinham idade entre 30 e 59 anos, dando um valor mediano de 41 anos. Apenas um participante era fumante e do total de participantes 72,41% não consumia bebidas alcoólicas. A mediana de peso dos mesmos foi de 84 Kg e a mediana de altura ficou em 173 cm. A maioria dos entrevistados eram do sexo masculino e de lateralidade destro e apenas 51,72% praticavam atividade física. Importante pontuar que a altura e o peso têm influência direta no posicionamento e conforto, bem como nas propagações das vibrações para o corpo. A idade e a prática de atividade física influenciam diretamente no surgimento e tratamento dos sintomas.

Tabela 08- Resultados Preliminares do QNSM

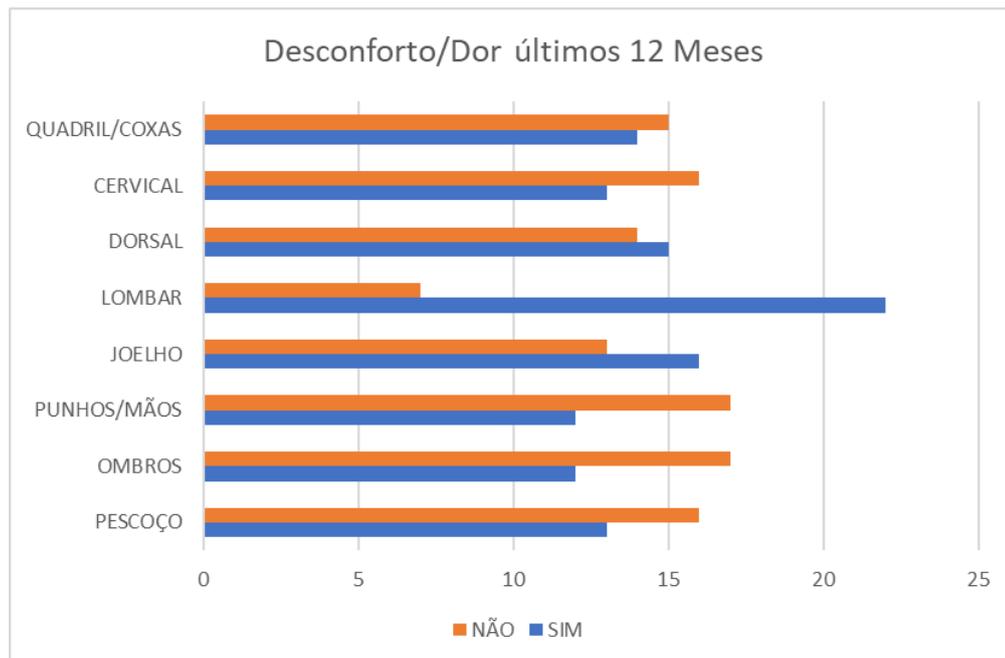
Variáveis em Estudo		
Idade (anos)	Mediana	41
	Intervalo	30 a 59
Gênero	Masculino	95,55%
	Feminino	3,44%
Altura (cm)	Mediana	173
	Intervalo	165-190
Peso (kg)	Mediana	84
	Intervalo	56-120
Lateralidade	Destro	95,55%
	Canhoto	3,44%
Ativ. Física	Sim	51,72%
	Não	48,27%
Fumante	Sim	6,89%
	Não	93,10%
Ingestão Beb. Alcoólica	Sim	27,58%
	Não	72,41%

Fonte: O autor, 2023

Os resultados de queixas de desconforto ou dor nos últimos doze meses do QNSM se encontram na Figura 26 e revelaram que em todas as regiões investigadas do corpo mais de 40% das respostas foram positivas. Os maiores índices de queixas foram na região da coluna lombar e joelhos que acumularam 75,86% e 55,17% de respostas positivas respectivamente.

Em segundo lugar encontra-se a região da coluna dorsal com 51,72% de respostas positivas quanto a incidência de desconforto ou dor. Na sequência com 48,27% a região dos quadris e coxas ocuparam a terceira colocação. A coluna cervical e pescoço ficaram empatados e quarto lugar com 44,82% das queixas de desconforto ou dor. Os ombros e punhos/mãos tiveram as menores incidências com 41,37% de respostas positivas. Os resultados mostraram uma prevalência de sintomas musculoesqueléticos preponderantes na região da coluna lombar e joelhos.

Figura 26 - Prevalência de Sintomas por Região do Corpo



A Tabela 9 detalha os resultados de sintomas musculoesqueléticos por região do corpo nos últimos doze meses, inclusive indicando quando for o caso se o membro afetado foi o esquerdo ou direito. Outra informação importante foi a necessidade do operador de realizar algum tipo de tratamento para alívio da dor ou desconforto, que na maioria dos relatos o tratamento teve maior incidência na região lombar com 27,58% seguido pela cervical 20,68%. Na sequência o lado esquerdo do joelho e punhos e mãos representou 17,24% da necessidade de tratamento. O QNSM levantou também que nos últimos doze meses, do universo pesquisado, quatro operadores precisaram se afastar totalmente do trabalho por conta de desconforto ou dor em uma ou mais das regiões do corpo consideradas.

Tabela 9 - Resultados Detalhados de Prevalência de Sintomas Musculoesqueléticos

Região do corpo		Desconforto/Dor		Fez Tratamento	
		Sim	Não	Sim	Não
Lombar		22	7	8	21
Dorsal		15	14	5	24
Cervical		16	13	6	23
PESCOÇO		13	16	2	27
Quadril/coxas		14	15	4	25
Ombros	Esquerdo	6	23	1	28
	Direito	11	18	4	25
Punhos/mãos	Esquerdo	8	21	5	24
	Direito	10	19	4	25
Joelhos	Esquerdo	9	20	5	24
	Direito	13	16	3	26

Fonte: O autor, 2023

Estudos realizados em muitos países, tais como EUA, Índia e Brasil, vêm mostrando que os Distúrbios Musculoesqueléticos relacionados ao trabalho são um importante problema de saúde pública, apresentando alta prevalência em países industrializados e em desenvolvimento, tornando-se um grave problema de saúde (JADHAV; ARUNACHALAM; SALVE, 2019). E têm um impacto significativo tanto nos trabalhadores quanto na economia mundial (WOOLF; EDWIN; MARCH, 2012). Trabalhos publicados recentemente ratificam as informações e revelam que a coluna lombar, joelhos e coluna cervical são as áreas mais atingidas por esses distúrbios (OKUYUCU, et al, 2021; SCHWARTZ, et al, 2019; RATHORE; PUNDIR; IQBAL, 2020).

#### 4.3 RESULTADOS DE ANÁLISE POSTURAL

Com os resultados da pontuação A e da pontuação B, conforme descrito na seção 3.4, identificou-se a pontuação final do método REBA, que é usado para indicar o nível de risco da postura e nível de ação sugerido para a melhoria.

A Tabela 10 apresenta a frequência e o percentual de participantes com as pontuações REBA (pontuação A, pontuação B e pontuação final REBA) para cada região do corpo predefinida pelo método. Do total de participantes, 62% atingiram pontuação igual a 2 em relação ao pescoço, indicando que o pescoço do participante estava inclinado para frente com 20° ou mais durante a execução de sua tarefa, para os 38% restantes foi adicionado mais um ponto pelo motivo de ocorrer torção do pescoço, totalizando pontuação 3. A pontuação do tronco para 100% dos participantes resultou em 3, indicando que os participantes se submetem frequentemente a inclinações entre 20° e 60° para a frente durante as operações e alguns casos com torção. A pontuação da perna para 65,5% dos participantes foi 2 refletindo que o operador trabalha sentado e distribui o peso bilateralmente. As combinações desses resultados foram comparadas a tabela de pontuação “A” indicando que 38% dos pesquisados ficaram com pontuação igual a 6 seguidos por 31% com pontuação 4 e 31% com 5, com uma mediana de pontuação “A” igual a 5.

Tabela 10 - Pontuações Reba com Frequência e Porcentagem de Participantes

Ponto Reba	Pes-coço	Tronco	Pernas	Pontos A	Braços	Ante braços	Punhos	Pontos B	Pontos C	Pontuação Final
1			10(34,5%)				17(58,6%)			
2	18(62%)		19(65,5%)		29(100%)	29(100%)	12(41,4%)	17(58,6%)		
3	11(38%)	29(100%)						12(41,4%)		
4				8(28%)					19(65,5%)	
5				10(34%)						
6				11(38%)				10(34,5%)		19(65,5%)
7										10(34,5%)
8										
9										
≥ 10										

Fonte: O autor, 2023

Na região dos braços e antebraços a pontuação foi 2 em 100% dos participantes indicando a flexão acima de 20° nos braços e menor que 60° nos antebraços. Nos punhos 58,6% dos participantes atingiram pontuação 1 com flexão entre 0° e 15°. Os 41,4% restantes dos participantes obtiveram pontuação foi 1 pela flexão entre 0° e 15° com a adição de mais 1 ponto por conta de existir rotação do

punho, totalizando pontuação 2, as frequentes rotações deve-se ao manuseio dos joysticks do operador de portêiner conforme Figura 27.

Figura 27 - Posicionamento dos Punhos



Fonte: O autor, 2023

As combinações desses resultados foram comparadas a tabela de pontuação “B” indicando que 58,6% dos pesquisados ficaram com pontuação igual a 2 e 41,4% obtiveram pontuação 3, com uma mediana de pontuação “B” igual a 2. Entre os participantes 65,5% tiveram uma pontuação final REBA igual a 6 e 34,5% atingiram pontuação final 7 sendo assim enquadrados como submetidos a risco médio e nível de ação 2, resultando na necessidade de ações para realização de mudanças visando a melhoria.

#### 4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Primeiramente, a fim de caracterizar a amostra pesquisada, foi realizada uma análise descritiva dos dados, em que foram obtidas frequências absolutas (N) e relativa (%) com respeito às variáveis de interesse qualitativas/categóricas e, no caso de variáveis quantitativas/numéricas, estas foram apresentadas sob a forma de mediana (mínimo; máximo).

Com o objetivo de verificar associação estatisticamente significativa entre a variável de presença de dor ou desconforto nos últimos 12 meses em diversas partes do corpo (pescoço, ombros, punhos/mãos, joelhos, lombar, dorsal, cervical, quadril/coxas) e as demais variáveis do estudo, foi utilizado o teste Qui-Quadrado (ou teste exato de Fisher, quando necessário), para variáveis qualitativas e Teste de

Mann-Whitney no caso de variáveis quantitativas, a exemplo das variáveis da análise de vibração (MAGALHÃES; LIMA, 2010).

Por fim, vale ressaltar que todas as conclusões foram tomadas ao nível de 5% de significância.

A Tabela 11 apresenta os testes de significâncias entre as variáveis, revelando que na linha “Equipamentos” existe associação com coluna de dor no pescoço, ombros e punhos nos últimos 12 meses com resultados dos valores de “p” igual a 0,006; 0,006 e < 0,001 respectivamente. Entende-se coerentes as associações com base nas posturas exercidas pelos operadores nas máquinas estudadas. Ainda verificamos que o portêiner foi o equipamento que teve maior contribuição nas associações, visto que a resposta foi sim para dor e desconforto nos últimos 12 meses em 69,2% para o pescoço, 75% para os ombros e 83,3% para punhos e mãos.

Na linha de “Tempo de Experiência” verificou-se uma associação com diferença estatística significativa (0,008) entre quem relatou dor ou desconforto nos ombros e entre quem não relatou. É possível observar que entre aqueles que relataram sentir dor nos ombros o tempo de experiência foi maior com mediana de 11,5 anos.

Tabela 11 - \* Teste Qui-Quadrado ou Teste Exato de Fisher e \*\* Teste de Mann-Whitney

Variáveis	Total		Pescoço				Valor de p*	Dor ou desconforto nos últimos 12 meses				Valor de p*	Punhos e mãos				Valor de p*
			Sim		Não			Ombros		Não			Sim		Não		
	N	%	N	%	N	%		N	%	N	%		N	%	N	%	
<b>Equipamento</b>																	
Porteiner	12	41.4	9	69.2%	3	18.8%		9	75.0%	3	17.6%		10	83.3%	2	11.8%	
Tractor	17	58.6	4	30.8%	13	81.2%	0,006	3	25.0%	14	82.4%	0,006	2	16.7%	15	88.2%	< 0,001
<b>Idade</b>																	
mediana (mínimo; máximo)	41 (30; 59)		38 (32; 59)		43.5 (30; 56)		0,880**	45.5 (32; 59)		38 (30; 56)		0,325**	42.5 (32; 59)		41 (30; 56)		0,394**
<b>Gênero</b>																	
Masculino	28	96.6	13	100.0%	15	93.8%		12	100.0%	16	94.1%		12	100.0%	16	94.1%	
Feminino	1	3.4	0	0.0%	1	6.2%	1,000	0	0.0%	1	5.9%	1,000	0	0.0%	1	5.9%	1,000
<b>Tempo de experiência</b>																	
mediana (mínimo; máximo)	10 (7; 22)		11 (8; 22)		10 (7; 13)		0,156**	11.5 (9; 22)		9 (7; 14)		0,008**	11.5 (8; 22)		10 (7; 14)		0,117**
<b>Peso</b>																	
mediana (mínimo; máximo)	84 (56; 120)		82 (68; 113)		86 (56; 120)		0,619**	83 (68; 113)		88 (56; 120)		0,647**	83 (68; 90)		84 (56; 120)		0,616**
<b>Altura</b>																	
mediana (mínimo; máximo)	173 (160; 190)		173 (167; 190)		172.5 (160; 184)		0,714**	172.5 (167; 190)		173 (160; 184)		0,679**	173 (167; 180)		171 (160; 190)		0,777**
<b>Lateralidade</b>																	
Destro	28	96.6	12	92.3%	16	100.0%		11	91.7%	17	100.0%		11	91.7%	17	100.0%	
Canhoto	1	3.4	1	7.7%	0	0.0%	0,448	1	8.3%	0	0.0%	0,414	1	8.3%	0	0.0%	0,414
<b>Atividade Física</b>																	
Sim	16	55.2	9	69.2%	7	43.8%		7	58.3%	9	52.9%		8	66.7%	8	47.1%	
Não	13	44.8	4	30.8%	9	53.2%	0,170	5	41.7%	8	47.1%	0,774	4	33.3%	9	52.9%	0,296
<b>Fumante</b>																	
Sim	2	6.9	0	0.0%	2	12.5%		0	0.0%	2	11.8%		0	0.0%	2	11.8%	
Não	27	93.1	13	100.0%	14	87.5%	0,488	12	100.0%	15	88.2%	0,498	12	100.0%	15	88.2%	0,498
<b>Bebida alcoólica</b>																	
Sim	8	27.6	3	23.1%	5	31.2%		4	33.3%	4	23.5%		3	25.0%	5	29.4%	
Não	21	72.4	10	76.9%	11	68.8%	0,697	8	66.7%	13	76.5%	0,683	9	75.0%	12	70.6%	1,000
<b>Afastamento nos últimos 12 meses por dor ou desconforto</b>																	
Sim	4	13.8	1	7.7%	3	18.8%		2	16.7%	2	11.8%		2	16.7%	2	11.8%	
Não	25	86.2	12	92.3%	13	81.2%	0,606	10	83.3%	15	88.2%	1,000	10	83.3%	15	88.2%	1,000
<b>Dores anteriores à profissão de operador</b>																	
Sim	2	6.9	2	15.4%	0	0.0%		2	16.7%	0	0.0%		2	16.7%	0	0.0%	
Não	27	93.1	11	84.6%	16	100.0%	0,192	10	83.3%	17	100.0%	0,163	10	83.3%	17	100.0%	0,163

Fonte: O autor, 2023

A Tabela 12 apresenta e confirma a relação entre dor e desconforto e necessidade de tratamento para alívio nos últimos 12 meses. A associação aparece nos punhos e mãos (0,060), joelhos (0,020), coluna dorsal (0,042), coluna cervical (0,020) e quadril e coxas (0,042).

Tabela 12 - \* Teste Qui-Quadrado ou Teste Exato de Fisher Dor X Tratamento

Variáveis	Pescoço				Valor de p*	Ombros				Valor de p*	Punhos e mãos				Valor de p*	Joelhos				Valor de p*
	Sim		Não			Sim		Não			Sim		Não			Sim		Não		
	N	%	N	%		N	%	N	%		N	%	N	%		N	%	N	%	
Tratamento para alívio de desconforto ou dor nos últimos 12 meses																				
Pescoço	2	15,4%	0	0,0%	0,192															
Ombros						2	16,7%	0	0,0%	0,163										
Punhos e mãos											3	25,0%	0	0,0%	0,060					
Joelhos																6	37,5%	0	0,0%	0,020
Lombar																				
Dorsal																				
Cervical																				
Quadril/Coxas																				

\* Referente à respostas 'Sim'

Variáveis	Lombar				Valor de p*	Dorsal				Valor de p	Cervical				Valor de p*	Quadril/Coxas				Valor de p*
	Sim		Não			Sim		Não			Sim		Não			Sim		Não		
	N	%	N	%		N	%	N	%		N	%	N	%		N	%	N	%	
Tratamento para alívio de desconforto ou dor nos últimos 12 meses																				
Pescoço																				
Ombros																				
Punhos e mãos																				
Joelhos																				
Lombar	8	36,4%	0	0,0%	0,061															
Dorsal						5	33,3%	0	0,0%	0,042										
Cervical											6	37,5%	0	0,0%	0,020					
Quadril/Coxas																4	28,6%	0	0,0%	0,042

\* Referente à respostas 'Sim'

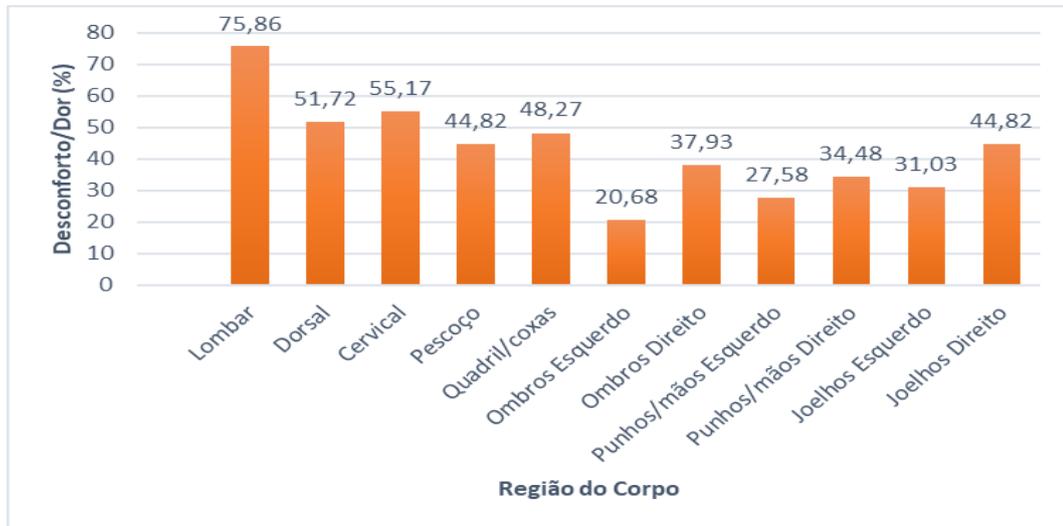
Fonte: O autor, 2023

#### 4.4.1 Discussões dos resultados de análises ergonômicas e de postura

Esta etapa do trabalho de pesquisa investigou riscos potências e suas relações com a prevalências de sintomas musculoesqueléticos em operadores portuários. As regiões da coluna lombar, cervical, e dorsal apresentaram a maior incidência de prevalência de sintomas musculoesqueléticos, mas todas as outras regiões apresentaram alguma porcentagem de prevalência de sintomas, indicando a necessidade de intervenções de uma maneira geral nos fatores de risco a atividade. A figura 28 apresenta as regiões do corpo mais afetadas em porcentagem total de dor/desconforto e observar-se que a maior incidência foi na região da lombar (75,86%), cervical (55,17%) e dorsal (51,72%). Esses percentuais concordam com os resultados das análises de postura REBA que indicaram também maiores incidências na região do pescoço e tronco conforme Tabela 8. Ainda nos membros superiores o pescoço também apresentou índice alto de desconforto podendo ter como causa o posicionamento inadequado e prolongado da região. Esses resultados confirmaram o que visualmente se constatava na ocasião das visitas de campo para coleta de dados e registros fotográficos, onde claramente a postura de trabalho desses operadores deixa as regiões citadas em desconforto conforme Figuras 12 e 13. Nos membros

inferiores as maiores queixas foram no quadril/coxas (48,27%) seguido pelo joelho direito (44,82%).

Figura 28 - Percentual de Dor/Desconforto por Região do Corpo



Fonte: O autor, 2023

Em relação a lateralidade, o lado direito dos membros superiores e inferiores foram os que apresentaram maior desconforto, os resultados se assemelham a relatos de pesquisas anteriores no melhor do nosso conhecimento, não foram encontrados na literatura informações semelhantes em atividades correlatas no que se refere a lateralidade (NAGARAJ et al., 2019; RATHORE; PUNDIR; IQBAL, 2020).

No entanto, em termos gerais os resultados apresentados se confirmam com base em pesquisas similares com motoristas de caminhão que exercem posturas relativamente similares (SEKKAY, F. et al, 2018; KIM; FARD; KATO, 2016; MOZAFARI, A. et al, 2015; BOVENZI, 2015). Nesses estudos, as regiões do corpo que apresentaram maior desconforto foram a coluna lombar, pescoço e ombros, indicando presença de prevalência de sintomas musculoesqueléticos nesses profissionais. Acredita-se que esses resultados se justificam pela alta repetitividade de esforços na tarefa por longos períodos, envolvendo principalmente a inclinação da cabeça para frente, forçando por este motivo a coluna cervical e lombar para viabilizar a posição de trabalho. Os punhos também são muito exigidos devido às constantes manobras dos joysticks e botões de controle fazendo com que essa região do corpo apresente também alto índice de desconforto. Um fator potencializador de desconforto identificado durante as visitas de campo foi a ausência de ajustes de posicionamento dos assentos, que não funcionavam por falta de manutenção, obrigando o operador a

trabalhar em posições menos confortáveis. Esses assentos possuem inúmeros ajustes (encosto, assento, braços, antebraços) que minimizam o desconforto do operador, mas com o tempo de uso esses comandos vão se degradando e saindo de operação, não recebem manutenção, contribuindo significativamente para o aumento de sintomas musculoesqueléticos nesses profissionais.

A norma da ABNT NBR ISO 11226 (2013) afirma que dor, fadiga e distúrbios do sistema musculoesquelético podem ser resultado da manutenção de posturas de trabalho inadequadas, que podem ser causadas por situações de trabalho precárias. Mansfield (2005) afirma que a maioria dos pesquisadores concorda que a vibração é um fator de risco para dores nas costas, mas existem outros fatores que são importantes. Ao fazer uma avaliação de um ambiente, portanto, é essencial que toda a tarefa seja considerada.

A pontuação final REBA revelou que 100% dos trabalhadores estavam em risco médio, esses resultados combinados com os resultados do QNSM indicam a prevalência de sintomas musculoesqueléticos nesses profissionais e a necessidade de estudo e intervenção ergonômica no posto de trabalho para contornar riscos de lesões graves e transtornos permanentes. Entende-se por postura “a manutenção dos segmentos corporais no espaço” (MORAES; MONT’ALVÃO, 2003). Um recente levantamento realizado também na área de transporte, sendo que nesse caso aéreo revelou que 57% dos trabalhadores estavam na categoria de alto risco, mostrando a necessidade de intervenção imediata (ASADI et al, 2019).

#### 4.5 RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES DE VIBRAÇÃO OCUPACIONAL DE CORPO INTEIRO – VCI

As medições quantitativas de vibrações de corpo inteiro foram realizadas de acordo com a NHO 09 em 12 operadores de portêiner e 17 operadores de tractor (BRASIL, 2013). Foram avaliadas as acelerações resultantes de exposição normalizadas – AREN e o valor da dose de vibração resultante – VDVR e esses resultados foram comparados com os limites de tolerância estipulados pela NR-09 em seu anexo 1 (BRASIL, 2020). Os dados podem ser visualizados nas tabelas e gráficos que seguem.

Ratificando que os limites de exposição (limite de tolerância) correspondem ao valor que se ultrapassado poderá trazer danos à saúde dos operadores, de acordo

com a NR-09, e NHO-09 esses valores correspondem ao valor da AREN = 1,10 m/s<sup>2</sup> e VDVR = 21 m/s<sup>1,75</sup> (BRASIL, 2019; BRASIL, 2020) Da mesma forma a NR-09 considera o nível de ação, que corresponde a 50% do limite de tolerância e que se atingido algumas medidas de prevenção e conscientização já devem ser tomadas. O nível da ação para NR-09 e NHO-09 corresponde a AREN = 0,5 m/s<sup>2</sup> e VDVR = 9,1 m/s<sup>1,75</sup>. Esses limites foram comparados com os valores constantes nas Tabelas 14 e 15 e foi utilizado o quadro 1 da NHO 09 adaptado na Tabela 13 para definição das ações de atuação recomendadas (BRASIL, 2019)

Tabela 13 – Critério de Julgamento e Tomada de Decisão – NHO 09

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: São Paulo (2013).

De acordo com a Tabela 13 pode-se observar que para os operadores de portêiner o limite de tolerância AREN para vibração de corpo inteiro – VCI não foi ultrapassado, mas do total de medições realizadas 75% tiveram o nível de ação ultrapassado conforme é ilustrado na Figura 29. Nessas situações a Tabela 13 recomenda a adoção de medidas preventivas conforme prescrito na NHO-09. Para a NR-09 (BRASIL, 2020) Considera-se nível de ação, o valor acima do qual devem ser implementadas ações de controle sistemático de forma a minimizar a probabilidade de que as exposições ocupacionais ultrapassem os limites de exposição.

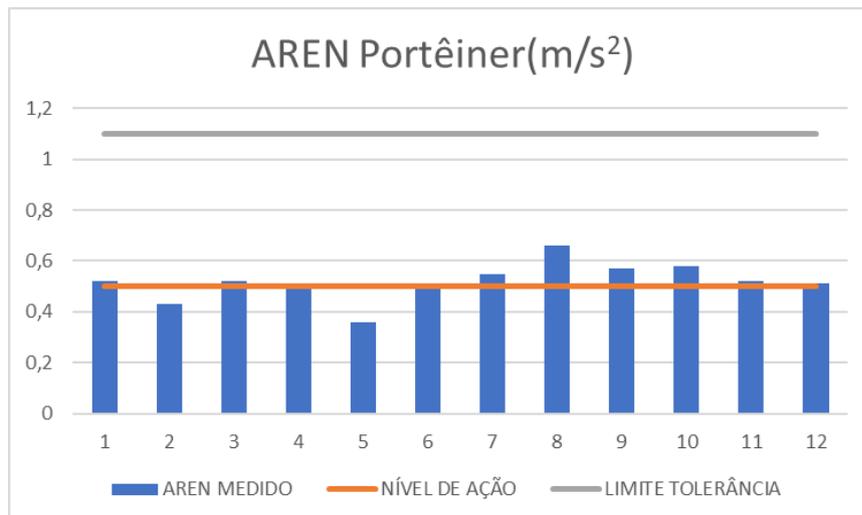
Para os valores de dose de vibração resultante - VDVR que enfatiza e acumula os choques de vibração os quais o corpo está sendo submetido, não houve ultrapassagem do limite de tolerância, no entanto do total de medições tivemos 91,66% ultrapassando o nível de ação conforme Figura 30 o que de acordo com a Tabela 14 devem ser adotadas medidas de cunho preventivo e de acordo com a NR-09 devem ser implementadas ações de controle sistemático.

Tabela 14 – Resultados de AREN e VDVR – Operadores de Portêiner

Operadores Portêiner	AREN (m/s <sup>2</sup> )	VDVR (m/s <sup>1,75</sup> )
1	0,52	10,64
2	0,43	11,43
3	0,52	12,98
4	0,49	12,92
5	0,36	8,20
6	0,51	12,67
7	0,55	12,54
8	0,66	14,96
9	0,57	12,66
10	0,58	13,01
11	0,52	10,66
12	0,51	12,65

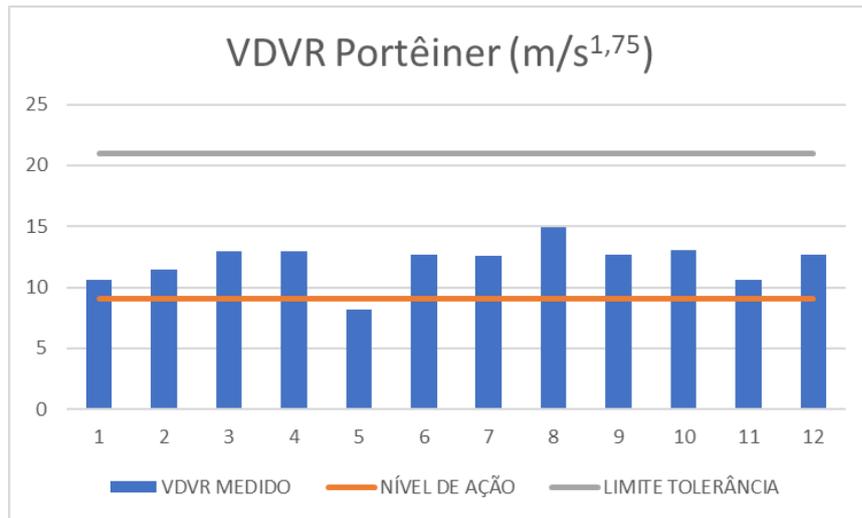
Fonte: O autor, 2022

Figura 29 – Resultado AREN Portêiner



Fonte: O autor, 2023

Figura 30 – Resultado VDVR Portêiner



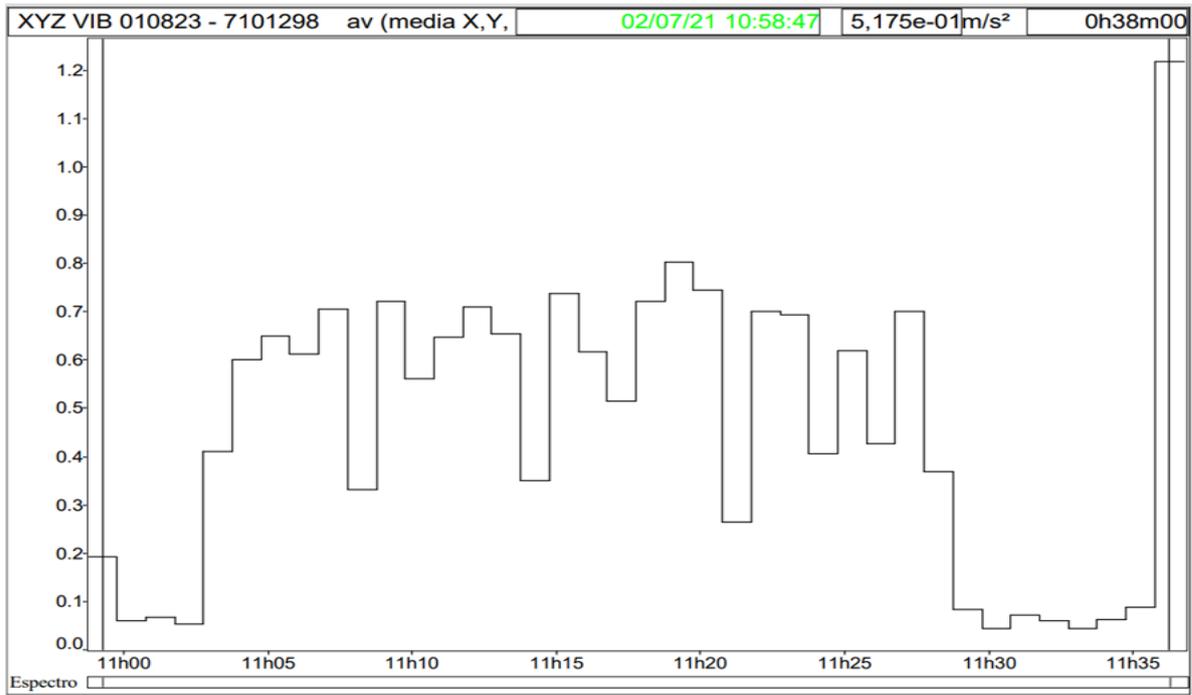
Fonte: O autor, 2023

Os gráficos a seguir gerados pelo software DbMaestro apresentam os resultados do tratamento dos dados de aceleração obtidos em uma das medições no portêiner que apresentou um AREN de  $0,52 m/s^2$  e  $VDVR = 10,64 m/s^{1,75}$ . A Figura 31 apresenta o comportamento da aceleração média resultante “amr” nos três eixos no decorrer do tempo de medição e observamos que o pico de “amr” se dá por volta de 11:19 h em torno de  $0,8m/s^2$ . A aceleração média para o tempo medido ficou em  $0,517 m/s^2$ .

A Figura 32 apresenta os valores instantâneos de dose de vibração (VDV) nos três eixos para o tempo decorrido da medição. O VDV resultante do período foi de  $5,45 m/s^{1,75}$  e um  $VDVR=10,64 m/s^{1,75}$  (VDVR é a projeção do VDV para uma jornada de trabalho de oito horas).

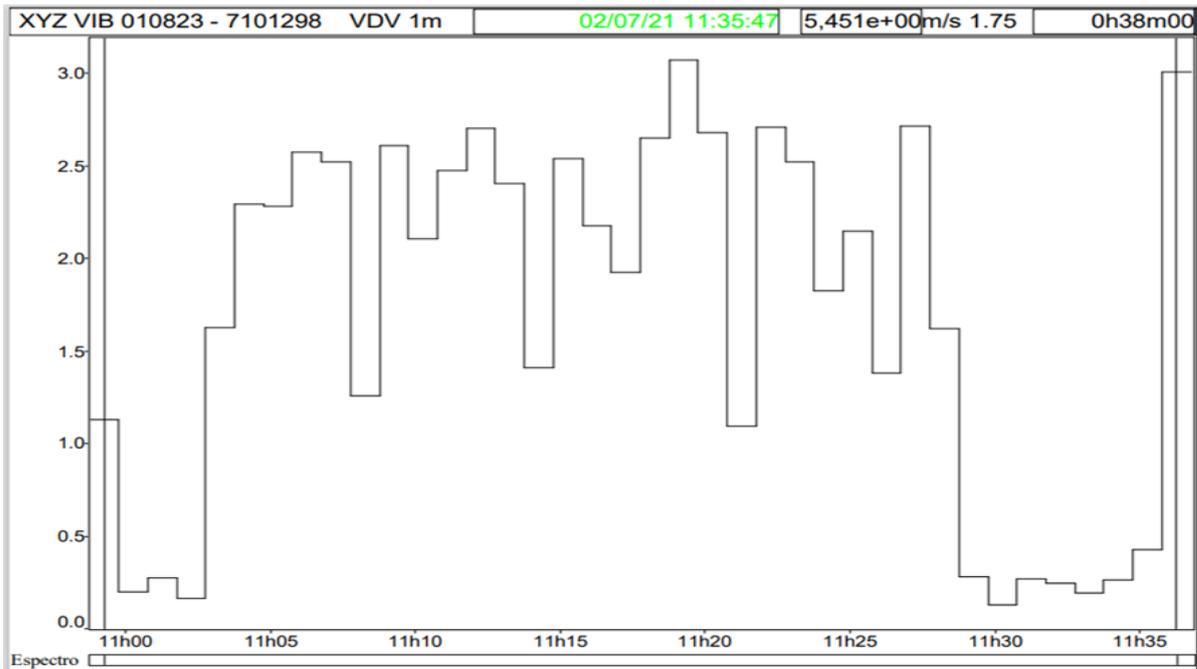
A Figura 33 apresenta a distribuição de frequência em Hertz (Hz) versus a aceleração instantânea no eixo Z. Observa-se que a frequência de maior predominância no espectro é de 5 Hz, seguida por 3 e 4 Hz. Na posição sentada as frequências de ressonância do corpo no eixo Z variam entre 3 a 5 Hz na coluna vertebral e de 2 a 6 Hz nos ombros (WASSERMAN,1987).

Figura 31 – Aceleração Média Resultante nos Eixos X,Y e Z no Tempo Portêiner



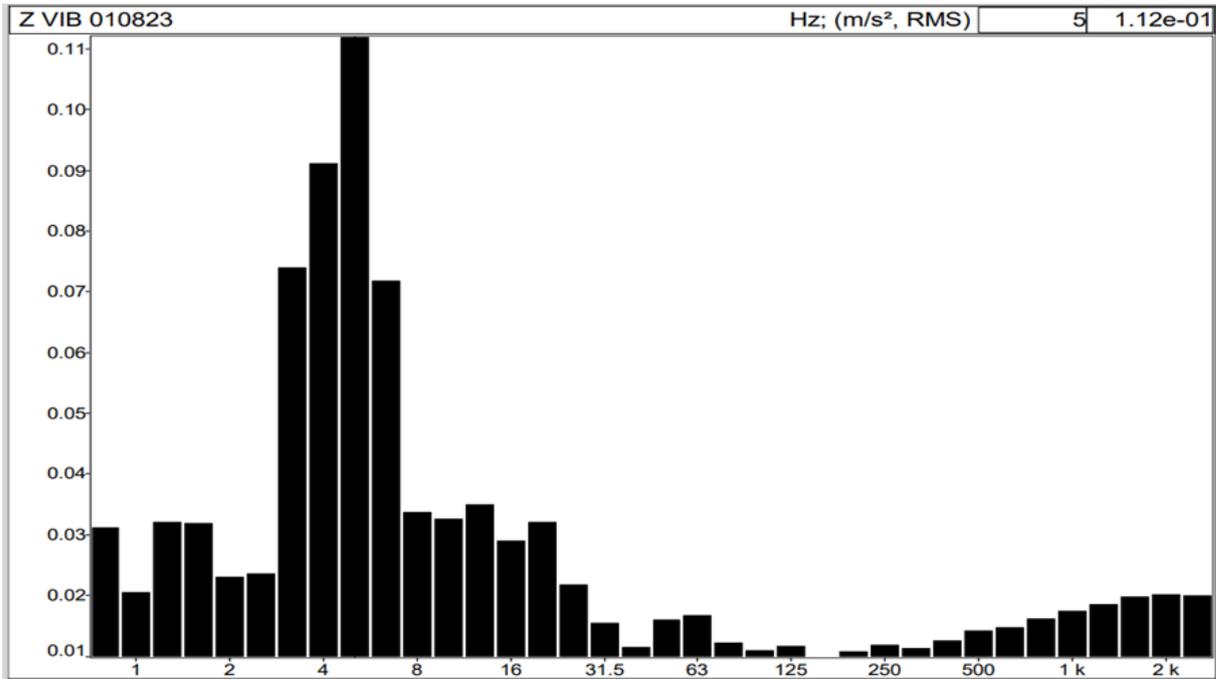
Fonte: Software DbMaestro

Figura 32 – Dose de Vibração nos Eixos X,Y e Z no tempo Portêiner



Fonte: Software DbMaestro

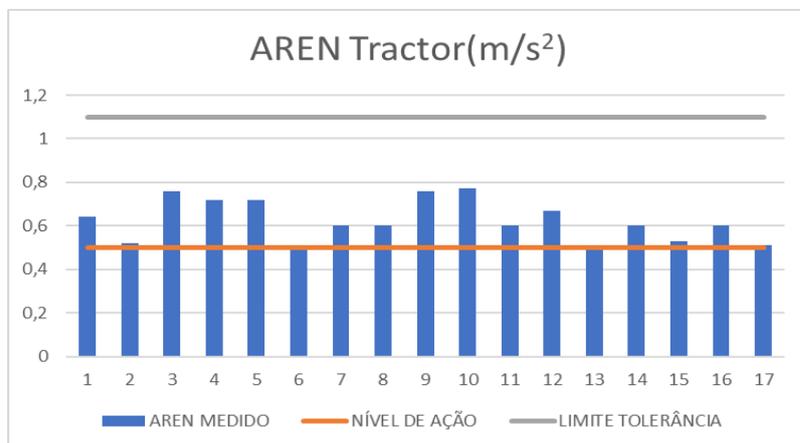
Figura 33 – Distribuição de Frequência com a Aceleração no Eixo Z Portêiner



Fonte: Software DbMaestro

Na análise dos dados dos operadores de trator conforme Tabela 15, foi observado um aumento significativo dos valores de aceleração resultantes e doses. O AREN não teve ultrapassado seus limites de tolerância, no entanto, em 100% dos resultados o nível de ação foi ultrapassado conforme Figura 34.

Figura 34 – Resultado AREN Tractor



Fonte: O autor, 2023

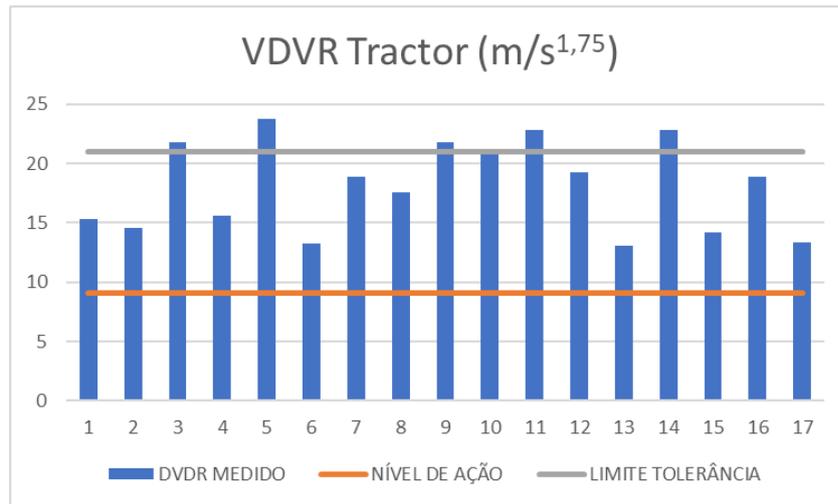
Tabela 15 – Resultados de AREN e VDVR - Operadores De Tractor

<b>Operadores Tractor</b>	<b>AREN (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>VDVR (m/s<sup>1,75</sup>)</b>
1	0,64	15,30
2	0,52	14,54
3	0,76	21,80
4	0,72	15,56
5	0,72	23,75
6	0,51	13,25
7	0,60	18,83
8	0,60	17,54
9	0,76	21,8
10	0,77	21,01
11	0,60	22,80
12	0,67	19,21
13	0,50	13,1
14	0,60	22,8
15	0,53	14,21
16	0,60	18,83
17	0,51	13,35

Fonte: O autor, 2023

O valor da dose de vibração resultante VDVR nos operadores de tractor revelou-se como o fator mais preocupante, visto que das medições realizadas 35,30% ultrapassaram o limite de tolerância, 23,53% estão dentro da região de incerteza, e os 41,17% restantes ultrapassam o nível de ação conforme figura 35, ou seja 100% dos resultados apresentam algum tipo de não conformidade.

Figura 35 – Resultado VDVR Tractor



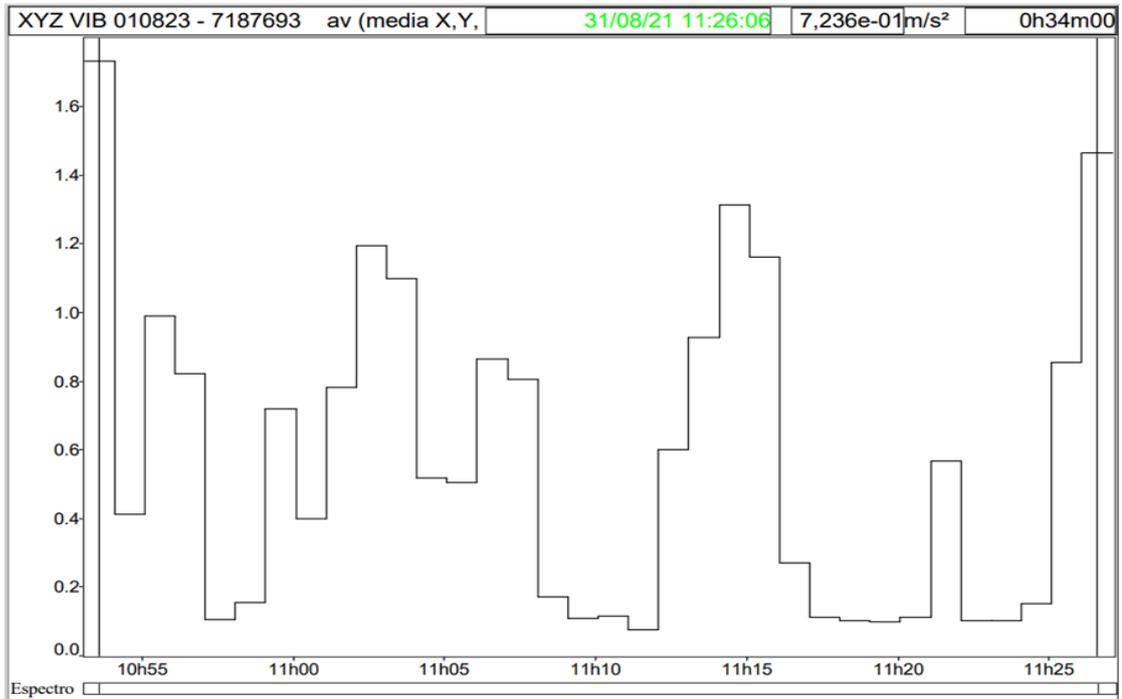
Fonte: O autor, 2023

Na sequência em relação as VCI no tractor geramos os gráficos software DbMaestro com os resultados do tratamento dos dados de aceleração obtidos em uma das medições no tractor, que apresentou um AREN de  $0,72 m/s^2$  e  $VDVR = 23,75 m/s^{1,75}$ . A Figura 36 apresenta o comportamento da aceleração média resultante “amr” nos três eixos no decorrer do tempo de medição e observamos que o pico de “amr” se dá por volta de 11:54 h em torno de  $1,75m/s^2$ . A aceleração média para o tempo medido ficou em  $0,723 m/s^2$ .

A Figura 37 apresenta os valores instantâneos de dose de vibração (VDV) nos três eixos para o tempo decorrido da medição. O VDV resultante do período foi de  $11,58 m/s^{1,75}$  e um  $VDVR = 23,75 m/s^{1,75}$  (VDVR é a projeção do VDV para uma jornada de trabalho de oito horas).

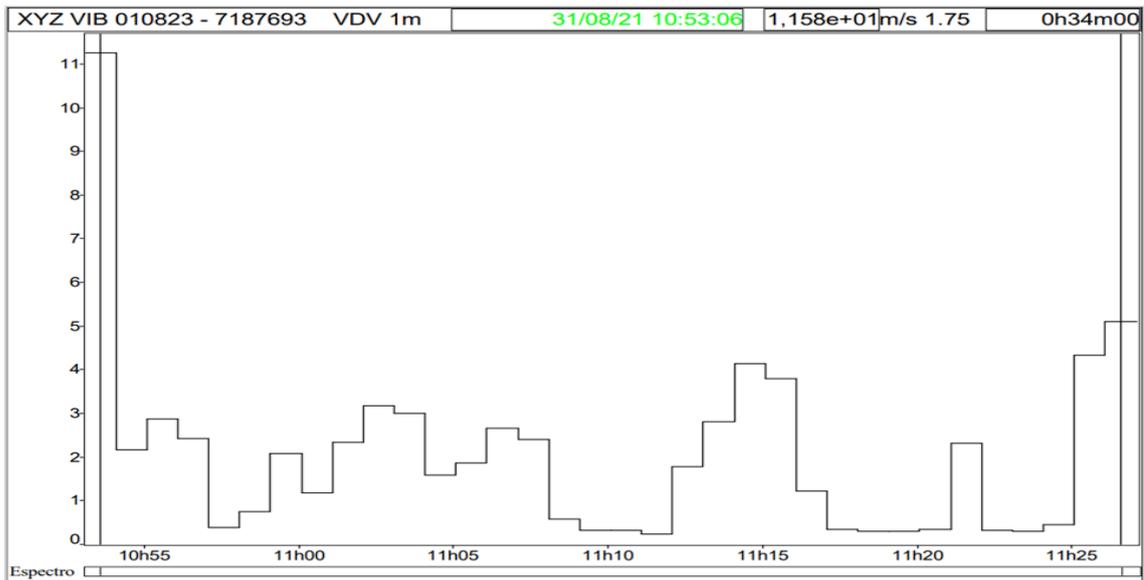
A Figura 38 apresenta a distribuição de frequência em Hertz (Hz) versus a aceleração instantânea no eixo Z. Observa-se que a frequência de maior predominância no espectro é de 3,15 Hz, seguida por 2,5 e 40 Hz.

Figura 36 – Aceleração Média Resultante nos Eixos X,Y e Z no Tempo Tractor



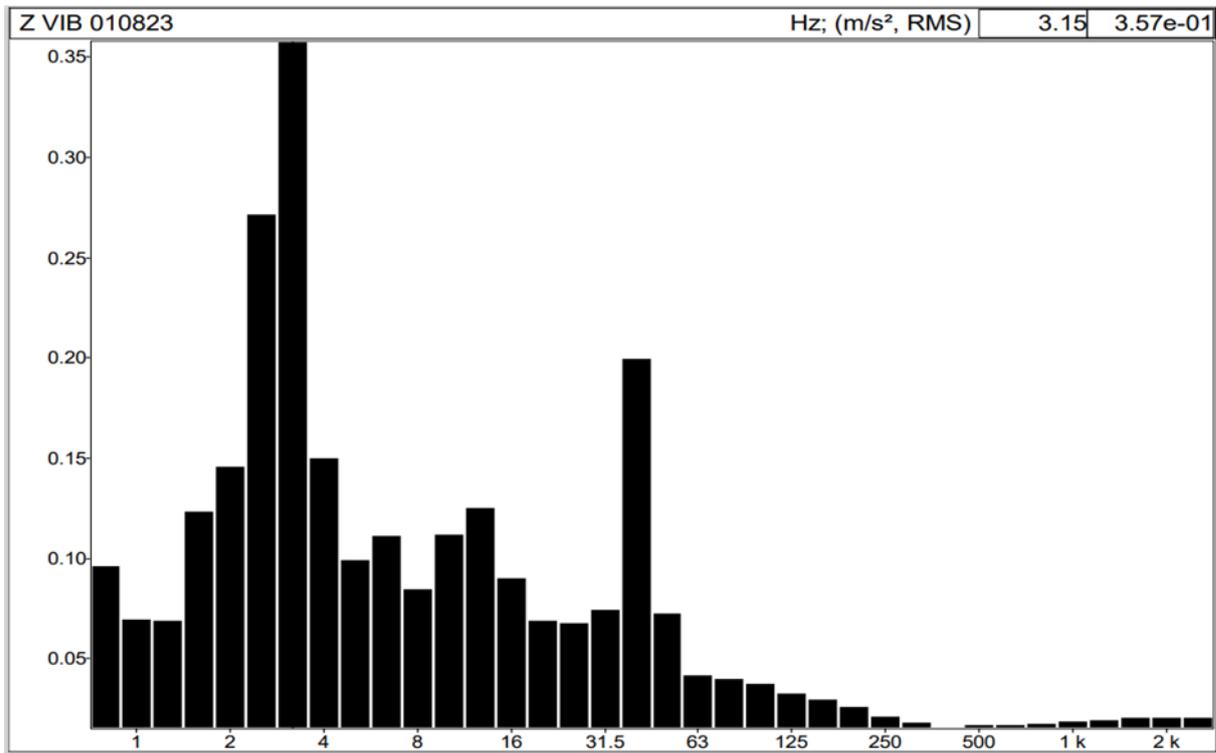
Fonte: Software DbMaestro

Figura 37 – Dose de Vibração nos Eixos X,Y e Z no Tempo Tractor



Fonte: Software DbMaestro

Figura 38– Distribuição de Frequência com a Aceleração no Eixo Z Tractor



Fonte: Software DbMaestro

Na análise dos resultados de VCI utilizando o teste de Mann-Witney, verifica-se que houve diferença estatística significativa entre os equipamentos portêiner e tractor e os níveis de AREN ( $p=0,003$ ) e VDVR ( $p<0,001$ ) de acordo com a Tabela 16, esse resultado se confirma fazendo-se uma análise das características dos equipamentos onde sabe-se que o tractor é submetido a um nível mais alto de vibração em termos de média no tempo (AREN) bem como em doses de choques (VDVR) visto que as condições de vibração do veículo são influenciadas pelas rotações do motor a explosão, estado da suspensão e condições do pavimento por onde circula, enquanto que a cabine do portêiner transmite menor intensidade de vibração ao operador em relação ao tractor, visto que não está submetido as variações do pavimento e sua movimentação é impulsionada por motores elétricos.

Tabela 16 – Teste de Significância entre Equipamentos e VCI

Variáveis	Total	Equipamento		Valor de p*
		Portêiner	Tractor	
<b>AREN</b>				
mediana (mínimo; máximo)	0,52 (0,36; 0,77)	0,52 (0,36; 0,58)	0,60 (0,49; 0,77)	<b>0,003</b>
<b>VDVR</b>				
mediana (mínimo; máximo)	13,25 (8,20; 23,75)	12,67 (8,20; 13,01)	17,54 (13,10; 23,75)	<b>&lt; 0,001</b>
* Teste de Mann-Whitney				

Fonte: O autor, 2023

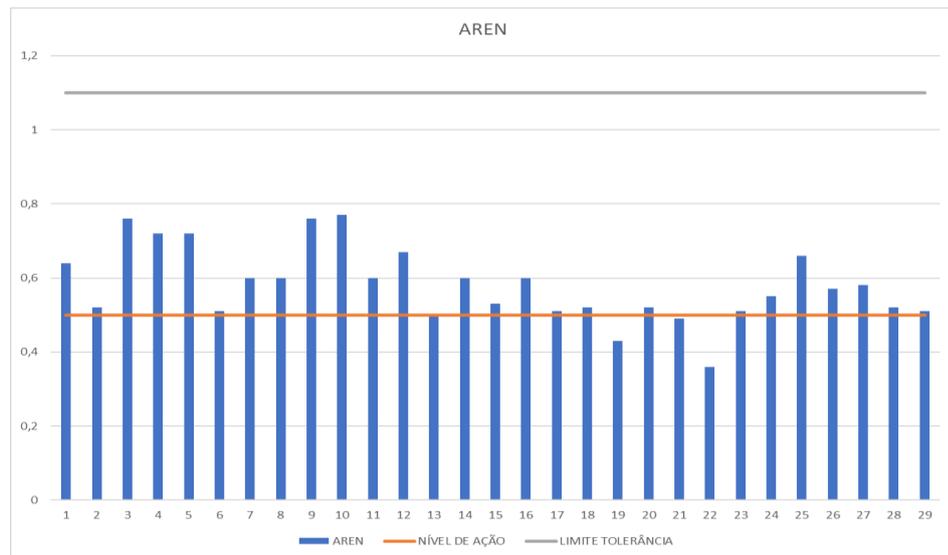
Nos testes de significância dos níveis de vibração AREN e VDVR em relação a dor e desconforto nos últimos 12 meses obteve-se um resultado estatisticamente significativo quando da relação do VDVR ( $p=0,007$ ) com dor nos punhos e mãos.

#### 4.5.1 Discussões dos resultados das avaliações de vibração de corpo inteiro

Esta etapa do trabalho de pesquisa investigou as vibrações ocupacionais de corpo inteiro em operadores de máquinas portuárias. Foram levantadas as intensidades de aceleração resultantes e dose de vibração nos equipamentos portêiner e o tractor, totalizando 29 avaliações. Conforme o Ministério da Economia (2019), a metodologia de avaliação utilizada seguiu o que preconiza a norma nacional NHO 09 elaborada com base na ISO 2631(1997).

Os resultados mostraram que em sua maioria as avaliações ultrapassaram o nível de ação (86,2%) para o AREN exigindo a adoção de medidas preventivas e o limite de tolerância não foi ultrapassado em nenhuma das medições e o restante da amostra (13,8%) ficou abaixo do nível de ação conforme figura 39.

Figura 39 – Resultado AREN total da Amostra



Fonte: O autor, 2023

Nos resultados de dose de vibração – VDVR conforme Figura 42 o limite de tolerância foi ultrapassado em 20% da amostra e o nível de ação em 96,6%. Na região de incerteza apareceu 13,8% da amostra, resultados nessa região de incerteza exigem adoção de medidas preventivas e protetivas visando reduzir os níveis de exposição. Somando os resultados que ultrapassaram o limite de tolerância e os da região de incerteza temos 34,5% da amostra. O VDVR mostra um acumulativo dos choques que o operador recebe como resultante dos três eixos X, Y e Z. Com mais de um terço das amostras apresentando níveis de dose resultante que indicam muita atenção e ações imediatas de intervenção e quase cem por cento ultrapassando o nível de ação conclui-se que as causas desses níveis de choques são provenientes das características dos equipamentos em estudo. O tractor circula internamente pelo terminal portuário e a principal variável que contribui para o aumento das vibrações e choques no operador é o estado do pavimento de circulação, que necessita de manutenção constante.

No portêiner a cabine de operação (trolley) desliza sobre trilhos impulsionada por um motor elétrico conforme Figura 40. Nesse caso a maior incidência de choques é nos trilhos e principalmente na junta da lança elevadiça. A Figura 41 mostra duas lanças de portêiner, uma elevada para posicionamento do navio e outra na posição de operação, a junta a que nos referimos fica exatamente na região de articulação da lança que vez por outra encontra-se desalinhada com o restante da estrutura e o

trolley ao passar por ela recebe um impacto maior contribuindo para o aumento dos choques e do VDVR.

Figura 40 – Cabine do Portêiner (Trolley)

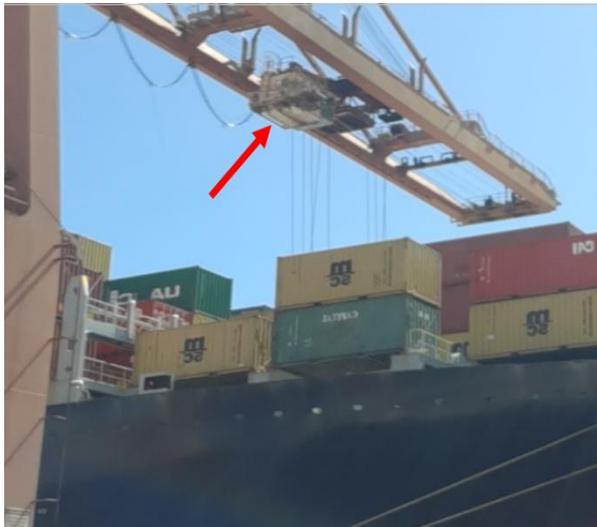
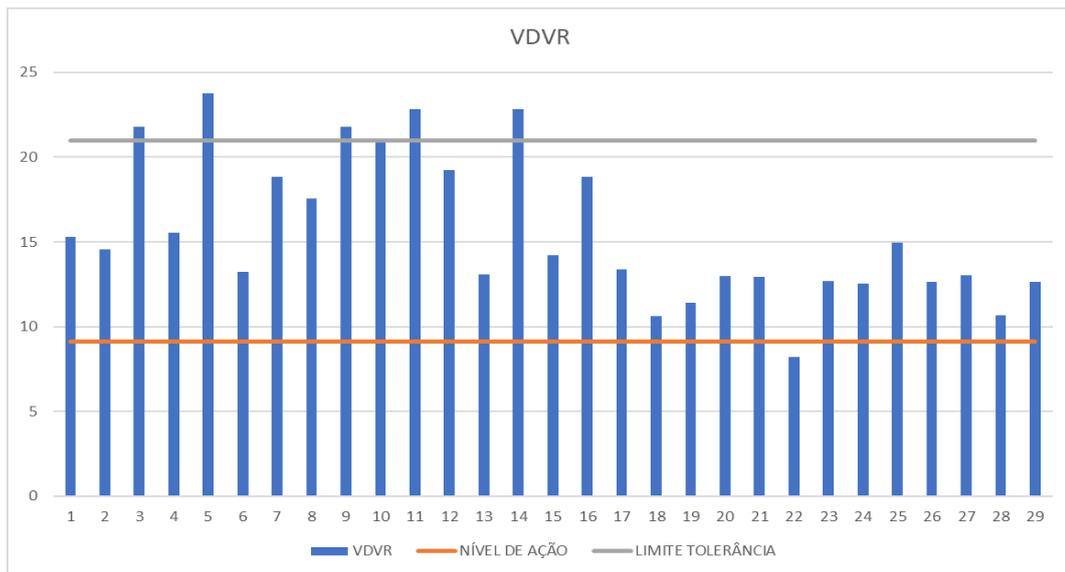


Figura 41 – Lança Elevadiça



Fonte : O autor, 2023

Figura 42– Resultado VDVR total da Amostra



Fonte: O autor, 2023

#### 4.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES DAS SIMULAÇÕES

Neste capítulo são apresentados e comentados os resultados dos testes de simulações em uma dimensão (1D) e três dimensões (3D). Inicialmente serão

apresentados os resultados das simulações 1D realizadas no software Simulink® utilizando uma combinação dos dados de rigidez, amortecimento e massa que constam na Tabela 05 e o modelo apresentado na equação 4.4. Três tipos de gráficos são gerados a partir do processamento, um gráfico mostra o comportamento do deslocamento em milímetros da massa do motorista com o passar do tempo, o outro ilustra a aceleração do motorista em metros por segundo ao quadrado com o passar do tempo e o último apresenta a transmissibilidade de acordo com a frequência. A transmissibilidade é a razão entre os deslocamentos de saída e o deslocamento de entrada, que no sistema assento suspensão conforme Figura 15 são representados pelo deslocamento do motorista  $z_2$  e deslocamento do assoalho  $z_0$ . Nesta pesquisa no item 3.3.3, equação 3.4, foi apresentado a transmissibilidade em função da aceleração com fator de ponderação que é outra forma de avaliar a mesma. Quando a transmissibilidade é igual a 1 significa que o deslocamento no assoalho da máquina ou veículo se transmite por completo ao motorista fazendo que o mesmo também se desloque em igual valor. Quando o motorista se desloca mais que o assoalho significa que a transmissibilidade é maior que 1 e o sistema potencializou o deslocamento do assoalho. Finalizando, quando o motorista se desloca menos que o assoalho a transmissibilidade é menor que 1 o que significa que o sistema amorteceu o deslocamento do assoalho.

A Tabela 17 apresenta 5 combinações de dados de rigidez, amortecimento e massa. Representados pelas letras “m”, k” e “b” segue os parâmetros do sistema mecânico.

$m_1$  = massa do assento, kg

$m_2$  = massa do motorista, kg

$k_1$  = rigidez da suspensão, N/m

$k_2$  = rigidez da almofada do assento, N/m

$b_1$  = atrito da suspensão, Ns/m

$b_2$  = atrito da almofada do assento, Ns/m

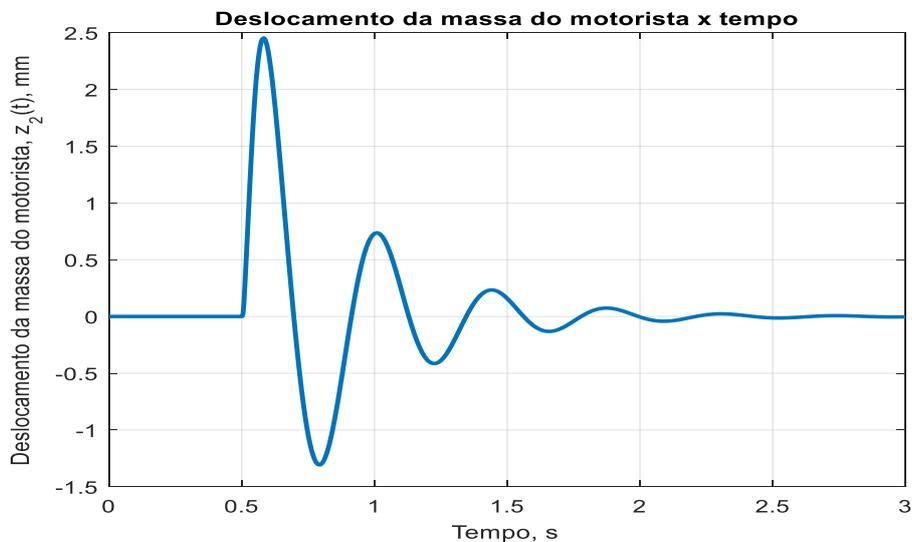
Tabela 17 – Casos de Dados de Rigidez, Amortecimento e Massa.

Nº	$k_1$ (N/m)	$k_2$ (N/m)	$b_1$ (Ns/m)	$b_2$ (Ns/m)	$m_1$ (kg)	$m_2$ (kg)	Fonte
1	62.800	28.723	1600	677,60	56	84	Bolina, 2013
2	70.000	38.374	600	458	25	62,2	Anflor,Becker, Tamagna, 2004
3	24.854	28.723	514,11	677,6	13	54	Zhao et al, 2021
4	32.300	28.723	514,11	677,60	62	60	Yin, Ding e Qiu, 2021
5	35.776	38.374	761	458	62	84	Wei, Griffin, 1998

Fonte: O autor, 2023

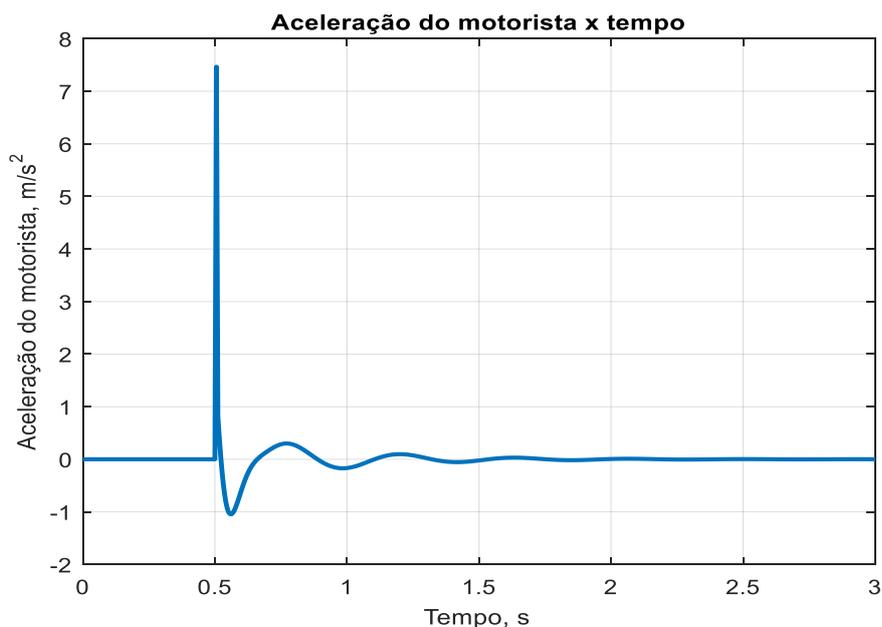
No caso 1 foram usados os dados de Bolina (2013) complementado por Zhao et al (2021) e Yin, Ding e Qiu (2021) e a mediana dos pesos ( $m_2=84$ ) dos operadores entrevistados. A Figura 43 mostra o deslocamento da massa do motorista de aproximadamente 2,5 mm após 0,5 segundos do pulso, que na sequência diminui para aproximadamente 1,5 mm e vai diminuindo com o amortecimento. A Figura 44 mostra o comportamento da aceleração do motorista com o passar do tempo que chega a  $7,5 \text{ m/s}^2$  com 0,5 segundos e rapidamente desacelera e chega a zero.

Figura 43 – Caso 1 Deslocamento



Fonte: Autor, 2023

Figura 44 – Caso 1 Aceleração

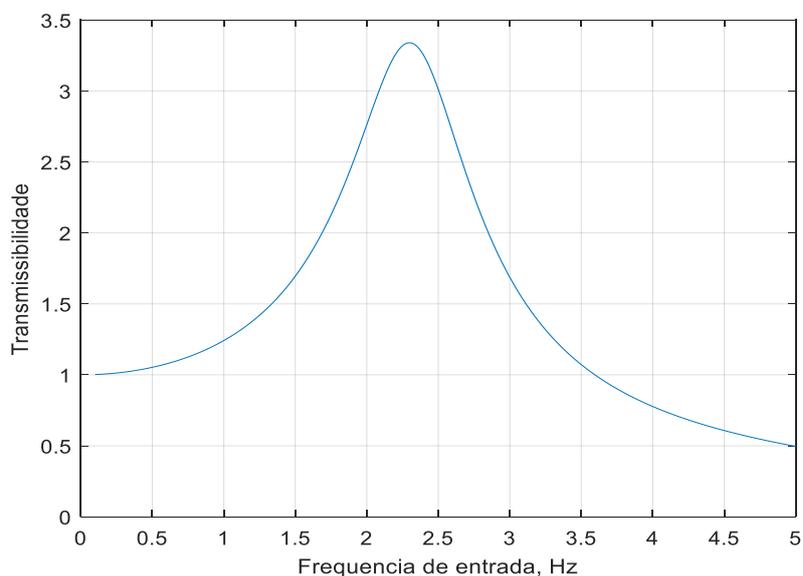


Fonte: Autor, 2023

A Figura 45 apresenta a transmissibilidade em função da frequência onde a mesma chega ao pico máximo de 3,4 na faixa de frequência de 2 a 2,5 hertz.

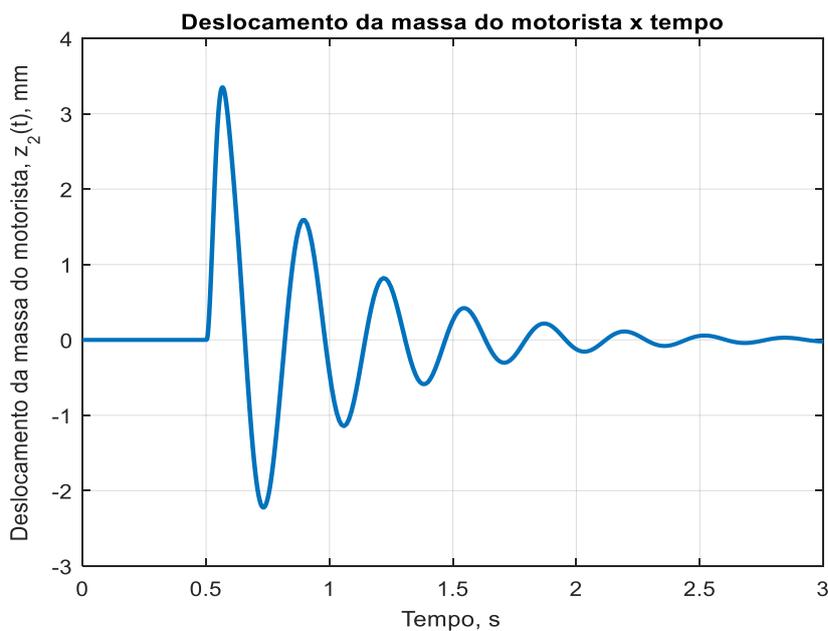
No caso 2 foram utilizados os dados de Anflor, Becker e Tamagna (2004) complementados por Wei e Griffin (1998). A Figura 46 mostra o deslocamento de massa do motorista de 3,5 mm com redução na sequência de 2,3 mm e 1,5 mm e tendência a zero com o amortecimento.

Figura 45 – Caso 1- Transmissibilidade X Frequência



Fonte: Autor, 2023

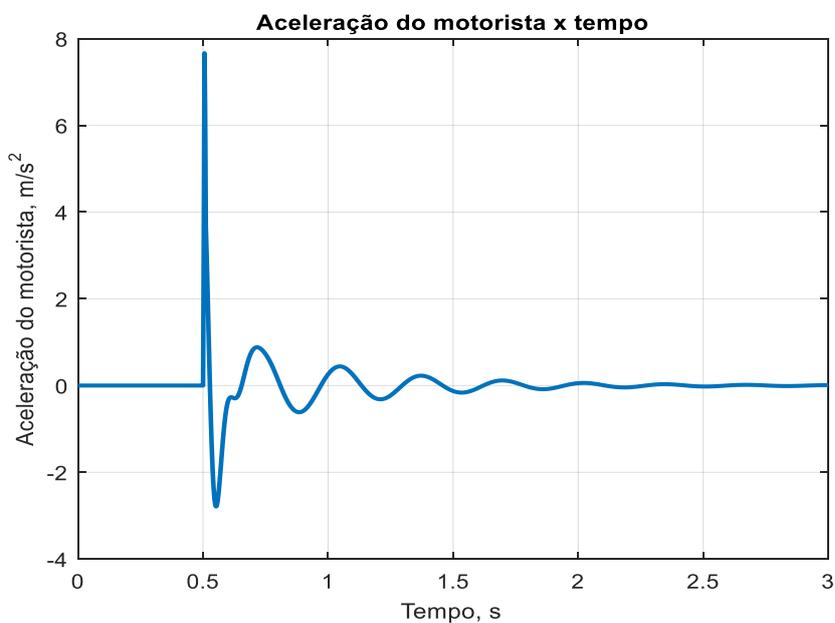
Figura 46 – Caso 2 Deslocamento



Fonte: Autor, 2023

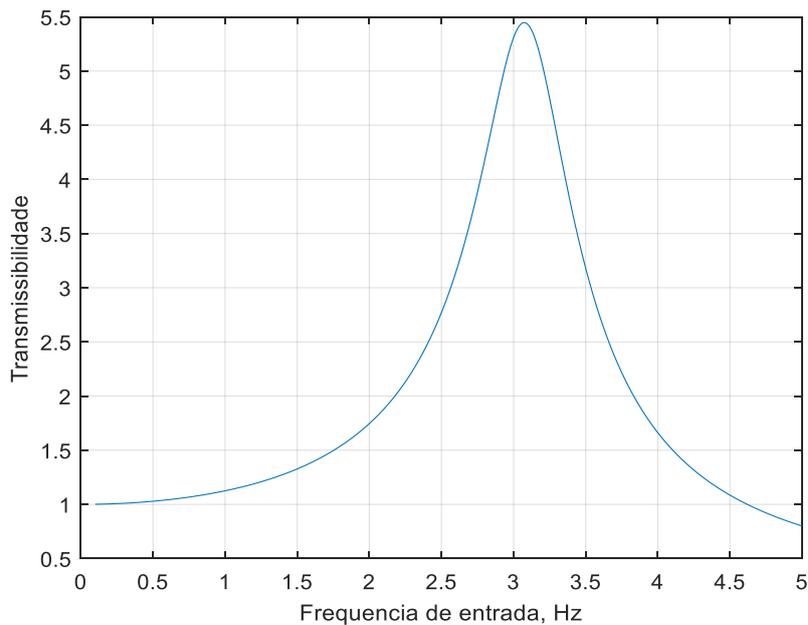
A Figura 47 mostra a aceleração do motorista com o tempo, chegando a um pico de  $14,5 \text{ m/s}^2$  durante a aplicação do pulso. A Figura 48 apresenta um pico potencializado de 5,5 de transmissibilidade na faixa de 3 hertz.

Figura 47 – Caso 2 Aceleração



Fonte: Autor, 2023

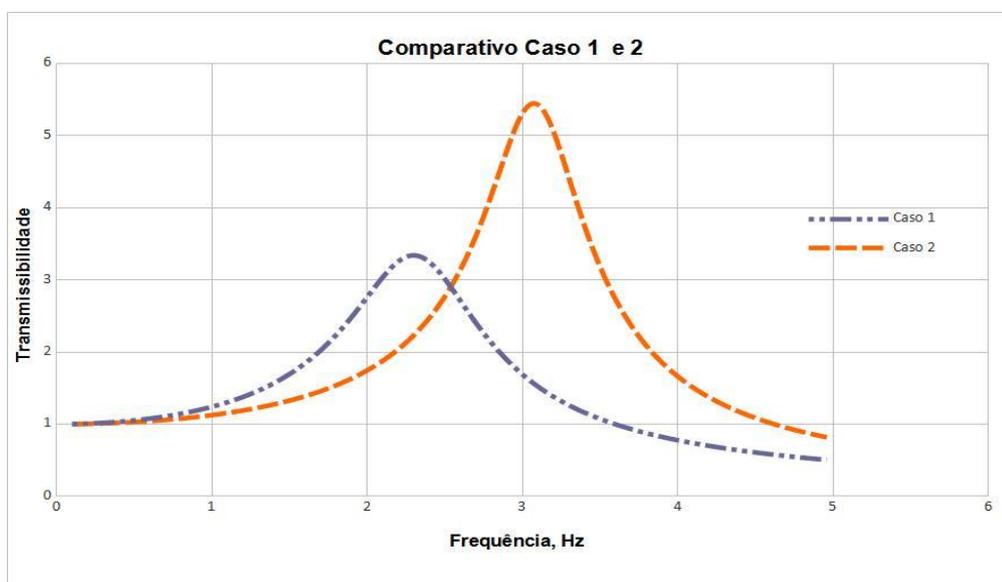
Figura 48 – Caso 2 - Transmissibilidade X Frequência



Fonte: Autor, 2023

Realizando um estudo comparativo da transmissibilidade nos casos 1 e 2 conforme Figura 49 percebe-se que o caso 2 tem uma transmissibilidade alta em relação ao caso 1. Isso se deve ao baixo amortecimento (atrito) da suspensão como também a massa do motorista que é menor, resultando numa transmissão de vibração maior para o mesmo.

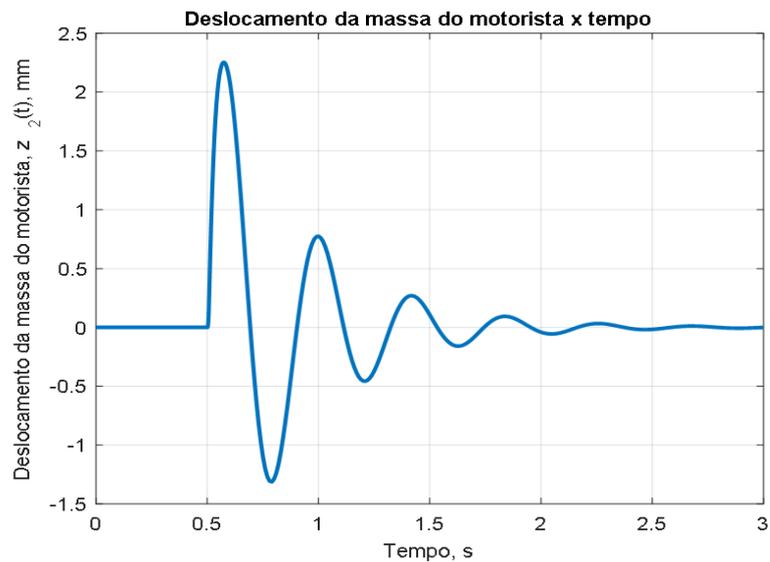
Figura 49 – Comparativo Caso 1 E 2



Fonte: Autor, 2023

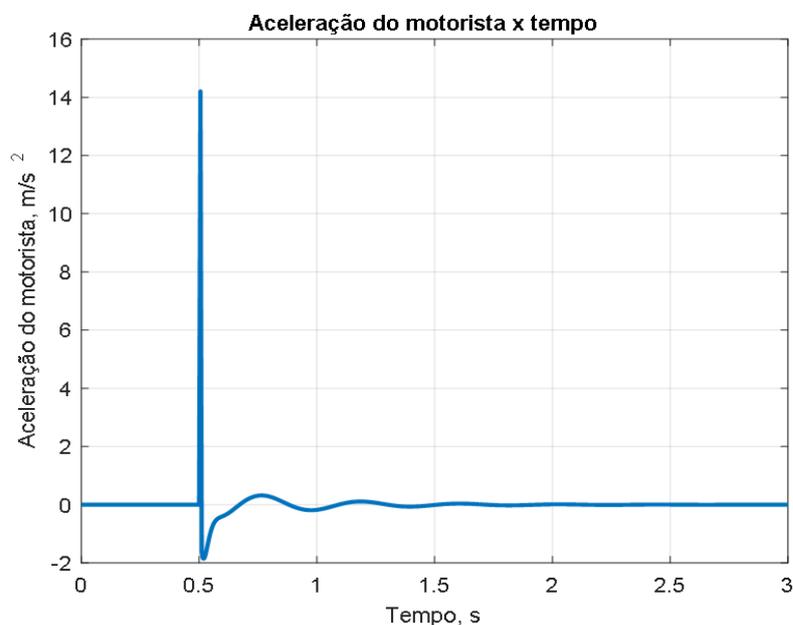
No caso 3 foram combinados os dados de Zhao et al. (2021) complementados por Yin, Ding e Qiu (2021). Como resultado se observa na Figura 50 que o pico de deslocamento do motorista chega a 2,3 mm com amortecimento na sequência. Uma aceleração no motorista de pouco mais de 14 m/s<sup>2</sup> foi observada na Figura 51, que nessa configuração em meio segundo chega a zero. Na Figura 52 observamos que a transmissibilidade é potencializada e chega a 3,3 a aproximadamente 2,3 Hz.

Figura 50 – Caso 3 Deslocamento



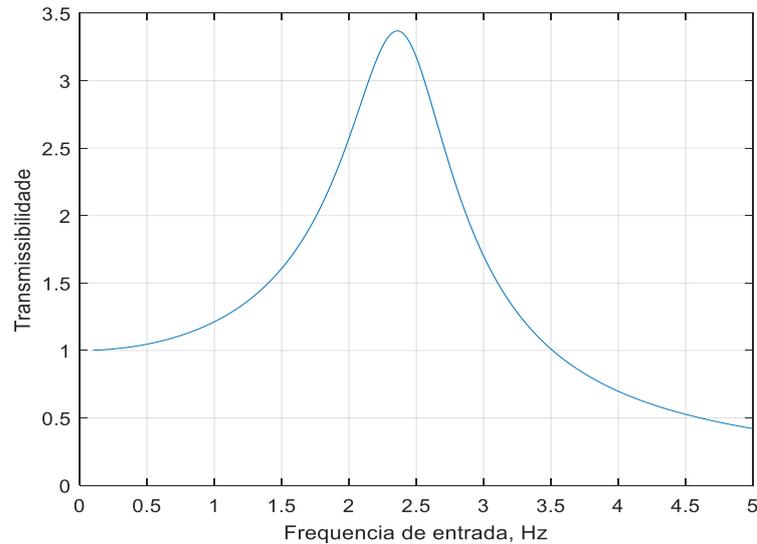
Fonte: Autor, 2023

Figura 51 – Caso 3 Aceleração



Fonte: Autor, 2023

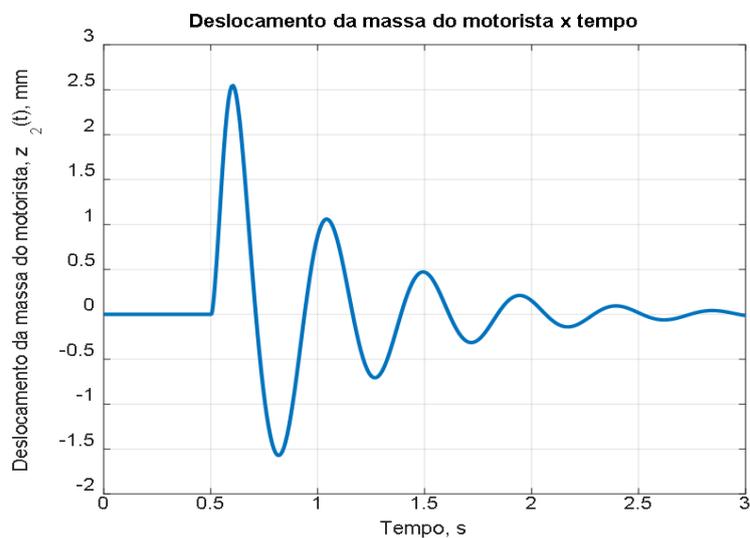
Figura 52 – Caso 3 - Transmissibilidade X Frequência



Fonte: Autor, 2023

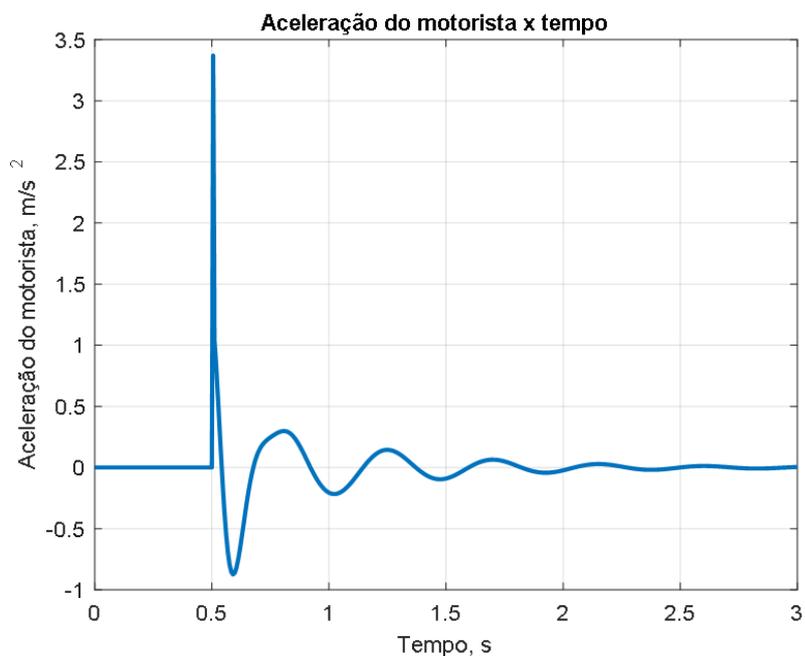
O caso 4 combinou-se os dados de Yin, Ding e Qiu (2021) com Bolina (2013) e neste caso já utilizando o peso do assento  $m_1$  o valor de 62 kg proveniente do folheto TER. A Figura 53 apresenta como resultado um pico máximo de deslocamento do motorista de 2,5 mm, amortecendo pra 1,5 mm no primeiro segundo e na sequência tendendo a zero. A aceleração do motorista foi a  $3,4 \text{ m/s}^2$  em 0,5 segundos como mostra a Figura 54, tendendo na sequência a zerar. A transmissibilidade na Figura 55 chega ao pico máximo entre 2 e 2,5 Hz, atingindo 4,7.

Figura 53 - Caso 4 Deslocamentos



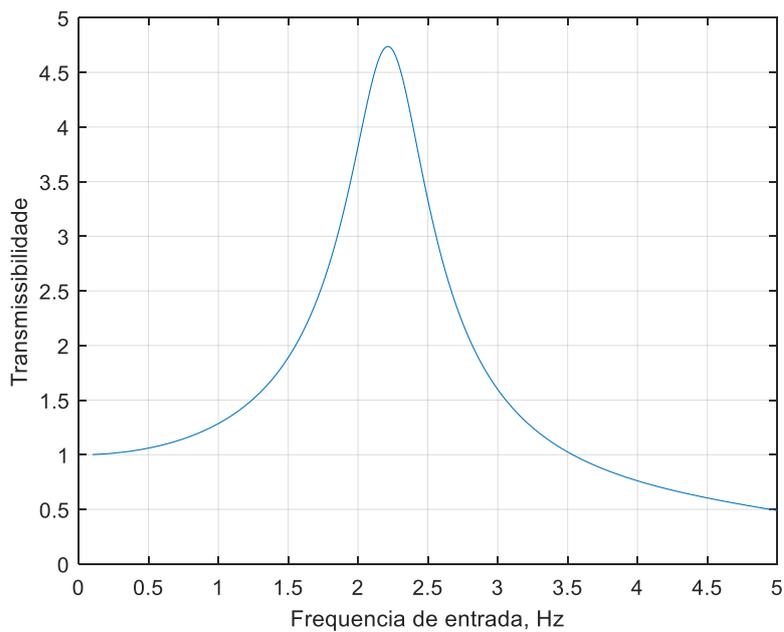
Fonte: Autor, 2023

Figura 54- Caso 4 Aceleração



Fonte: Autor, 2023

Figura 55 - Caso 4 - Transmissibilidade X Frequência

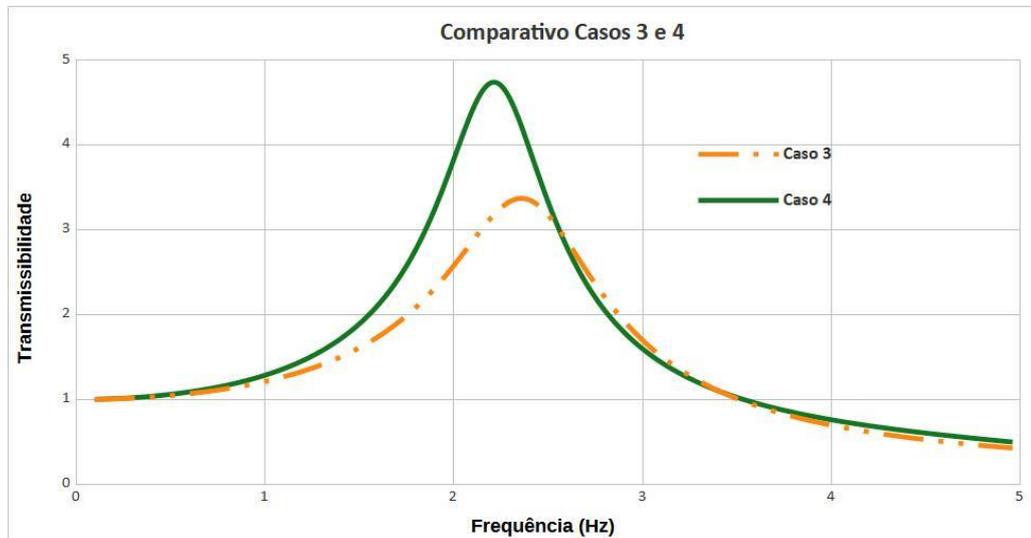


Fonte: Autor, 2023

Observa-se no estudo comparativo da transmissibilidade dos casos 3 e 4, conforme Figura 56, que os parâmetros são muito similares apenas divergindo na massa do assento que no caso 3 está bem mais baixa e apresenta uma

transmissibilidade inferior em relação ao caso 4. A combinação da massa do assento com a massa do motorista pode aumentar ou diminuir a transmissibilidade e quando a diferença entre esses parâmetros é alta isso se acentua.

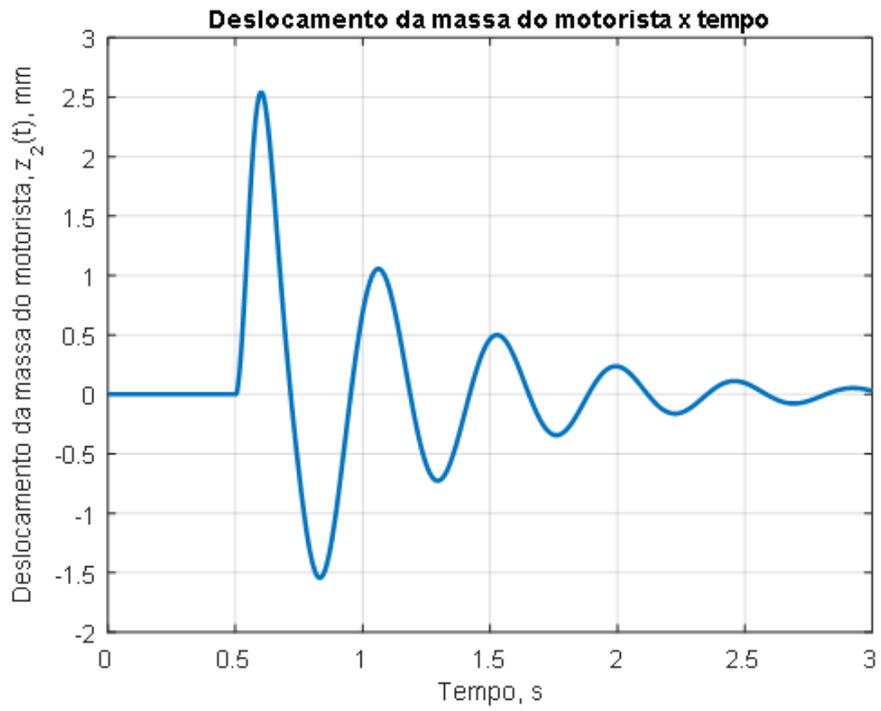
Figura 56 – Comparativo Caso 3 e 4



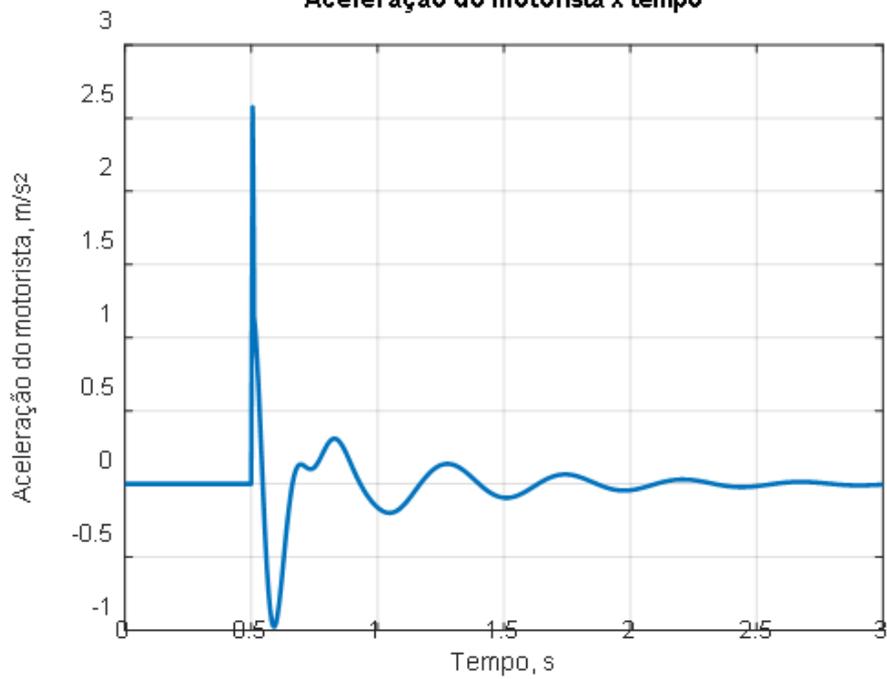
Fonte: Autor, 2023

Finalizando temos o caso 5 que utilizou os parâmetros de Wei e Griffin (1998) complementados com a massa mediana  $m_2 = 84$  kg dos operadores entrevistados nessa pesquisa e a massa  $m_1 = 64$  kg do assento. Como resultado temos a Figura 57 que apresenta um deslocamento do motorista de 2,5 mm reduzindo para 1,5 mm no primeiro segundo, com tendência na sequência ao amortecimento até zerar o deslocamento. A aceleração do motorista vai a um pico de  $2,6 \text{ m/s}^2$  em 0,5 segundos e tende a zerar na sequência como ilustrado na Figura 58. Na Figura 59 a transmissibilidade foi de 4,75 entre 2 e 2,2 Hz.

Figura 57 - Caso 5 Deslocamentos

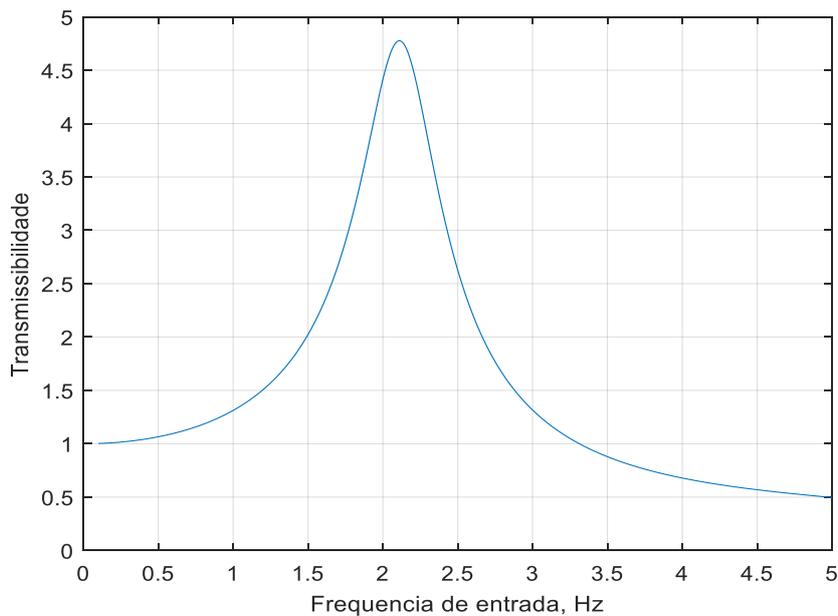


Fonte: Autor, 2023

Figura 58 - Caso 5 Aceleração  
**Aceleração do motorista x tempo**

Fonte: Autor, 2023

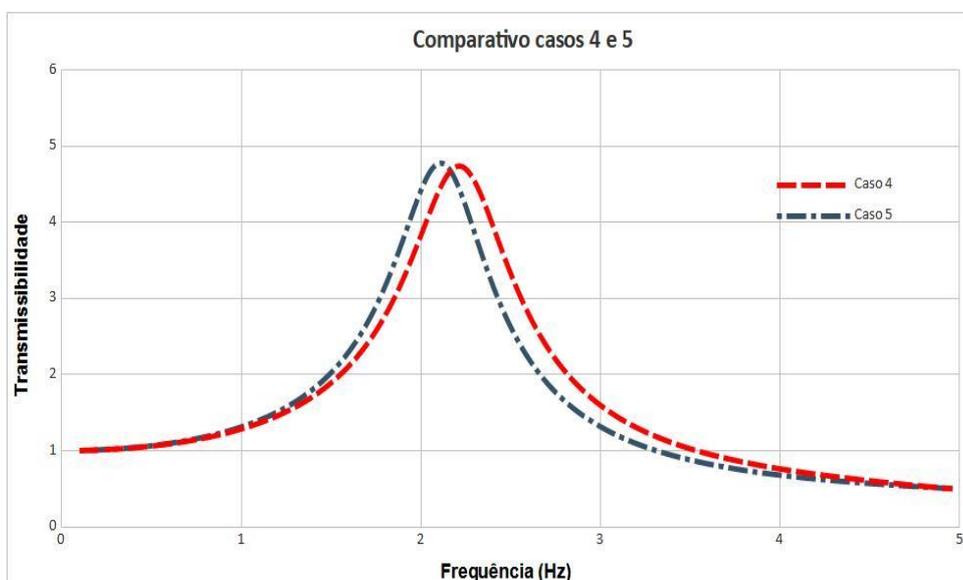
Figura 59 - Caso 5 - Transmissibilidade X Frequência



Fonte: Autor, 2023

Na Figura 60 uma comparação entre a transmissibilidade dos casos 4 e 5 demonstrou uma similaridade grande no comportamento do sistema assento suspensão no que se refere a transmissibilidade e frequência. Isso se deve a semelhança dos parâmetros utilizados.

Figura 60 - Comparativo Caso 4 e 5



Fonte: Autor, 2023

Analisando os estudos comparativos entre os casos de 1 a 5 podemos observar que os melhores desempenhos em redução da transmissibilidade se encontram nos casos 1 e 3, onde a mesma fica em torno de 3,4. Levando em consideração que o peso do assento no caso 3 está muito reduzido em relação aos outros casos, pode-se definir o caso 1 como a melhor configuração em termos de desempenho. Importante salientar que os melhores desempenho em termos de redução da transmissibilidade se deram nos melhores valores de taxas de atrito, apontando no sistema uma variável de importância para testes de simulações 3D.

#### **4.6.1 Resultados e Discussões de Simulações 3D**

Inicialmente para os três casos de malhas foram realizadas as avaliações de análise modal para identificar os modos de vibrações naturais do modelo bem como as tensões equivalentes de von misses. Conforme afirmado nesse trabalho as vibrações de corpo inteiro chegam na coluna vertebral especificamente no intervalo de frequências de 1 a 20 Hz (FAI; DELBRESSINE; RAUTERBERG, 2007).

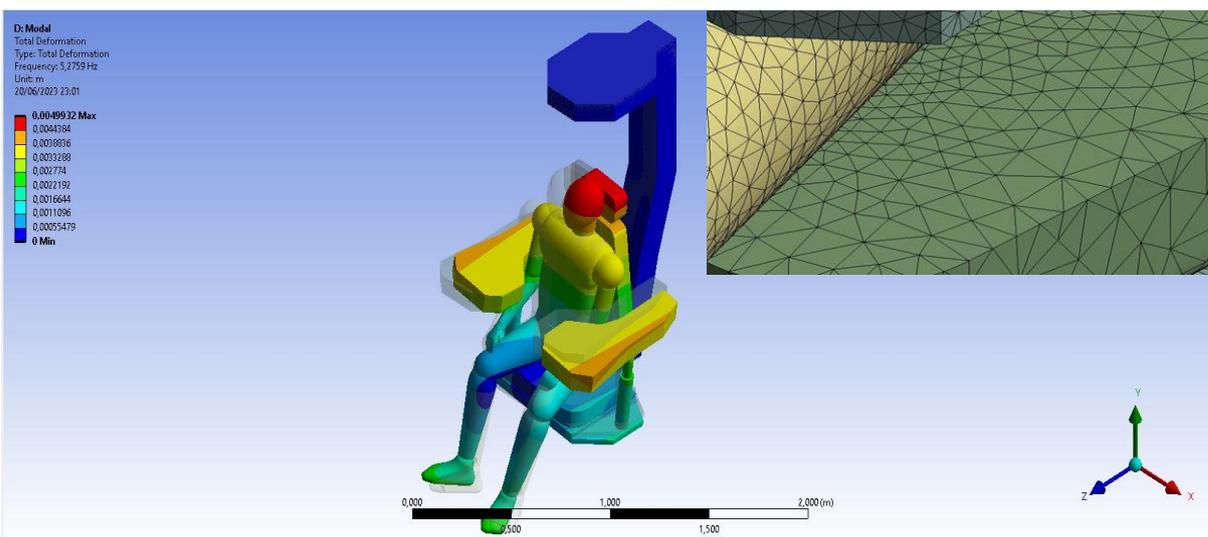
Wasserman (1987) afirma que na posição sentada e eixo vertical Z as frequências de ressonância variam entre 3 a 5 Hz, enquanto Lida (2000) relatou que as frequências naturais de ressonância na coluna vertebral na direção vertical estão localizadas no intervalo entre 4 a 8 Hz. De acordo com Mansfield (2005) as frequências de ressonância dos assentos convencionais são em torno de 4 a 6 Hz e eles fornecem isolamento quando estão carregados por um adulto humano. Com base nas informações de faixas de frequências relatadas foram selecionados os 5 primeiros modos de vibração gerados nos três casos de simulações.

Com vistas a definir o melhor padrão de refinamento de malha determinou-se um elemento em comum as três malhas geradas para análise dos resultados de deformação e tensão equivalente, com o objetivo de fazer um comparativo entre as variações desses parâmetros e definição de uma das malhas geradas como a padrão para continuidade dos estudos. De acordo com Lida (2000) é na região das coxas e nádegas na posição sentada, que existe os maiores pontos de pressão contra o assento, especificamente na região óssea da bacia denominada tuberosidades isquiáticas. Nessa mesma região a NHO 09 recomenda que seja posicionado o acelerômetro para realização da avaliação quantitativa de vibração de corpo inteiro na posição sentada. Com base nessas afirmações foi selecionado um modo de vibração

e um elemento exatamente nessa região para análise de deformação e tensão equivalente.

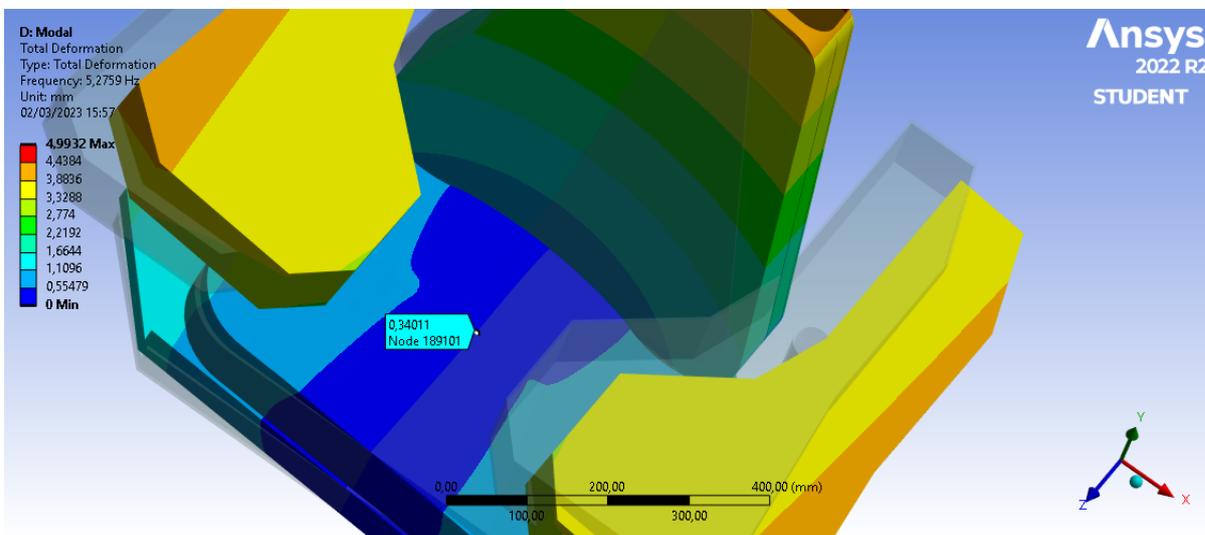
Na malha 01 conforme Tabela 07, foi selecionado o primeiro modo de vibração com a frequência a 5,27 Hz conforme Figura 62 e determinado uma região de deslocamento na espuma do assento basicamente no encontro do assento com as tuberosidades isquiáticas do modelo humano conforme Figura 63. Nesse ponto na malha 1 o deslocamento foi de 0,34 mm.

Figura 61 – 1º Modo de Vibração da Malha 01



Fonte: O autor, 2023

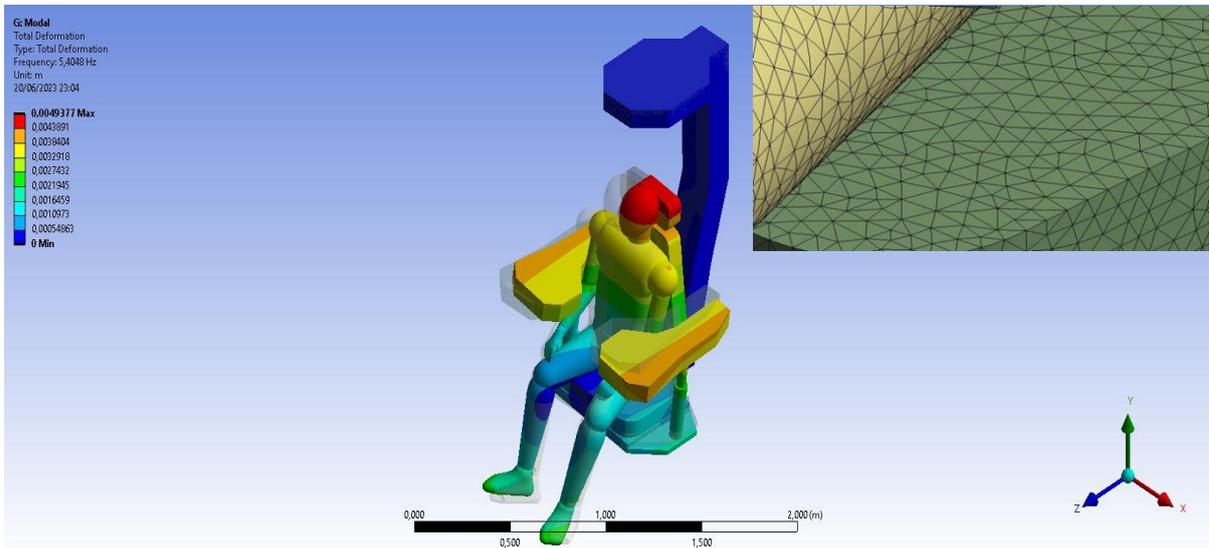
Figura 62 – Região de Deslocamento da Espuma na Malha 01



Fonte: O autor, 2023

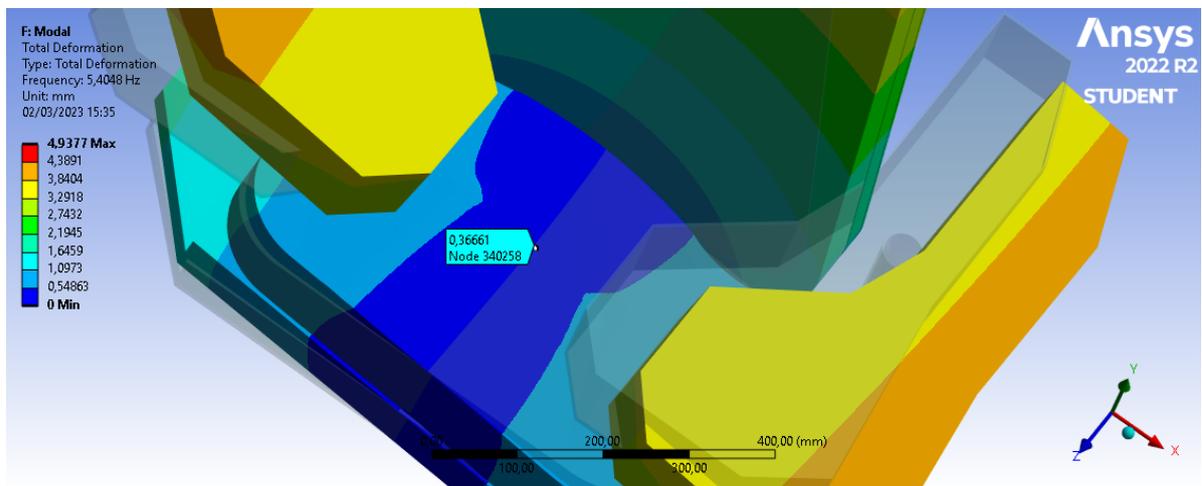
Na malha 02 conforme Tabela 07, foi selecionado da mesma forma o primeiro modo de vibração com a frequência a 5,40 Hz conforme Figura 64 e determinado um ponto na mesma região de deslocamento da malha 01 basicamente no encontro do assento com as tuberosidades isquiáticas do modelo humano conforme Figura 65. Nesse ponto na malha 2 o deslocamento foi de 0,36 mm.

Figura 63 – 1º Modo de Vibração da Malha 02



Fonte: Autor, 2023

Figura 64 – Região de Deslocamento da Espuma na Malha 02

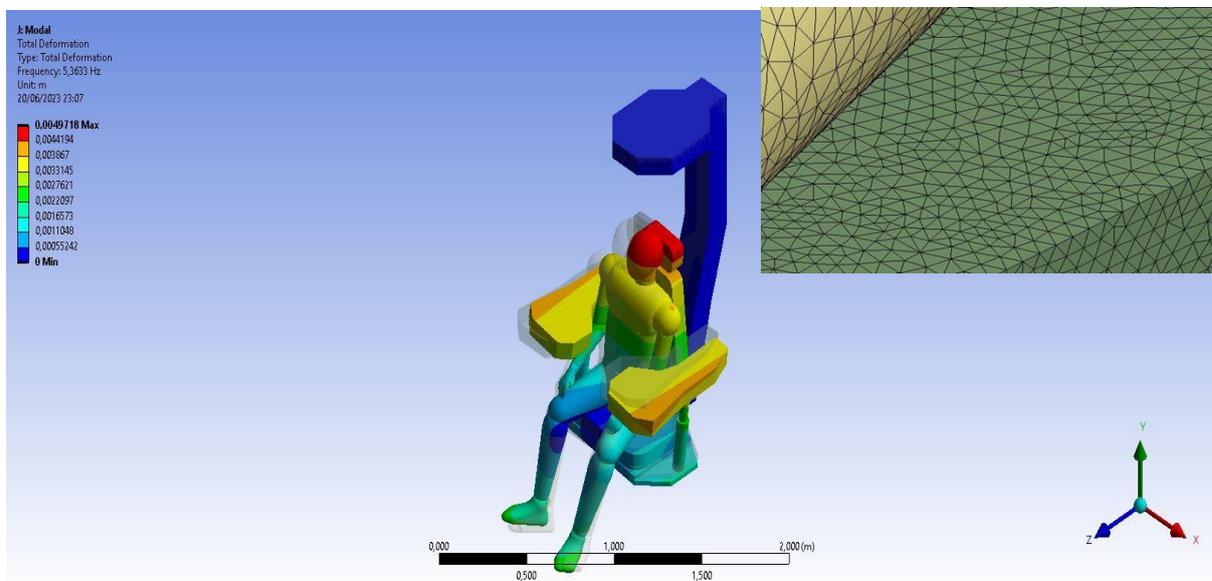


Fonte: Autor, 2023

Na malha 03 conforme Tabela 07, foi selecionado da mesma forma o primeiro modo de vibração com a frequência a 5,36 Hz conforme Figura 66 e determinado um ponto na mesma região de deformação da malha 01 basicamente no encontro do

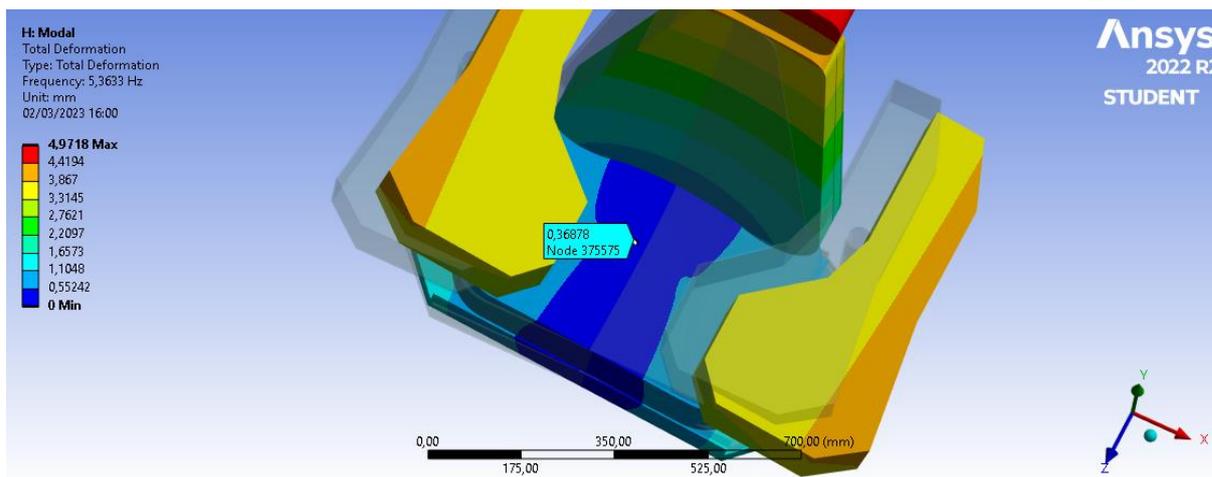
assento com as tuberosidades isquiáticas do modelo humano conforme Figura 67. Nesse ponto na malha 3 a deformação foi de 0,36 mm.

Figura 65 – 1º Modo de Vibração da Malha 03



Fonte: Autor,2023

Figura 66 – Região de Deslocamento da Espuma na Malha 03



Fonte: O autor,2023

Como critério de escolha da malha de referência para avançar nos estudos adotou-se o critério de análise do deslocamento na espuma do assento, ou seja, quando na malha em estudo esse deslocamento for igual ou inferior a 5% em relação a malha anterior, sabe-se que há uma tendência a estabilidade do deslocamento não sendo a princípio mais necessário refinar ainda mais a malha, o que a tornaria muito

mais demorada e complexa do ponto de vista do processamento. A Tabela 18 apresenta o comparativo percentual entre os deslocamentos das malhas 1,2 e 3 conforme Tabela 07. Observa-se que a diferença percentual entre as malhas 2 e 3 é muito pequena (0,59%), dessa forma concluímos que a malha 2 pode ser definida como a malha padrão para continuidade dos estudos, visto que apresenta uma tendência de estabilidade nos deslocamentos.

Tabela 18 – Análise dos Deslocamentos

	Número de elementos	Deslocamento (mm)	Diferença percentual(%)
Malha 1	360612	0,34011	----
Malha 2	414210	0,36661	7,79
Malha 3	645031	0,36878	0,59

Fonte: O autor, 2023

#### 4.6.2 Análise Estrutural, Modal e Harmônica

Nesta seção apresentaremos os resultados de análise estrutural, modal e harmônica do modelo em estudo com o objetivo de descobrir o comportamento estrutural do modelo bem como as frequências naturais de vibração do mesmo e consequentemente os seus modos de vibração de acordo com suas características de massa, rigidez e amortecimento. As frequências naturais do modelo devem ser identificadas com o objetivo de se evitar o fenômeno da ressonância, onde as frequências das vibrações forçadas dos equipamentos e máquinas coincidem com as suas frequências naturais, sendo assim potencializadas.

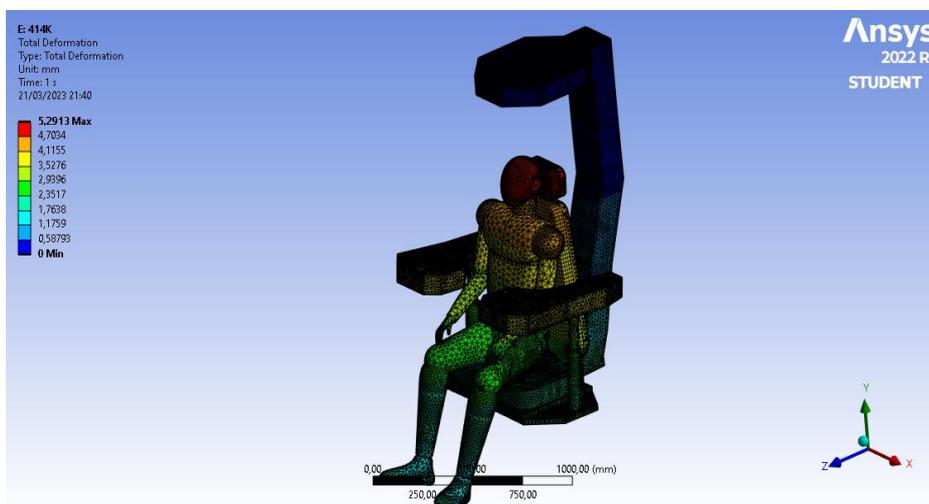
Na seção anterior foi realizada uma análise de malha e a configuração de malha definida para continuidade das pesquisas foi a malha 02 conforme tabela 6 com 414210 mil elementos. Conforme também já predefinido e justificado na seção anterior apresentaremos as 5 primeiras frequências naturais do modelo.

##### 4.6.2.1 Análise Estrutural

Inicialmente foi realizada a análise estática para calcular as tensões e deslocamentos máximos do modelo. De acordo com as condições de contorno o modelo humano estava com os pés livres e o assento com sua parte superior fixa, as configurações dos materiais estão descritas na seção 3.5.3.1. O deslocamento

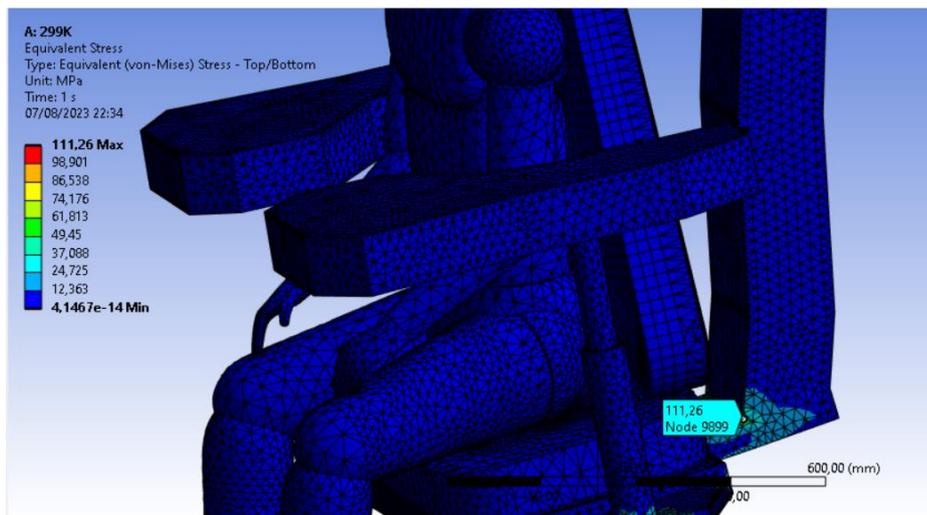
máximo foi de 5,26mm na região da cabeça do operador conforme Figura 67 e a tensão equivalente máxima gerada foi de 123,56 MPa conforme Figura 68.

Figura 67 – Deslocamento Máximo em Milímetros Do Modelo



Fonte: Autor,2023

Figura 68 – Tensão Equivalente em Mega Pascal do Modelo



Fonte: O autor, 2023

#### 4.6.2.2 Análise Modal

A análise foi usada para encontrar as frequências naturais dos primeiros 30 modos. Os 30 modos processados foram suficientes para se ter uma razão entre massa efetiva e massa total satisfatória para uma boa análise espectral. A Tabela 19 exhibe as frequências naturais dos primeiros cinco modos de vibração encontrados

para o modelo em estudo que variam de 5,40 a 9,97 Hz, justifica-se estes 5 modos iniciais pelo fato da frequência do motor do trolley não ultrapassar a 30 Hz (SHANGHAI..., 2010) e as frequências de interesse ocupacionais para esta configuração de posição variam em torno 3 a 8 Hz (FAI; DELBRESSINE; RAUTERBERG, 2007; WASSERMAN, 1987; IIDA, 2000). Os modos de vibrar, suas frequências naturais bem como suas deformações totais são exibidos nas Figuras 69 a 73.

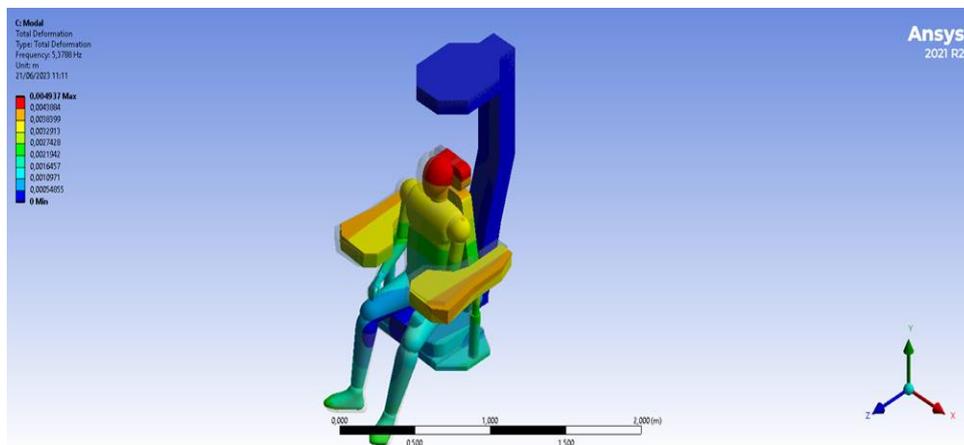
Tabela 19 – Frequências Naturais dos Modos de Vibração

Modo	Frequência (Hz)
1	5,4048
2	8,1091
3	9,413
4	9,493
5	9,9703

Fonte: O autor, 2023

Observa-se no primeiro modo a vibração de ressonância na Figura 69, que a frequência de ressonância de 5,40 Hertz incide mais sobre a região da cabeça e parte do tórax do modelo humano causando um movimento lateral na direção do eixo X, com um deslocamento máximo de 4,93 mm.

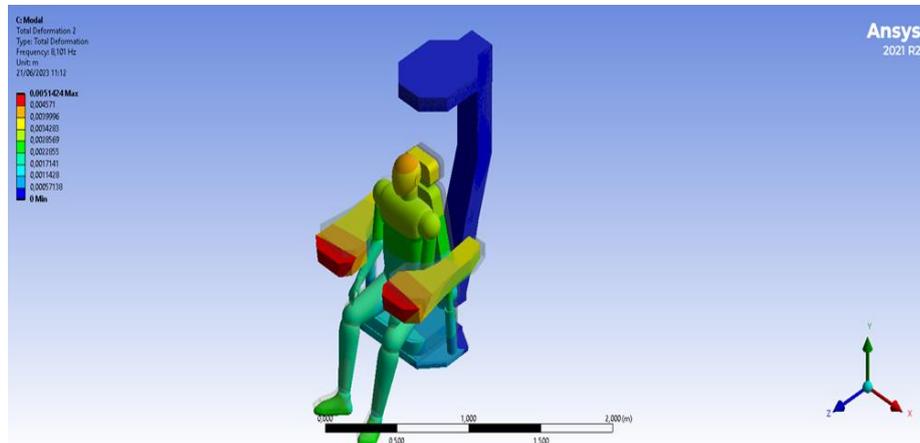
Figura 69 – Frequência Natural 1ª Modo



Fonte: O autor, 2023

Na Figura 70 o segundo modo de vibração é apresentado com uma frequência de ressonância de 8,10 Hertz incidindo dessa vez mais pontualmente na região da cabeça causando um movimento lateral dessa vez na direção do eixo Z com um deslocamento máximo de 5,16 mm.

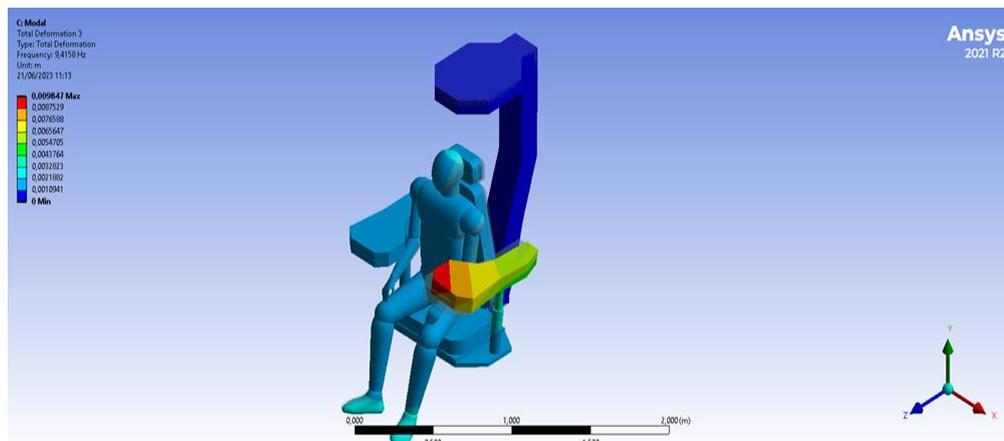
Figura 70 – Frequência Natural 2ª Modo



Fonte: O autor, 2023

Com uma frequência de ressonância de 9,41 Hertz na Figura 71 podemos observar o terceiro modo de vibração que atinge mais fortemente o braço do assento com deslocamento máximo de 9,52 mm, causando um movimento no eixo X. No modelo humano essa frequência incide mais moderadamente atingindo a cabeça e tronco com deslocamento de 3,17 mm.

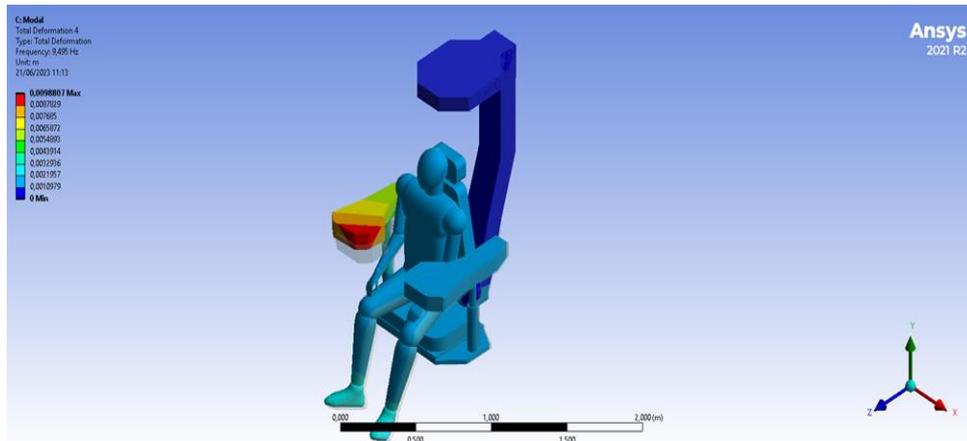
Figura 71 – Frequência Natural 3ª Modo



Fonte: O autor, 2023

O quarto modo de vibração ocorre em uma frequência de ressonância de 9,49 Hertz e como ilustrado na Figura 72 o deslocamento máximo foi 9,76 mm que incidiu nos braços do assento causando um movimento na direção do eixo X. No modelo humano os deslocamentos foram menores e atingindo a região da cabeça e tronco na ordem de 3,25 mm.

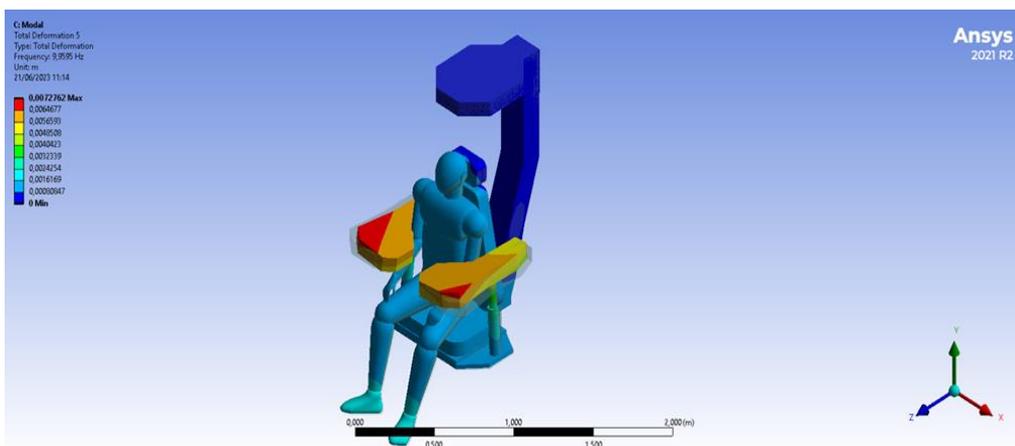
Figura 72 – Frequência Natural 4ª Modo



Fonte: O autor, 2023

O quinto modo de vibração ocorre em uma frequência de ressonância de 9,97 Hertz e como ilustrado na Figura 73 o deslocamento máximo foi 7,31 mm que incidiu nos braços do assento causando um movimento lateral na direção do eixo X. No modelo humano os deslocamentos foram menores e atingindo a região da cabeça e tronco na ordem de 2,43 mm.

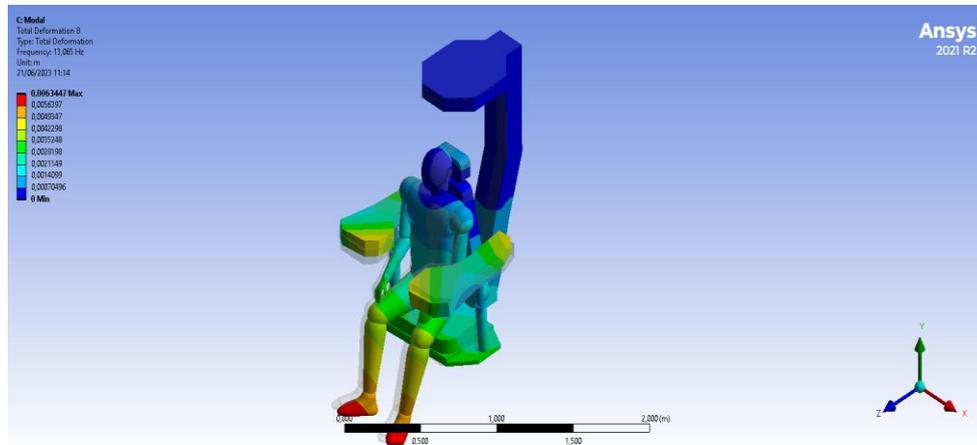
Figura 73 – Frequência Natural 5ª Modo



Fonte: O autor, 2023

Vale destacar que no oitavo modo de vibração com uma frequência de ressonância de 13,06 Hertz a região do modelo humano é fortemente atingida na região dos membros inferiores (pés e pernas) causando movimentos na direção do eixo X e deslocamentos da ordem de 6,33 mm conforme Figura 74.

Figura 74 – Frequência Natural 8ª Modo



Fonte: O autor, 2023

O processo de análise modal por elementos finitos também nos permite analisar o fator de participação modal que define a quantidade de massa que está se movimentando em cada direção para cada modo. Esse fator serve para identificar o quanto um determinado modo responde em uma determinada direção (MACAIA, 2017). A Tabela 20 exibe os fatores de participação modal por modo e eixo. No primeiro modo de vibração observamos que o maior fator de participação modal se encontra no eixo “X”.

Tabela 20 – Fatores de Participação Modal por Eixo

MODO	FREQUÊNCIA	FATOR DE PARTICIPAÇÃO DE MODAL		
		X	Y	Z
1	5,4048	0,27963	-0,49594E-02	-0,24032E-03
2	8,1091	-0,27088E-02	-0,12503	0,31149
3	9,413	0,78822E-01	0,19687	0,16650
4	9,493	-0,10853	0,14911	0,12604
5	9,9703	0,55712E-02	0,15575	0,85792E-01

Fonte: O autor, 2023

#### 4.6.2.3 Análise Harmônica

Para se analisar um sistema sob vibração forçada e descobrir suas amplitudes faz-se necessário utilizar a análise harmônica, que determina essas amplitudes no domínio das frequências estabelecendo assim a função de resposta em frequência (FRF) do sistema.

Bharadwaj e Prakash (2021) afirmam que quando a estrutura ou corpo é submetido a excitação senoidal em estado estacionário, a análise harmônica é eficaz para determinar o comportamento dinâmico do corpo. Como a análise está no domínio da frequência, ela é chamada de análise de resposta em frequência. O modelo do corpo humano encontrará várias magnitudes de aceleração dentro de uma variedade específica de frequências nesta análise. A resposta desta análise foi em termos de deformação e aceleração na estrutura, mais especificamente na região do assento, isto é, aceleração versus frequência e deformação versus frequência. Usando as propriedades do material como mencionado anteriormente, e aplicando as condições de contorno adequadas, a análise harmônica foi realizada no modelo homem assento. Foi aplicado ao sistema as condições de contorno de carregamento de 245 kN no eixo y com sentido pra baixo e aceleração de  $1 \text{ m/s}^2$  no eixo X, esses dados foram extraídos de um relatório técnico de cálculo estrutural do portêiner do terminal portuário (SHANGAI..., 2010). A razão de amortecimento de 0,45 foi calculada conforme demonstrado a seguir.

A razão de amortecimento foi calculada conforme a seguinte expressão:

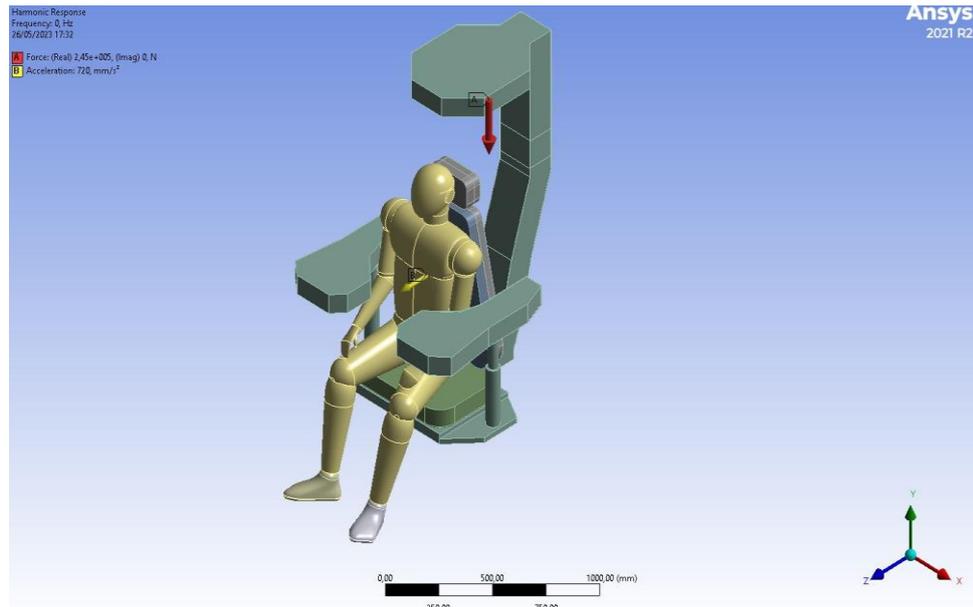
$$\zeta = b/2 (mk)^{1/2} \quad (4.5)$$

Onde b e K são respectivamente o amortecimento e a rigidez entre o assento e o piso e m a massa do sistema homem assento. Utilizando os dados amortecimento e rigidez de Zhao et al (2021) da tabela 5 e a massa do modelo extraída da simulação que ficou em 110,5 quilogramas o fator de amortecimento resultou:

$$\zeta = 1600/2 (110,5 \times 28723)^{1/2} = 0,45$$

Em resumo as condições de contorno utilizadas na análise harmônica se encontram na Tabela 21 e estão ilustradas na Figura 75.

Figura 75 – Modelo com Configurações de Processamento



Fonte: O autor, 2023

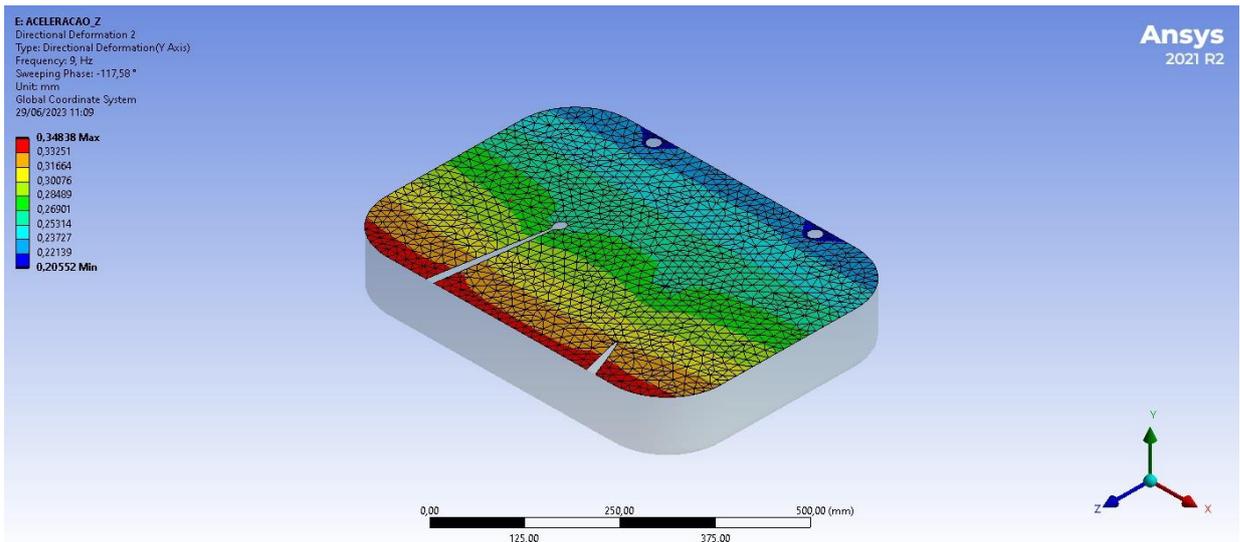
Tabela 21 – Condições De Contorno Para Análise Harmônica

Carga	245 kN (Y)
Aceleração	1 m/s <sup>2</sup> (Z)
Amortecimento (b)	1600 Ns/m
Rigidez (K)	28723 N/m
Massa (m)	110,5 kg
Razão de amortecimento	0,45

Fonte: O autor, 2023

Configuramos a simulação para apresentar os resultados em termos de resposta em frequência versus deformação e resposta em frequência versus aceleração. Na sequência a Tabela 22 apresenta os resultados de deformação e aceleração do modelo considerando um intervalo de frequência de 0 a 10 Hz. Na Figura 76 extraímos apenas o assento, no mesmo foi selecionada a região de análise de deformação e aceleração, a escolha desse ponto, que se encontra com deformação de 0,348 mm a 9 Hz, se justifica pelo fato de ser a região onde ocorre o contato do operador com o assento.

Figura 76 – Região do Assento Seleccionada para Análise



Fonte: O autor, 2023

Tabela 22 – Resultado da Análise Harmônica

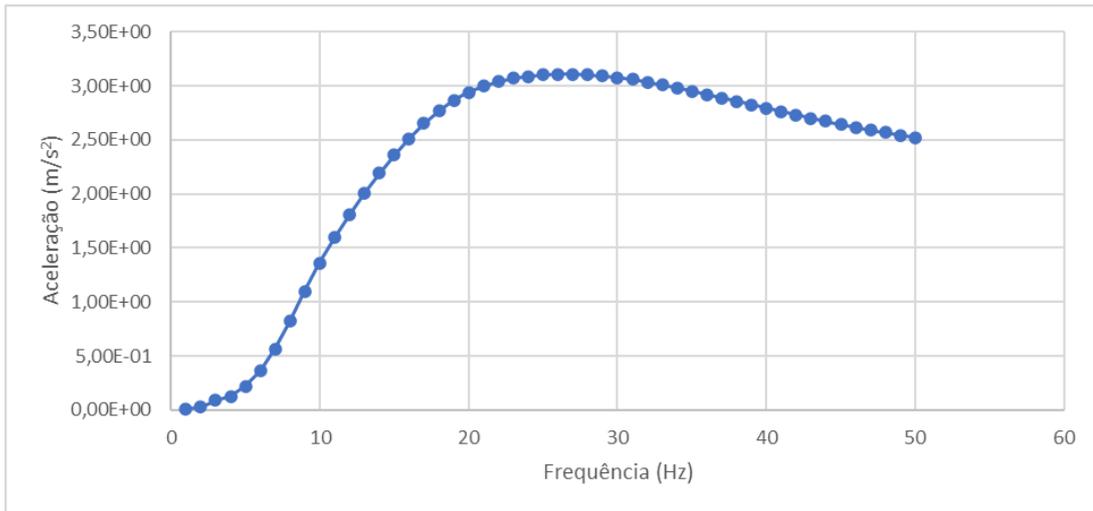
f(Hz)	Deslocamentos (mm)	a (m/s <sup>2</sup> )
1	0,16999	0,0097109
2	0,176	0,027793
3	0,18643	0,08924
4	0,20213	0,12767
5	0,22462	0,22169
6	0,25534	0,3629
7	0,29224	0,56533
8	0,32551	0,82243
9	0,34378	1,0993
10	0,34497	1,3619

Fonte: O autor, 2023

No intervalo de frequência de 1 a 25 Hz observa-se que a aceleração aumenta de forma aleatória acompanhando o crescimento da frequência chegando a um pico de 3,1 m/s<sup>2</sup> conforme podemos observar na Figura 77, após a frequência de 25 Hz a aceleração tende a cair.

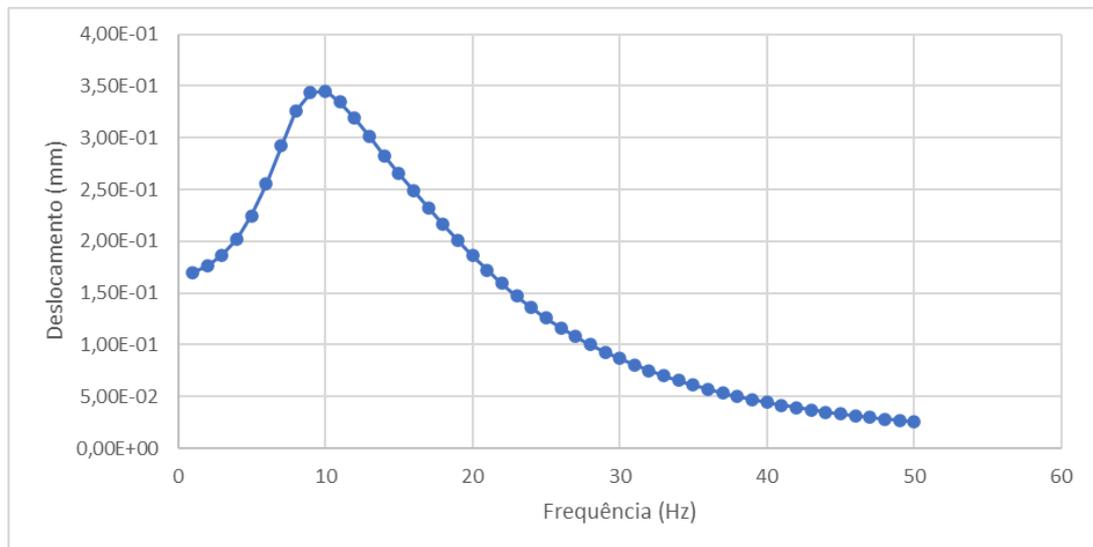
No intervalo de frequência analisado os resultados de deslocamento apresentam um gradativo aumento chegando ao deslocamento máximo de 0,34497 mm a 10 Hz. Acima de 10 Hz os valores de deslocamento começam a cair conforme Figura 78.

Figura 77 – Gráfico Frequência X Aceleração



Fonte: O autor, 2023

Figura 78 – Gráfico Frequência X Deslocamento



Fonte: O autor, 2023

Fazendo um estudo comparativo entre a medição real de vibração no portêiner e os resultados da simulação em termos de aceleração no assento conseguimos observar resultados de mesma ordem de grandeza no intervalo de 1 a 5 Hz conforme Tabela 23. As acelerações foram analisadas em um ponto análogo no assento do operador do portêiner e no assento do modelo conforme Figuras 76 e 79.

Analisando a Tabela 23 podemos observar que na faixa de 1 a 5 Hz os valores não são idênticos, mas apresentam uma mesma ordem de grandeza, sinalizando que apesar das inúmeras variáveis que envolvem a situação real diante da simulação, o

quadro comparativo aponta para uma tendência do modelo a se aproximar cada vez mais da situação real a medida em que ocorra um maior refino do mesmo. Na Tabela 23 podemos observar que em 4 Hz de frequência ocorre uma maior aproximação da aceleração real com a simulada com uma diferença de 0,02 m/s<sup>2</sup>.

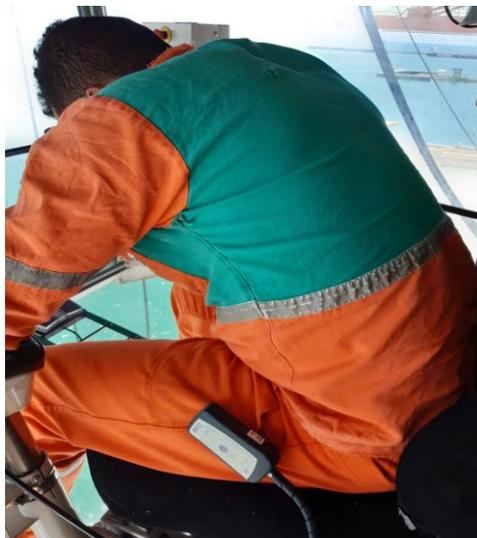
Tabela 23 – Aceleração Real X Aceleração no Modelo

f (Hz)	Aceleração real no eixo Z sem ponderação (m/s <sup>2</sup> )	Aceleração no modelo no eixo Z (m/s <sup>2</sup> )
1	0,02	0,01
2	0,03	0,02
3	0,10	0,09
4	0,11	0,13
5	0,13	0,22

Fonte: O autor, 2023

Nas frequências acima de 5 Hz já ocorrem acelerações muito divergentes dos resultados reais, apontando a necessidade de refino ainda maior do modelo e estudo de acréscimo de outras variáveis. Os resultados obtidos poderão ajudar em estudos futuros a estabelecer parâmetros de maior controle na manufatura de cabines e assentos de máquinas ainda na fase de projeto usando a simulação para descobrir regiões de frequências perigosas a saúde humana e desenvolver projetos ainda mais seguros.

Figura 79 – Posição do Acelerômetro entre o Operador e Região Central do Assento



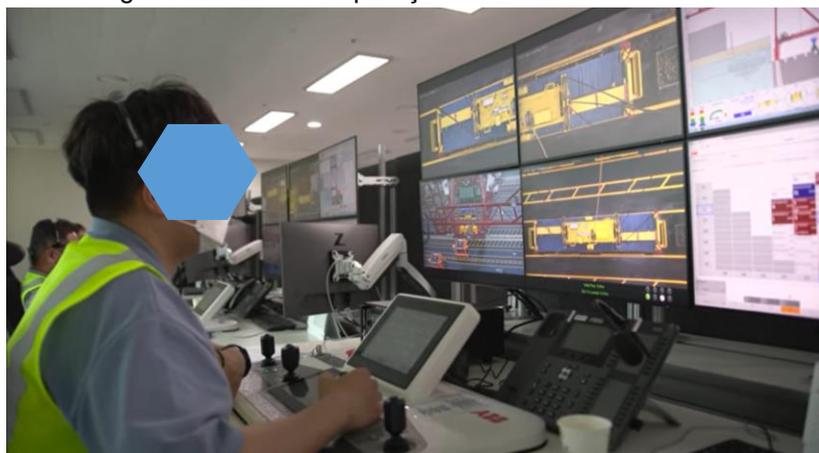
Fonte: O autor, 2023

#### 4.7 DISCUSSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

É fato que a realidade do ambiente de trabalho objeto desta pesquisa precisa ser modernizada, mas esse é o contexto da maioria dos portos do mundo. Os operadores sofrem com a exposição a vibrações, cansaço físico para acessar os portêineres cada vez mais altos, que nem sempre possuem elevadores operacionais, dificuldade para ir ao banheiro, falta de manutenção no pavimento por onde circulam os veículos, deficiência na manutenção da suspensão dos veículos e, como mostrado nesta pesquisa, exercem posturas desconfortáveis que comprovadamente causam efeitos nocivos à saúde.

Como resultado de inúmeras pesquisas na área de tecnologia, uma nova proposta de operação remota de guindastes foi implementada em alguns portos ao redor do mundo, como o porto de Rotterdam na Holanda e o terminal internacional de Manzanillo no Panamá. A Figura 80 mostra uma sala de controle com operação remota de um portêiner. A mesma fica localizada em um prédio administrativo distante do cais, sem que o operador precise subir no guindaste, não se expondo a vibrações nem exercendo posturas inadequadas. Trabalham em posição muito mais confortável ergonomicamente, exercendo posturas fisiologicamente adequadas, podendo revezar-se em pé ou sentado, sempre acompanhado de colegas que podem ajudar a resolver uma situação de dúvida, acrescentando ainda a possibilidade de substituição imediata por qualquer necessidade ou pausa para descanso. A Figura 79 mostra tractors robôs em operação sem a necessidade de motoristas humanos ficarem expostos as VCI e posturas inadequadas por longos períodos.

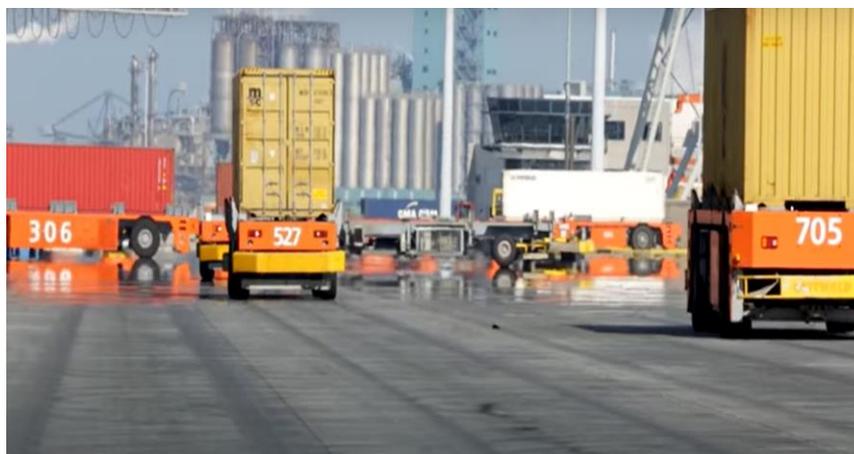
Figura 80 - Sala de Operação Remota de Portêiner



Fonte: ABB, 2023

Essas tecnologias estão disponíveis apenas em aproximadamente 5% dos portos do mundo (ABB,2023). Os portos que ainda não contam com a operação remota de guindastes devem tomar medidas para melhorar essas condições, pois a mudança para essa modalidade é onerosa e de longo prazo. Como sugestões para essas melhorias é recomendado a manutenção rigorosa no assento do operador para permitir os ajustes necessários na altura, encosto e braços, instalação de sistemas de câmeras nos portêineres com aproximação, evitando postura forçada e facilitando a visualização de áreas importantes para manobras, manutenção no pavimento de circulação dos tractors, manutenção na suspensão dos tractors, viabilização da redução do tempo de trabalho nessas condições, revezamento entre postos de trabalho, treinamento e acompanhamento médico dos operadores.

Figura 81 - Tractors Robôs



Fonte: ABB, 2023

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho de pesquisa apresenta as principais dificuldades dos operadores portuários de portêiner e tractors do ponto de vista da saúde e seus efeitos. Um questionário de investigação de sintomas foi aplicado e na sequência realizada uma avaliação postural utilizando o método REBA. Foi avaliado quantitativamente os níveis de vibração de corpo inteiro e, por fim, foi desenvolvido um modelo em 3D para análise por elementos finitos dos esforços, frequências, acelerações e deformações submetidas ao modelo e comparações com os resultados de campo.

Em relação as VCI's os resultados apresentaram níveis de alerta extrapolados indicando a necessidade de intervenções para melhorias das condições de operação. Estudos similares mostram que em operadores de caminhão basculante e tratores o AREN e o VDVR tiveram seus limites de ação ultrapassados (JERIPOTULA; MANGALPADY; MANDELA, 2020; ATAL et al, 2020). Contudo os valores ficaram abaixo dos limites de tolerância. Campbell (2016) publicou uma pesquisa de avaliação de VCI em operadores de guindastes e concluiu que o AREN não teve seus níveis de ação e limite de tolerância ultrapassados, mas o VDVR apresentou alguns resultados onde o nível de ação foi atingido, contudo todos os resultados ficaram abaixo do limite de tolerância. Em 2019 um estudo similar foi realizado no porto da Malaysia exclusivamente em portêineres onde o AREN e o VDVR não tiveram seus níveis de ação nem limites de tolerância ultrapassados (AZMI et al, 2019). No atual cenário de pesquisa observamos que os níveis de ação no AREN e VDVR foram atingidos e nos veículos tractors o VDVR teve seu limite de tolerância extrapolado em alguns casos. Como é sabido, quando os valores medidos estão acima dos limites de tolerância existe possibilidade de adoecimento dos operadores. Portanto em relação a exposição as VCI's concluímos que para os operadores de veículos tractors o trabalho é insalubre e gera adoecimento. Para os operadores de portêiner concluímos que as vibrações estão limítrofes e requerem monitoramento constante de suas intensidades e da saúde.

Os resultados do questionário de prevalência de sintomas musculoesqueléticos apresentaram as regiões lombar, cervical, pescoço e punhos e mãos com a maior incidência de prevalência de sintomas, mas todas as outras regiões apresentaram algum percentual de prevalência de sintomas, indicando a necessidade

de intervenções de forma geral nos fatores de risco da atividade. Essas descobertas podem ser interpretadas como resultado do que já se previa, visto que a realidade do contexto com que as atividades são realizadas (postura inadequada, ajustes do assento sem manutenção, vibrações, ritmo acelerado de trabalho, jornadas excessivas, etc) já apontavam para tais consequências. Estudos recentes ratificam a informação e revelam que a região lombar, ombros e coluna cervical são as áreas mais afetadas por esses distúrbios (JERIPOTULA; MANGALPADY; MANDELA, 2020; SCHWARTZ, A. et al., 2019; RATHORE; PUNDIR; IQBAL, 2020).

A pesquisa também teve a finalidade de melhorar o entendimento sobre essa prevalência e fatores de risco ergonômicos associados, estes podem ajudar a desenvolver procedimentos para garantir melhores condições ergonômicas de trabalho. Os resultados destacaram a necessidade de intervenção ergonômica para melhorar a condições de trabalho desses profissionais pois concluiu-se uma alta prevalência de sintomas musculoesqueléticos na região superior do corpo necessitando uma maior atenção e ações de melhorias das condições de segurança e saúde.

O estudo de posturas no trabalho através do método REBA concluiu um cenário com fator de risco médio, demandando a necessidade de tomar medidas para melhoria da postura devido a uma estação de trabalho carente de adequações físicas e que requer manutenções das condições de ajustes do assento que frequentemente apresentam defeitos nos dispositivos de regulagem de altura e angulação para braços, antebraços, pernas e tórax. Essas carências podem ser reduzidas pelo design eficaz da estação de trabalho, manutenções preventivas da espuma e ajustes do assento. Outra intervenção de melhoria seria otimizar o campo visual do operador instalando na parte dianteira e superior da cabine monitores conectados a câmeras instaladas embaixo da cabine captando o campo visual real e trazendo imagens detalhadas do posicionamento dos contêineres sem precisar se inclinar para visualizar, através do piso de vidro da cabine, aliviando a região do pescoço e coluna cervical.

O modelo computacional para o sistema proposto permitiu tratar de forma específica o comportamento das frequências e acelerações nas configurações usadas e inicialmente obter, no intervalo de 1 a 5 Hz, resultados aproximados dessas duas grandezas em relação aos dados reais obtidos em campo. Considerando que os resultados de AREN são uma resultante dos três eixos e ainda se aplica fatores de ponderação sobre esses eixos, ainda há uma necessidade de ampliação dos estudos

visando melhor abranger e validar os resultados com o objetivo de utilizar o modelo para simular e estimar exposições ocupacionais de vibrações sem a necessidade de ir a campo com os instrumentos para obter essas informações.

A NHO-09 em seu item 6.2 apresenta uma série de oito situações que devem ser consideradas para a análise preliminar da exposição, como por exemplo a estimativa de tempo efetivo da exposição diária ou as informações ou registros relacionados a queixas, susceptibilidades ou predisposições atípicas ou antecedentes médicos relacionados aos trabalhadores expostos e os efeitos neles gerados. Essas oito situações vão ajudar o técnico a decidir se será necessário realizar a medição da VCI em campo ou não. Acreditamos que a simulação da exposição com uma aproximação relativamente confiável poderia ser agregada a esse rol de situações podendo levar ao técnico a decidir a não necessidade de medição da VCI em campo.

Por ocasião das grandes distâncias entre a cabine e a localização da carga, um grande benefício adicional para a produtividade é a possibilidade de aproximação das imagens em alguns momentos em que se necessita de maior precisão, como na ocasião do posicionamento do contêiner nos espaços limitados dentro do navio. Essa manobra resulta na otimização do tempo e no aumento da segurança nas operações de movimentação de cargas. Suspeita-se ainda que a carga cognitiva sustentada pelo operador pode ser um preditor de potencialização de sintomas musculoesqueléticos visto que as manobras do portêiner requerem alta especialização como também a velocidade de manobras de operação é acelerada pelas pressões oriundas dos armadores que custeiam a hora operacional do guindaste impactando em uma responsabilidade com a segurança da operação nas manobras de movimentação dos contêineres. Apesar das limitações da pesquisa, principalmente no valor reduzido da amostra, o presente estudo contribui apontando uma série de lacunas na área de movimentação portuária de contêineres que existem na maioria dos portos. Essas lacunas impactam diretamente na saúde dos operadores e geram passivos que no futuro deverão ser assumidos pelos operadores portuários.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se para estudos futuros:

A ampliação da amostra inclusive inserindo os operadores de transtêiner que trabalham em condições análogas aos operadores de portêiner.

Realizar um estudo para a otimização do sistema em função de realizar um maior refino de variáveis que alimentam as configurações do modelo para maior aproximação do real.

Realizar estudo do modelo humano com variadas inclinações do tronco.

Avaliar a carga cognitiva e atenção visual combinada com as posturas do operador.

Estudar meios de ajustar as respostas em função da resultante nos três eixos e aplicação das ponderações utilizadas no modelo.

## REFERÊNCIAS

- ADAM, S.A. et al. The effect of posture and vibration magnitude on the vertical vibration transmissibility of tractor suspension system. **International Journal of Industrial Ergonomics**. v. 80, 2020.
- ALMEIDA, MÁRCIO T. **Vibrações mecânicas para engenheiros**. 2. ed., São Paulo: Edgard Blücher, 1990.
- AMIRI, S. NASERKHAHI, S.; PARNIANPOUR, M. Effect of whole-body vibration and sitting configurations on lumbar spinal loads of vehicle occupants. **Computers in Biology and Medicine** v.107, 2019.
- ANFLOR, C. T. M. ; BECKER, T. ; TAMAGNA, A. . Seat drives Model development. **SAE Technical Papers**, v. 2004, p. 3340, 2004. DOI: <https://doi.org/10.4271/2004-01-3340>
- ANSYS. **ANSYS Mechanical APDL Structural Analysis Guide Release 13**. Disponível:[https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/fea/ansys/ansys\\_13\\_element\\_reference.pdf](https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/fea/ansys/ansys_13_element_reference.pdf). Acesso em: 16 jan. 2023.
- ASADI. H., YU. D., AND MOTT. J.H. Risk Factors for Musculoskeletal Injuries in Airline Maintenance. Repair & Overhaul. **Int. J. Ind. Ergon**, 70: 107-115. 2019
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR ISO 11226:2013 **Ergonomia – Avaliação de posturas estáticas de trabalho**, 2013.
- ATAL, M.K. et al. Occupational exposure of dumper operators to whole-body vibration in opencast coal mines: an approach for risk assessment using a Bayesian network. **Int J Occup Saf Ergon**. v.28, n.2, p.758-765, jun.,2022 doi: 10.1080/10803548.2020.1828551. Epub 2020 Nov 5.
- AZMI, M.A.F.M et al. Risk Factors of Low Back Pain Amongst Port Crane Operator in Malaysia. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)**, v.8, Issue-7, May, 2019. ISSN: 2278-3075.
- BALBINOT, A., TAMAGNA, A., Avaliação da transmissibilidade da vibração em bancos de motoristas de ônibus urbanos: um enfoque no conforto e na saúde. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, Rio de Janeiro. v. 18, n. 1, p. 31-38; 2001.
- BATHE, K. **Finite element procedures**. New Jersey: Prentice Hall, 1996
- BHARADWAJ, P.K.; PRAKASH, R., Modal and harmonic analyses of the Indian male human body subject under semi-supine posture. **Materials Today**: Proceedings, Volume 46, Part 19, Pages 10085-10092, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.413>.
- BHATIA, A. et al. Comparative Study of different Seat Cushion Materials to improve the Comfort of Tractor Seat. **J. Inst. Eng. India Ser.** v.103, n.2, p.387–396, 2022.

BOLINA, C.C. **Estudo numérico-experimental para proposição de modelo biodinâmico do corpo humano submetido a vibrações**. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD-005A/13, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 227f, 2013.

BOVENZI, M. A Longitudinal Study of Low Back Pain and Daily Vibration Exposure in Professional Drivers. **Industrial Health** 48, 584–595, 2010.

BOVENZI, M. A prospective cohort study of neck and shoulder pain in professional drivers. **Ergonomics**. Vol.58. 2015

BOVENZI, M.; PINTO, I.; STACCHINI, N. Low back pain in & lport machinery operators. **Journal of Sound and Vibration**, v.253, n.1, p.3-20, 2002

BRASIL. Ministério da Economia - ME, NR15 - **Atividades e operações insalubres**, Ministério da Economia, Brasília, 2019.

BRASIL. Ministério da Economia - ME. Norma Regulamentadora no 9 – NR-9: **Avaliação e Controle das Exposições Ocupacionais a Agentes Físicos, químicos e Biológicos**. Ministério da Economia, Brasília, 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde, 2019. **LER e DORT são as doenças que mais acometem os trabalhadores, aponta estudo**. Brasília, 30 de Abr. de 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2019/abril/ler-e-dort-sao-as-doencas-que-mais-acometem-os-trabalhadores-aponta-estudo>>. Acesso em: 18 Abr. 2022.

CAMPBELL, S. **Whole Body Vibration Exposure To Crane Operator's**. Montana Tech of the University of Montana, 2016.

CHAFFIN, D. B.; ANDERSSON, G. B. J.; MARTIN, B. J. **Occupational Biomechanics**, Wiley-Interscience, U.S.A. 2006.

CHARLES, L. E.; MA, C. C.; BURCHFIEL C. M.; DONG, R. G., Vibration and Ergonomic Exposures Associated With Musculoskeletal Disorders of the Shoulder and Neck. **Safety and Health at Work**, 2018.  
<https://doi.org/10.1016/j.shaw.2017.10.003>

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE COMÉRCIO E DESENVOLVIMENTO - UNCTAD Handbook 2020. Disponível em: [https://unctad-org.translate.google.com/webflyer/review-maritime-transport-2020?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=pt&\\_x\\_tr\\_hl=pt-BR&\\_x\\_tr\\_pto=sc](https://unctad-org.translate.google.com/webflyer/review-maritime-transport-2020?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=sc). Acesso em: 01 dez., 2022.

COSTA, B.R.; VIEIRA, ER.; Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: a systematic review of recente longitudinal studies. **Amer J Industr Med** v. 53, p.285- 323, 2010.

COSTA, N.; AREZES, P. M.; MELO, R.B. **Effects of vibration exposure on professional drivers: a field test for quantifying visual and cognitive performance**. Work 41,DOI: 10.3233/WOR-2012-0561 IOS Press, 2012.

DARBRA, R.-M.; CASAL J.. Historical analysis of accidents in seaports. **Safety Science**, v. 42, n.2, p.85-98, 2004.

DONG, R.C.; GUO, L.X. Human body modeling method to simulate the biodynamic characteristics of spine in vivo with different sitting postures. **Int J Numer Meth Biomed Engng**. v. 33, e2876, 2017.

ENEZ, K.; NALBANTOĞLU, S. S., Comparison of ergonomic risk assessment outputs from OWAS and REBA in forestry timber harvesting. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 70, 2019, Pages 51-57, ISSN 0169-8141, <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.01.009>.

EWINS, D. J. **Modal Testing: Theory and practice**. Taunton: Research Studies Press Ltd., 1984.

FABIANO, B., et al. "Port safety and the container revolution: A statistical study on human factor and occupational accidents over the long period. **Safety Science**, v.48, n. 8, p. 980-990. 2010

FAI,T.C.; DELBRESSINE,F.; RAUTERBERG,M. Vehicle seat design: state of the art and recente development. **Proceedings World Engineering Congress**, p. 51-61, Penang, 2007.

FERNANDES, R.C.P. et al. Musculoskeletal disorders among workers in plastic manufacturing plants. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v.13, n.1, p. 11-20, 2010.

FREITAS FILHO, P. J. de. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em arena**. 2. ed. Florianopolis: Visual Books Ltda., 2008. 372p.

GAO, K., et al. Finite element modeling and parameter identification of the seated human body exposed to vertical vibration. **Biomech Model Mechanobiol**, v.20, p.1789-1803, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10237-021-01481-1>

GAROSI, E. et al. Design and ergonomic assessment of a passive head/neck supporting exoskeleton for overhead work use. **Applied Ergonomics**, v.101, 2022, 103699, ISSN 0003-6870, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103699>.

GERMANO, A. X. S.; MELLO, J. A. V. B.; MOTTA, W. H. Contribuição das tecnologias da indústria 4.0 para a sustentabilidade: uma revisão sistemática. **La Plata**, v. 11, n. 1, e142, 2021. <https://doi.org/10.24215/18539912e142>

GOES, R.A., et al. Musculoskeletal injuries in athletes from five modalities: a cross-sectional study. **BMC Musculoskel. Disord**. 21, 1–9. 2020. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-3141-8>.

GRIFFIN, M.J. **Handbook of human vibration**. Academic Press, London, 1990.

HE, J.; FU, Zhi-Fang. **Modal Analysis**. Butterworth-Heinemann, 2001.

HIGNETT, S. and MCATAMNEY, L. Rapid entire body assessment (REBA). **Appl. Ergon**. 31. 201–205, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00039-3](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3)

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 360p.

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 2631-1: **mechanical vibration and shock: evaluation of human exposure to whole-body vibration: Part 1: general requirements**. 2022.

JADHAV, G.S.; ARUNACHALAM, M.; SALVE, U.R., Ergonomics design and evaluation of the stitching workstation for the hand-crafted Kolhapuri footwear using a digital human modeling approach. **J. Ind. Prod. Eng.** 1-13, 2019.

JERIPOTULA, S.; MANGALPADY, A.; MANDELA, G. Musculoskeletal Disorders Among Dozer Operators Exposed to Whole-Body Vibration in Indian Surface Coal Mines. **Mining, Metallurgy & Exploration**, v.37, p.803–811, 2020. <https://doi-org.ez360.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s42461-019-00170-z>

JOSHI, M.; DESHPANDE, V. Investigative study and sensitivity analysis of Rapid Entire Body Assessment (REBA). **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 79, 2020, 103004, ISSN 0169-8141, <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.103004>.

KANG, D., et al. Prevention of work-related musculoskeletal disorders. **Ann. Occup. Environ. Med.** 26, 9–10. 2014. <https://doi.org/10.1186/2052-4374-26-14>.

KEE, D.; NA, S.; CHUNG, M. K. Comparison of the Ovako Working Posture Analysis System, Rapid Upper Limb Assessment, and Rapid Entire Body Assessment based on the maximum holding times, **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 77, 2020, 102943, ISSN 0169-8141, <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.102943>.

KIM, E.; FARD, M.; KATO, K. A seated human model for predicting the coupled human-seat transmissibility exposed to fore-aft whole-body vibration. **Applied Ergonomics**, v. 84, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102929>

KIRKWOOD, B. R.; STERNE, J. A. C. **Essentials of medical statistics**. 2ed. Blackwell Science Ltda: Massachusetts - USA, 2006.

KITAZAKI, S.; GRIFFIN, M.J. A modal analysis of whole-body vertical vibration, using a finite element model of the human body. **J Sound Vib.** v. 200, n.1, p.83-103. 1997.

KLUEVER, C.A. **Sistemas dinâmicos: modelagem, simulação e controle**. Trad. Mauro Speranza Neto. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

KUMAR, R. et al. Vibration Response of Human Subject Using FEM. Department of Mechanical Engineering, Chandigarh University, Chandigarh, Punjab, India, **Advances in Engineering Design**, pp. 141-150, 2019.

KUMAR, V.; PALEI, S. K.; NETAI, C.; KARMAKAR, D. K. C. Whole-Body Vibration Exposure vis-à-vis Musculoskeletal Health Risk of Dumper Operators Compared to a Control Group in Coal Mines. **Safety and Health at Work**, v.13, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2021.10.007>

KUORINKA, I., B. et al. Standardized Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. **Appl. Ergon.**, v. 18, n. 3, pp. 233–237, Sep.1987.

LANTOINE, P., LECOCQ, M., BOUGARD, C., DOUSSET, E., MARQUESTE, T., BOURDIN, C., BAUVINEAU, J. A. L. and MESURE, S. (2022). Influence of car seat firmness on seat pressure profiles and perceived discomfort during prolonged simulated driving. *Applied Ergonomics*. Volume 100. 2022.

LOWE, B. D.; DEMPSEY, P. G.; JONES, E. M., Ergonomics assessment methods used by ergonomics professionals. **Applied Ergonomics**, v. 81, 2019, 102882, ISSN 0003-6870, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102882>.

LUZIO, F. S., et al., Visual vs vibrotactile feedback for posture assessment during upper-limb robot-aided rehabilitation. **Applied Ergonomics**, v. 82, 2020, 102950, ISSN 0003-6870, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102950>.

MACAIA, DÉLCIO EDUARDO. **Identificação experimental das propriedades modais de uma estrutura**. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, 2017.

MAGALHÃES, M.M.; LIMA, A.C.P. **Noções de Probabilidade e Estatística**, 7 ed., São Paulo: EDUSP. 2010

MANSFIELD, NEIL. **Human response to vibration**. 1 ed., Boca Raton: CRC Press, 2005.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E.M. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2017.

MÁSCULO, F. S.; VIDAL, M. C. (Orgs). **Ergonomia: trabalho adequado e eficiente**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO 2011.

METAGRO. **Assento ERGOSEAT NG H**. Disponível em: <https://www.metagro.nl/en/cabins-customised-solutions/crane-cabins/>. Acesso em 04 jan.2023.

MORAES, A.; MONT'ALVÃO, C. **Ergonomia: conceitos e aplicações**. 3.ed. Rio de Janeiro: iUsEr, 2003.

MOSEF, Y. **Complex Simulation Systems**. Society of Computer Simulation. Ghent, 1997

MOZAFARI, A., VAHEDIAN, M., MOHEBI, S. AND NAJAFI, M. Work-related musculoskeletal disorders in truck drivers and official workers. **Acta Med Iran**. 53(7):432-8. PMID: 26520631. 2015.

NAGARAJ, T. S., JEYAPPAUL, R. AND MATHIYAZHAGAN, K. Evaluation of ergonomic working conditions among standing sewing machine operators in Sri Lanka. **International Journal of Industrial Ergonomics**. v. 70. p. 70-83. 2019.

OKUYUCU, K. et al. Midwives' thoughts about musculoskeletal disorders with an evaluation of working tasks. **Appl Ergon**. v. 90, 103263, 2021.

PAN, C. S. et al. Biomechanical assessment while using production tables on mast climbing work platforms. **Applied Ergonomics**, v. 90, 2021, 103276, ISSN 0003-6870, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103276>.

PARDAL, T. **Ruído de baixa frequência, um problema de saúde pública**, Disponível em:<http://blog.safemed.pt/ruido-de-baixa-2015.Frequência-um-problema-para-a-saúde-publica/>. Acesso em: 10 de abril. 2021.

PAU, M. et al. Effect of prolonged sitting on body-seat contact pressures among quay crane operators: **A pilot study**. *Work*, v. 55, n. 3, pp. 605-611, 2016

PETYT, M. **Introduction to finite element vibration analysis**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990

PIGINI, L. et. al. Ergonomic solutions in designing workstations for operators of cranes on harbours. **Intenational Ergonomic School – EPM**, Italy, 2006.

RAO, S. S. **Vibrações Mecânicas**, 4 ed., São Paulo: Pearson, 2009.

RATHORE, B., PUNDIR, K A., IQBAL, R., Ergonomic risk factors in glass artware industries and prevalence of musculoskeletal disorder. **Int. J. Ind. Ergon.**80, 2020. 103043.

RELACRE, Guia 23 boas práticas de medição de vibrações - Exposição dos trabalhadores às vibrações. **Relacre** ISBN: 978-972-8574-19-2, 2014.

ABB - REMOTE CRANE OPERATIONS. Disponível em: <https://new.abb.com/ports/solutions-for-marine-terminals/our-offerings/container-terminal-automation/remote-crane-operation>. Acesso em: 16 jan. 2023.

RODRIGUES, M. S., et al. Rapid office strain assessment (ROSA): Cross cultural validity, reliability and structural validity of the Brazilian. **Applied Ergonomics**, v. 75, 2019, Pages 143-154, ISSN 0003-6870, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.09.009>.

RUIZ, R. M. C.; MUÑOZ, B. L. **Exposición a vibraciones en el lugar de trabajo**. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo I.N.S.H.T. I.S.B.N.: 84-7425-449-3 Dep. Madrid, 1999.

SANCIBRIAN, R., et al. Ergonomic evaluation and performance of a new handle for laparoscopic tools in surgery, **Applied Ergonomics**, v. 89, 2020, 103210, ISSN 0003-6870, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103210>.

SÃO PAULO. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma de Higiene Ocupacional 09 (NHO 09). **Avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro-procedimento técnico**, " FUNDACENTRO. Ministério do Trabalho e Emprego, São Paulo, 2013.

SCHRIBER, T. J., **Simulation Using GPSS**, New York: Wiley, 1974.

SCHWARTZ, A. et al. Janitor ergonomics and injuries in the safe workload ergonomic exposure project (SWEEP) study. **Appl Ergon.** v. 81, p.102874. 2019

SCHWARZ, B.J.; RICHARDSON, M. H. **Experimental Modal Analysis. CSI Reliability Week, Proceedings**: Jamestown, Califórnia, 1999.

SEIDEL, D. H. et al. Assessment of work-related hand and elbow workloads using measurement-based TLV for HAL, **Applied Ergonomics**, v.92, 2021, 103310, ISSN 0003-6870, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103310>.

SEIDEL, H. et. al. Intraspinial forces and health risk caused by whole-body vibration. Predictions for European drivers and different field conditions. **International Journal of Industrial Ergonomics**, Berlin, 2007.

SEKKAY, F., IMBEAU, D., CHINNIAH, Y., DUBÉ, P. A., DE MARCELLIS-WARIN, N., BEAUREGARD, N. and TRÉPANIER, M. Risk factors associated with self-reported musculoskeletal pain among short and long distance industrial gas delivery truck drivers. **Appl Ergon.** Oct;72:69-87. 2018.

SHANGHAI ZHENHUA HEAVY INDUSTRY Co. – ZPMC. Ltd. **Structure Calculation for STS Crane** , Nov. 2010.

SHIDA, G. J.; BENTO, P.E.G. Métodos e ferramentas ergonômicas que auxiliam na análise de situações de trabalho. **VIII Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, 2012.

SINGH, A.; SINGH, I.; KALSI, S. Transmissibility Evaluation of Whole-Body Vibration Using Three-Layer Human CAD Model. **J. Inst. Eng. India Ser. C** 101, p.595–602, 2020. <https://doi.org/10.1007/s40032-020-00559-6>

SMITH, P. et al. Are there differences in the return to work process for work-related psychological and musculoskeletal injuries? A longitudinal path analysis. **Soc. Psychiatr. Psychiatr. Epidemiol.** 1–11. 2020. <https://doi.org/10.1007/s00127-020-01839-3>

SMARTLAB - Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho – Disponível em: <https://smartlabbr.org/sst/localidade/0?dimensao=despesa>. Acesso em 5 de julho de 2023.

STIVARI, T. S. S.; GARNEIRO, A. H. **Simulação de eventos discretos como ferramenta de avaliação e planejamento da produção animal**. Programa de Pós-graduação em Nutrição e Produção Animal, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo. Pirassununga, São Paulo, 2013. Disponível em: [http://paineira.usp.br/lae/wp-content/uploads/2017/07/Capitulo-livro\\_VNP2013\\_Stivari\\_Gameiro\\_Final.pdf](http://paineira.usp.br/lae/wp-content/uploads/2017/07/Capitulo-livro_VNP2013_Stivari_Gameiro_Final.pdf) .

TAVARES, J. M. R. S. **Introdução ao Método de Elementos Finitos**, Faculdade De Engenharia Da Universidade do Porto. 1998; disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/37649859\\_Introducao\\_ao\\_metodo\\_dos\\_elementos\\_finitos](https://www.researchgate.net/publication/37649859_Introducao_ao_metodo_dos_elementos_finitos). Acesso em: 05 set., 2019.

TECNO ELETTRICA RAVASI SRL - TER. **Brochure Crane Seat**. Disponível em: <https://www.terceska.cz/wp-content/uploads/seat-td-en.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2022.

TIEMESSEN, I.J.H.; HULSHOF, C.T.J.; FRINGS-DRESEN, M.H.W., An overview of strategies to reduce whole-body vibration exposure on drivers: a systematic review. **Int. J. Industrial Ergonomics**, v. 37, 245e256, 2007.

UPADHYAY R.; BHATTACHERJEE, A.; PATRA, AK.; CHAU, N. Association between Whole-Body Vibration exposure and musculoskeletal disorders among dumper operators: A case-control study in Indian iron ore mines. **Work**. v.71, n.1, p:235-247. 2022. doi: 10.3233/WOR-205140. PMID: 34924417.

WANG, X.et al. Workplace design of a gantry container crane cab on the basis of field surveys followed by three-dimensional computer simulation using a digital human model, **Recherche Transports Sécurité**. v. 78, p. 43–61, 2003.

WASSERMAN, D.E., **Human aspects of occupational vibration**. Elsevier Science Publishers B. V. USA. 1987.

WEI, L.; GRIFFIN, J. The Prediction of Seat Transmissibility from Measures of Seat Impedance, **Journal of Sound and Vibration**, 1998. <https://doi.org/10.1006/jsvi.1998.1540>.

WOOLF, A. D.; ERWIN, J. AND MARCH, L. The need to address the burden of musculoskeletal conditions. **Best Pract. Res. Clin. Rheumatol**. 26 (2). 183–224. 2012

WORLD SHIPPING, **the 50 main ports in the world**. 2022, Disponível em: <https://www.worldshipping.org/top-50-ports>. Acesso em: 01, dez, 2022

YANG, Z.; JAIS, I. S. M, CHEUNG, T. W. C., Which is the most ergonomic mop? A comparison of three domestic mopping systems, *Applied Ergonomics*, v. 100, 2022, 103669, ISSN 0003-6870, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103669>.

YAZDANIRAD, S., POURTAGHI, P., RAEI, M., GHASEMI, M., Developing and validating the personal risk assessment of musculoskeletal disorders (PRAMUD) tool among workers of a steel foundry, **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 88, 2022, 103276, ISSN 0169-8141, <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2022.103276>.

YIN, W.; DING, J.; QIU, Y. Nonlinear Dynamic Modelling of a Suspension Seat for Predicting the Vertical Seat Transmissibility. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2021, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/3026108>

ZHAO, YULI; BI, FENGRONG; SHU, HONGLI; GUO, LINCHUAN; WANG, XU. Prediction of the driver's head acceleration and vibration isolation performance of the seating suspension system using the time and frequency domain modeling. **Applied Acoustics**, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108308>

**APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO - TCLE**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA - PPGEM**  
**CURSO DE MESTRADO E DOUTORADO**  
**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**  
(PARA MAIORES DE 18 ANOS OU EMANCIPADOS)

1. Convidamos o (a) Sr (a) \_\_\_\_\_ para participar como voluntário (a) da pesquisa de doutorado intitulada: “**Exposição Ocupacional à Vibração de Corpo Inteiro em Operadores de Máquinas Portuárias de Movimentação de Contêineres**” que está sob a responsabilidade do doutorando Ricardo Luís Alves da Silva (Rua Cristine Albert, 803, Casa 16, Aldeia, Camaragibe, PE, CEP 54783-170), e-mail: ricardoalves@recife.ifpe.edu.br, sob orientação dos Professores Kleber Gonsalves B. Alves (Fone: 81-21267137/21268230, e-mail [kleber.gbalves@ufpe.br](mailto:kleber.gbalves@ufpe.br), [klboncalves@gmail.com](mailto:klboncalves@gmail.com)) e Álvaro Antônio Ochoa Villa, (Fone: 81-999764266; email: [ochoaalvaro@recife.ifpe.edu.br](mailto:ochoaalvaro@recife.ifpe.edu.br)) e co-orientação do Prof. José Ângelo Peixoto da Costa (Fone: 81-995026472; e-mail: [angelocosta@recife.ifpe.edu.br](mailto:angelocosta@recife.ifpe.edu.br)).

Todas as suas dúvidas podem ser esclarecidas com o responsável por esta pesquisa. Apenas quando todos os esclarecimentos forem dados e você concorde com a realização do estudo, pedimos que rubriche as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma via lhe será entregue e a outra ficará com o pesquisador responsável. Você estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu, bem como será possível retirar o consentimento em qualquer fase da pesquisa, também sem nenhuma penalidade.

**INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:**

**Objetivo da pesquisa:** Realizar um estudo da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro (VCI), utilizando simulação computacional, nos operadores de máquinas portuárias de movimentação de contêineres para identificação de possíveis indicadores de ultrapassagem ou não dos limites de exposição estabelecidos e desenvolvimentos de sintomas músculo esqueléticos na região da coluna vertebral, auxiliando a tomada de ações preventivas ainda na fase de projetos desses equipamentos.

**Esclarecimento do período de participação do voluntário na pesquisa (início, término e número de visitas para a pesquisa):** Sua participação ocorrerá em 2 visitas, com duração de aproximadamente 2 horas, onde será submetido a avaliação por meio de entrevista **onde será respondido um formulário contendo 15 questões**, observações, **medição de ângulo de articulações com goniômetro e registro**

fotográfico do seus movimentos e posturas nas atividades de trabalho e colocação do vibrômetro para avaliação de vibração.

**Riscos:** As instruções e questionamentos serão feitos de forma simples e com linguagem acessível, mas não podemos descartar a possibilidade de algum voluntário não ter compreendido. Os riscos de incômodo, constrangimento ou insegurança serão minimizados pela cautela e realização das avaliações de forma reservada, sem a presença de outras pessoas que não os profissionais registrados na pesquisa, havendo a manutenção do sigilo. Todos os participantes receberão o retorno dessas avaliações. Os responsáveis legais pelas instituições e profissionais envolvidos na pesquisa serão informados sobre todos resultados encontrados.

**Benefícios:** O conhecimento produzido com a pesquisa contribuirão no desenvolvimento de máquinas com postos de trabalhados mais confortáveis do ponto de vista da exposição a vibração de corpo inteiro e posturas, gerando melhores condições de trabalho, bem como resultados mais satisfatórios às empresas.

OBS: Todas as informações desta pesquisa são confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados na pesquisa serão impressos e armazenados em pastas de arquivo e no computador pessoal sob responsabilidade do pesquisador Ricardo Luís Alves da Silva, pelo período mínimo de cinco anos. Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extra-judicial. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte e alimentação).

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE no endereço: Avenida da Engenharia s/n – 1º Andar, sala 4 - Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-600, Tel.: (81) 2126.8588 – e-mail: [cepccs@ufpe.br](mailto:cepccs@ufpe.br).

---

(assinatura do pesquisador)

#### **CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)**

Eu, \_\_\_\_\_, CPF \_\_\_\_\_, abaixo assinado, após a leitura (ou a escuta da leitura) deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar do estudo "**Exposição Ocupacional à Vibração de Corpo Inteiro em Operadores de Máquinas Portuárias de Movimentação de Contêineres**", como voluntário (a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo(a) pesquisador (a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os

possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Local e data \_\_\_\_\_

Assinatura do participante: \_\_\_\_\_

**Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e o aceite do voluntário em participar. (02 testemunhas não ligadas à equipe de pesquisadores):**

Nome:	Nome:
Assinatura:	Assinatura:

## APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO DE SINTOMAS MÚSCULO-ESQUELÉTICOS – ADAPTADO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA - PPGEM  
CURSO DE MESTRADO E DOUTORADO  
**QUESTIONÁRIO DE SINTOMAS MÚSCULO-ESQUELÉTICOS – ADAPTADO**

Prezado(a), você está sendo convidado a participar da pesquisa: "**Exposição Ocupacional à Vibração de Corpo Inteiro em Operadores de Máquinas Portuárias de Movimentação de Contêineres**", da Universidade Federal de Pernambuco, sob responsabilidade do pesquisador Ricardo Luís Alves da Silva (UFPE).

Esta entrevista tem por objetivo de verificar queixas de sintomas musculoesqueléticos na região da coluna e ombros. Ao participar, você estará colaborando com a pesquisa em nível de doutorado. No entanto, solicitamos que, antes de iniciar o preenchimento, leia com atenção o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido que está sendo entregue junto a esta entrevista.

Caso já tenha lido e assinado o termo, por gentileza, responda as questões a seguir. Agradecemos antecipadamente sua colaboração.

FUNÇÃO: \_\_\_\_\_

- 1). Qual sua idade? R. \_\_\_\_\_
- 2). Qual o seu gênero? Masculino: \_\_\_\_ ; Feminino: \_\_\_\_
- 3). Qual a sua altura em centímetros? R. \_\_\_\_\_
- 4). Qual seu peso em quilos? R. \_\_\_\_\_
- 5). Qual sua lateralidade? Destro: \_\_\_\_; Canhoto: \_\_\_\_; Ambidestro: \_\_\_\_
- 6). Você pratica atividade física regular? Sim: \_\_\_\_; Não: \_\_\_\_
- 7). Você fuma? Sim: \_\_\_\_; Não: \_\_\_\_
- 8). Você consome bebidas alcoólicas? Sim: \_\_\_\_; Não: \_\_\_\_
- 9). Quais as máquinas portuárias que predominantemente foi operada por você nos últimos 12 meses? Portainer: \_\_\_\_; Tractor: \_\_\_\_ .....
- 10). Como você descreve a qualidade da superfície maioria das pistas utilizadas para as operações dos últimos 12 meses? Boa (Manutenção frequente): \_\_\_\_; Ruim (Manutenção precária): \_\_\_\_

NÃO – INDICA CONFORTO, SAÚDE; SIM – SIGNIFICA DESCONFORTO, DOR. (para itens 11 e 12)

11) Nos últimos 12 meses você sentiu algum desconforto ou dor?

Região do Corpo	SIM	NÃO		
1- Pescoço				

2- Ombros			DIREITO <input type="checkbox"/>	ESQUERDO <input type="checkbox"/>
3- Punhos e mãos			DIREITO <input type="checkbox"/>	ESQUERDO <input type="checkbox"/>
4 - Joelhos			DIREITO <input type="checkbox"/>	ESQUERDO <input type="checkbox"/>
5 -Coluna Lombar				
6- Coluna Dorsal				
7-Coluna Cervical				
8- Quadril/coxas				

12) Nos últimos 12 meses você teve que realizar algum tipo de tratamento para aliviar o desconforto ou dor? Ex. tratamento médico, fisioterápico, fitoterápico, etc.

Região do Corpo	SIM	NÃO		
1- Pescoço				
2- Ombros			DIREITO <input type="checkbox"/>	ESQUERDO <input type="checkbox"/>
3- Punhos e mãos			DIREITO <input type="checkbox"/>	ESQUERDO <input type="checkbox"/>
4 - Joelhos			DIREITO <input type="checkbox"/>	ESQUERDO <input type="checkbox"/>
5 -Coluna Lombar				
6- Coluna Dorsal				
7-Coluna Cervical				
8- Quadril/coxas				

13) Nos últimos 12 meses você teve que ficar afastado do trabalho em função de dores ou desconforto? Não:\_\_\_\_; Sim:\_\_\_\_: Quantos dias? \_\_\_\_

14) Suas dores, desconforto são anteriores à profissão de operador? Sim:\_\_\_\_; Não:\_\_\_\_;

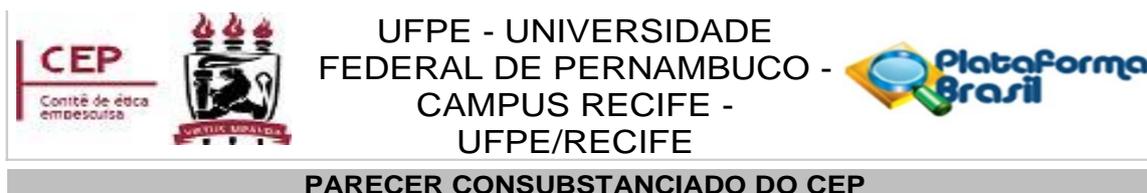
15) Você já sofreu algum acidente com lesões e/ou dores nas regiões da coluna?

Não:\_\_\_\_ Sim:\_\_\_\_; Quantos? \_\_\_\_



**ATENÇÃO:** O desenho ao lado representa uma posição aproximada das partes do corpo. Assinale as partes que mais se aproximam de seu problema.

## APÊNDICE C – PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP



### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** "SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO - VCI EM OPERADORES DE MÁQUINAS PORTUÁRIAS DE MOVIMENTAÇÃO DE CONTÊINERES"

**Pesquisador:** RICARDO LUIS ALVES DA SILVA

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 49553421.0.0000.5208

**Instituição Proponente:** CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIENCIAS

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 4.962.191

#### Apresentação do Projeto:

Projeto de pesquisa para tese de Doutorado a ser apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, orientado pelo Prof. Dr. Kleber Gonçalves B. Alves e o Prof. Dr. Álvaro Antônio Ochoa Villa, onde se pretende realizar um estudo da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro (VCI), utilizando simulação computacional, nos operadores de máquinas portuárias de movimentação de contêineres para identificação de possíveis indicadores de ultrapassagem ou não dos limites de exposição estabelecidos e desenvolvimentos de sintomas músculo esqueléticos na região da coluna vertebral, auxiliando a tomada de ações preventivas ainda na fase de projetos desses equipamentos. A simulação computacional de vibrações de corpo inteiro em guindastes portuários (portêiner) e tractor serão realizadas pelo método de elementos finitos utilizando o software ANSYS educacional e ao mesmo tempo serão realizadas medições reais de vibração de corpo inteiro - VCI nos operadores desses guindastes bem como avaliação ergonômica de postura visando validação das simulações com vistas a propor soluções de melhorias nesses equipamentos e consequentemente melhorar a saúde dos operadores. A coleta de dados ocorrerá no terminal de contêineres – TECON no porto de SUAPE. As visitas as áreas de produção serão semanais e a expectativa será analisar uma amostra calculada para o caso de pequenas amostras de uma população finita e conhecida, sendo o caso em estudo, que totaliza 87 operadores de Tractor e portêiner, podendo ser amostrados no mínimo

**Endereço:** Av. das Engenhasria, s/n, 1º andar, sala 4 - Prédio do Centro de Ciências da Saúde

**Bairro:** Cidade Universitária

**CEP:** 50.740-600

**UF:** PE

**Município:** RECIFE

**Telefone:** (81)2126-8588

**E-mail:** cephumanos.ufpe@ufpe.br



Continuação do Parecer: 4.962.191

5 operadores de portainer e 12 motoristas de Tractor. O levantamento dessas informações se dará através da aplicação de um questionário adaptado do “questionário nórdico de sistemas musculoesqueléticos”, a aplicação da análise postural utilizando o método REBA e a medição quantitativa de vibração ocupacional de corpo inteiro pelo método da NHO 09. Os instrumentos de coleta informados já possuem em seus métodos as formas de análise e tratamentos dos resultados. Espera-se como resultados da coleta de dados: Obter-se níveis de vibrações de corpo inteiro para comparação com os limites máximos estipulados pela legislação; Verificação das necessidades e urgências de correções nas posturas de trabalho; Validação do modelo computacional com vistas a otimizar os projetos de posto de trabalho.

#### **Objetivo da Pesquisa:**

**Objetivo Primário:** Realizar um estudo da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro (VCI), utilizando simulação computacional, nos operadores de máquinas portuárias de movimentação de contêineres para identificação de possíveis indicadores de ultrapassagem ou não dos limites de exposição estabelecidos e desenvolvimentos de sintomas músculo esqueléticos na região da coluna vertebral, auxiliando a tomada de ações preventivas ainda na fase de projetos desses equipamentos.

**Objetivo Secundário:** 1. Levantamento revisional bibliográfico com vistas à identificação do estado da arte; 2. Levantamento geral do quantitativo e informações básicas das máquinas de movimentação de contêineres do estabelecimento; 3. Aplicação de formulários para levantamento do perfil e queixas dos operadores das respectivas máquinas; 4. Realização de análise postural dos operadores no local; 5. Estabelecimento dos ciclos de trabalho de cada tipo de máquina e estratégia de amostragem; 6. Levantamento quantitativo por máquina dos níveis de VCI a qual os operadores estão expostos; 7. Desenvolvimento do Modelagem computacional 1D e 3D; 8. Validação do modelo computacional com dados experimentais e/ou da literatura; 9. Análise e tratamento dos dados.

#### **Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

**Riscos:** As instruções e questionamentos serão feitos de forma simples e com linguagem acessível, mas não podemos descartar a possibilidade de algum voluntário não ter compreendido. Os riscos de incômodo, constrangimento ou insegurança serão minimizados pela cautela e realização das avaliações de forma reservada, sem a presença de outras pessoas que não os profissionais

**Endereço:** Av. das Engenhasria, s/n, 1º andar, sala 4 - Prédio do Centro de Ciências da Saúde

**Bairro:** Cidade Universitária

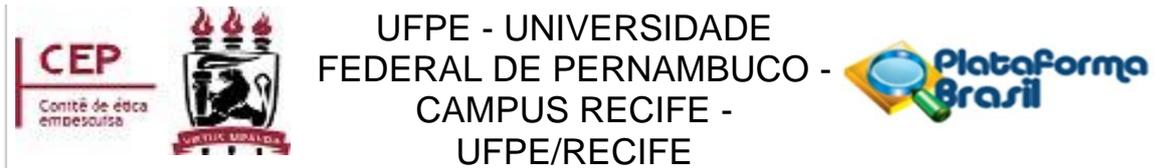
**CEP:** 50.740-600

**UF:** PE

**Município:** RECIFE

**Telefone:** (81)2126-8588

**E-mail:** cephumanos.ufpe@ufpe.br



Continuação do Parecer: 4.962.191

registrados na pesquisa, havendo a manutenção do sigilo. Todos os participantes receberão o retorno dessas avaliações. Os responsáveis legais pelas instituições e profissionais envolvidos na pesquisa serão informados sobre todos os resultados encontrados.

**Benefícios:** O conhecimento produzido com a pesquisa contribuirá no desenvolvimento de máquinas com postos de trabalhados mais confortáveis do ponto de vista da exposição a vibração de corpo inteiro e posturas, gerando melhores condições de trabalho, bem como resultados mais satisfatórios às empresas.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

A pesquisa pretende realizar simulação computacional de vibrações de corpo inteiro em guindastes portuários, devido à grande demanda de movimentação de cargas via marítima, as operações portuárias de carga e descarga de navios geralmente funcionam em turnos ininterruptos, fazendo com que seus operadores trabalhem por longos períodos sem pausa. Essas longas jornadas podem expor de forma perigosa operadores de máquinas de movimentação de contêineres a vibrações de corpo inteiro, podendo causar efeitos na saúde e principalmente sintomas musculoesqueléticos na região da coluna vertebral.

Portanto, após adequação das pendências, o projeto se apresenta a essa comissão de maneira satisfatória em relação aos termos, cronograma de execução, financiamento, TCE, folha de rosto, bem como, os dados informados na plataforma Brasil.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Termos apresentados de maneira satisfatória a este comitê.

**Recomendações:**

Não se aplica.

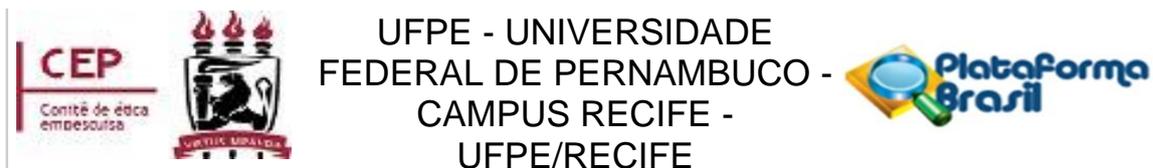
**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

aprovado.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

As exigências foram atendidas e o protocolo está APROVADO, sendo liberado para o início da coleta de dados. Informamos que a APROVAÇÃO DEFINITIVA do projeto só será dada após o envio do Relatório Final da pesquisa. O pesquisador deverá fazer o download do modelo de Relatório Final para enviá-lo via "Notificação", pela Plataforma Brasil. Siga as instruções do link "Para enviar

**Endereço:** Av. das Engenhasria, s/n, 1º andar, sala 4 - Prédio do Centro de Ciências da Saúde  
**Bairro:** Cidade Universitária **CEP:** 50.740-600  
**UF:** PE **Município:** RECIFE  
**Telefone:** (81)2126-8588 **E-mail:** cephumanos.ufpe@ufpe.br



Continuação do Parecer: 4.962.191

Relatório Final”, disponível no site do CEP/CCS/UFPE. Após apreciação desse relatório, o CEP emitirá novo Parecer Consubstanciado definitivo pelo sistema Plataforma Brasil.

Informamos, ainda, que o (a) pesquisador (a) deve desenvolver a pesquisa conforme delineada neste protocolo aprovado, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao voluntário participante (item V.3., da Resolução CNS/MS Nº 466/12).

Eventuais modificações nesta pesquisa devem ser solicitadas através de EMENDA ao projeto, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas.

Para projetos com mais de um ano de execução, é obrigatório que o pesquisador responsável pelo Protocolo de Pesquisa apresente a este Comitê de Ética relatórios parciais das atividades desenvolvidas no período de 12 meses a contar da data de sua aprovação (item X.1.3.b., da Resolução CNS/MS Nº 466/12). O CEP/CCS/UFPE deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (item V.5., da Resolução CNS/MS Nº 466/12). É papel do/a pesquisador/a assegurar todas as medidas imediatas e adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e ainda, enviar notificação à ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, junto com seu posicionamento.

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BASICAS_DO_PROJETO_1568847.pdf	26/08/2021 23:17:02		Aceito
Outros	CARTA_DE_RESPOSTA.pdf	26/08/2021 23:16:13	RICARDO LUIS ALVES DA SILVA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETO_ETICA_3.pdf	26/08/2021 23:14:39	RICARDO LUIS ALVES DA SILVA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_3.pdf	26/08/2021 23:13:41	RICARDO LUIS ALVES DA SILVA	Aceito
Folha de Rosto	folha_rosto3.pdf	26/08/2021 23:12:58	RICARDO LUIS ALVES DA SILVA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETO_ETICA_2.pdf	13/07/2021 17:19:17	RICARDO LUIS ALVES DA SILVA	Aceito

**Endereço:** Av. das Engenhasria, s/n, 1º andar, sala 4 - Prédio do Centro de Ciências da Saúde

**Bairro:** Cidade Universitária

**CEP:** 50.740-600

**UF:** PE

**Município:** RECIFE

**Telefone:** (81)2126-8588

**E-mail:** cephumanos.ufpe@ufpe.br



Continuação do Parecer: 4.962.191

TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE2.pdf	13/07/2021 17:13:45	RICARDO LUIS ALVES DA SILVA	Aceito
Outros	matricula.pdf	01/07/2021 10:33:14	RICARDO LUIS ALVES DA SILVA	Aceito
Outros	declaracao_vinculo.pdf	01/07/2021 10:32:55	RICARDO LUIS ALVES DA SILVA	Aceito
Outros	Alvaro_lattes.pdf	01/07/2021 10:27:34	RICARDO LUIS ALVES DA SILVA	Aceito
Outros	Kleber_Lattes.pdf	01/07/2021 10:27:05	RICARDO LUIS ALVES DA SILVA	Aceito
Outros	Lattes_angelo.pdf	01/07/2021 10:26:14	RICARDO LUIS ALVES DA SILVA	Aceito
Outros	Ricardo_lattes.pdf	01/07/2021 10:25:42	RICARDO LUIS ALVES DA SILVA	Aceito
Outros	termo_confidencialidade.pdf	01/07/2021 10:20:47	RICARDO LUIS ALVES DA SILVA	Aceito
Outros	TERMO_DE_ANUENCIA.pdf	01/07/2021 10:19:28	RICARDO LUIS ALVES DA SILVA	Aceito

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

RECIFE, 10 de Setembro de 2021

Assinado por:  
LUCIANO TAVARES MONTENEGRO  
(Coordenador(a))

**Endereço:** Av. das Engenhasria, s/n, 1º andar, sala 4 - Prédio do Centro de Ciências da Saúde  
**Bairro:** Cidade Universitária **CEP:** 50.740-600  
**UF:** PE **Município:** RECIFE  
**Telefone:** (81)2126-8588 **E-mail:** cephumanos.ufpe@ufpe.br

## APÊNDICE D – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

**CHROMPACK**  
Instrumentos Científicos Ltda.

Desde 1996



RBC - Rede Brasileira de Calibração

# Certificado de Calibração

Certificate of Calibration

Certificado N<sup>o</sup>: 122.201

Página 1 de 7

## Laboratório de Vibração

**Dados do Cliente :**

Nome: Smart Consultores Associados Eireli - EPP  
Endereço: Rua Irene Ramos Gomes de Mattos, 97  
Cidade: Recife  
Estado: PE  
CEP: 51011-530

**Dados do Instrumento Calibrado :**

Nome:	Medidor de Vibração	Modelo:	WBA 001	7133AM2
Fabricante:	01 dB	Marca:	01 dB	01 dB
Modelo:	Vib 008	N <sup>o</sup> de Série:	20516	A158551
N <sup>o</sup> de Série:	10823	Tipo:	Corpo Inteiro	Mãos e Braços
N <sup>o</sup> de Identificação:	Não consta	Sensibilidade Nominal:	115 mV/g	10 mV/g
Processo:	44898	Data da Calibração:	05/02/21	Data da Emissão: 05/02/21



**Procedimento Utilizado:**

PRO.MV.8041\_rev03

**Normas de Referência:**

ISO 8041-1: 2005; ISO 2631-1:1997 e ISO 5349-1:2001

**Padrões Utilizados:**

Nome	N <sup>o</sup> Identificação	N <sup>o</sup> Certificado	Rastreabilidade	Data de Validade
Acelerômetro-Referência	TAG 0471	CAL30-3637158601.770+0	A2LA	03/04/21
Torquímetro	TAG 0446	M00757-18	RBC	01/02/22
Condicionar Amplificador	TAG 0410	LIT09-LIT00-CC-11486	RBC	22/04/21
Gerador de Funções	TAG 0442	RBC-19/0412	RBC	24/06/22
Multímetro	TAG 0443	RBC-19/0408	RBC	18/06/22
Multímetro	TAG 0444	RBC-19/0409	RBC	18/06/22
Barômetro	TAG 0315	CAL-175876/19	RBC	13/02/21
Termo-Higrômetro	TAG 0315(2)	106.836	RBC	16/02/21

LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO ACREDITADO PELA CGCRE DE ACORDO COM A ABNT NBR ISO/IEC 17025 SOB O NÚMERO 256

A Cgcre é signatária do Acordo de Reconhecimento Mútuo da ILAC – Cooperação Internacional de Acreditação de Laboratórios. A Cgcre é signatária do Acordo de Reconhecimento Mútuo da IAAC – Cooperação Interamericana de Acreditação. O ajuste ou reparo quando realizado não faz parte do escopo de acreditação do laboratório. Este certificado atende aos requisitos de acreditação pela CGCRE que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida (ou ao Sistema Internacional de Unidades – SI). O certificado de calibração poderá ser reproduzido desde que seja legível, na forma integral e sem nenhuma alteração. Os resultados apresentados neste certificado aplicam-se somente ao item calibrado e não se estendem aos instrumentos de mesma marca, modelo ou lote de fabricação. A incerteza expandida de medição declarada (U95,45) foi estimada para um nível de confiança de 95,45%. Este cálculo da incerteza é baseado no fator de abrangência (k) obtido através dos graus de liberdade efetivo (ueff) e tabela t-student.

Cgcre is signatory of the ILAC - International Laboratory Accreditation Cooperation Mutual Recognition Arrangement. Cgcre is signatory of the IAAC - Interamerican Accreditation Cooperation Mutual Recognition Arrangement. The adjustment or repair when performed isn't part of the accredited scope by laboratory. This certificate meeting the CGCRE requirements who evaluated the laboratory capacity and verified the traceability to national standards of measure (or to International System of Units SI). The certificate of calibration can be reproduced since be legible, in integral form and without changes. The results presented in this certificate are applied just to item calibrated and not extend to instruments of same brand, model or manufactured lot. The reported expanded uncertainty of measurement (U95, 45) was estimated for a confidence level of 95.45%. This uncertainty calculation is based on the coverage factor (k) obtained through the effective degrees of freedom (ueff) and t-student table.

Av. Eng<sup>o</sup> Saraiva de Oliveira, 465 - 05741-200 - Jd. Taboão - São Paulo - SP - Brasil

Fone: 55 11 3384-9320 - www.chrompack.com.br



# Certificado de Calibração

Certificado N°: 122.201

Certificate of Calibration

Página 2 de 7

**Resultado da Calibração:**

Calibração Mecânica - Indicação na frequência de referência sob condições de referência - (ISO 8041 - Item 13.7)

Valor de Referência ponderado BL antes do ajuste - [ms-2]: @15,915 Hz

Eixo	aref. [ms-2]	ateste [ms-2]
X	10,01	9,99
Y	10,01	9,86
Z	10,02	9,86

Valor de Referência ponderado BL depois do ajuste - [ms-2]: @15,915 Hz

Eixo	aref. [ms-2]	ateste [ms-2]
X	10,01	9,99
Y	10,01	10,02
Z	10,02	9,99

## Vibração de corpo inteiro @15,915 Hz

Eixo	Ponderação	aref. [ms-2]	ateste [ms-2]	Erro (%)	Tolerância	U95,45 (%)
X	WdBL	10,01	9,99	0,3%	4,0%	2%
Y	WdBL	10,01	10,02	0,1%	4,0%	2%
Z	WkBL	10,02	9,99	0,2%	4,0%	2%

Valor de Referência ponderado BL antes do ajuste - [ms-2]: @79,58Hz

Eixo	aref. [ms-2]	ateste [ms-2]
X	10,02	10,71
Y	10,02	9,56
Z	10,00	9,47

Valor de Referência ponderado BL depois do ajuste - [ms-2]: @79,58Hz

Eixo	aref. [ms-2]	ateste [ms-2]
X	10,02	10,01
Y	10,02	9,98
Z	10,00	9,97

## Vibração de mãos e braços @79,58 Hz

Eixo	Ponderação	aref. [ms-2]	ateste [ms-2]	Erro (%)	Tolerância	U95,45 (%)
X	WhBL	10,02	10,00	0,1%	4,0%	2%
Y	WhBL	10,02	9,98	0,4%	4,0%	2%
Z	WhBL	10,00	9,97	0,3%	4,0%	2%

aref. [ms-2] = aceleração de referência

ateste [ms-2] = aceleração sobre teste

# Certificado de Calibração

Certificado N°: 122.201

Certificate of Calibration

Página 3 de 7

**Resultado da Calibração:**

Calibração Mecânica - Resposta em frequência mãos e braços - (ISO 8041 - Item 13.10)

Freq. [Hz]	Média Ref. Eixo X [ms-2]	Média sob teste Eixo X [ms-2]	Δ % Eixo X	Média Ref. Eixo Y [ms-2]	Média sob teste Eixo Y [ms-2]	Δ % Eixo Y	Média Ref. Eixo Z [ms-2]	Média sob teste Eixo Z [ms-2]	Δ % Eixo Z	TL (+) (%)	TL (-) (%)
10,00	3,55	3,48	-2,0%	3,55	3,52	-0,8%	3,55	3,31	-7,3%	12	-11
12,59	4,85	4,80	-1,2%	4,85	4,83	-0,4%	4,85	4,58	-5,9%	12	-11
15,85	6,18	6,15	-0,5%	6,18	6,14	-0,7%	6,18	5,92	-4,4%	12	-11
19,95	7,05	7,02	-0,4%	7,05	7,02	-0,5%	7,05	6,82	-3,4%	12	-11
25,12	7,40	7,44	0,5%	7,40	7,41	0,1%	7,40	7,27	-1,8%	12	-11
31,62	7,33	7,39	0,9%	7,33	7,35	0,3%	7,33	7,26	-1,0%	12	-11
39,81	6,90	6,89	-0,1%	6,90	6,85	-0,6%	6,90	6,80	-1,4%	12	-11
50,12	6,06	6,09	0,5%	6,06	6,07	0,3%	6,06	6,06	0,0%	12	-11
63,10	5,04	5,08	0,6%	5,04	5,05	0,0%	5,04	5,05	0,0%	12	-11
79,43	3,99	4,00	0,2%	3,99	3,99	-0,1%	3,99	3,99	0,1%	12	-11
100,00	3,04	3,06	0,7%	3,04	3,04	0,2%	3,04	3,05	0,3%	12	-11
125,90	2,27	2,30	1,2%	2,27	2,29	1,1%	2,27	2,30	1,2%	12	-11
158,50	1,72	1,72	0,1%	1,72	1,71	-0,5%	1,72	1,72	0,1%	12	-11
199,50	1,26	1,27	0,5%	1,26	1,26	-0,3%	1,26	1,27	0,5%	12	-11
251,20	0,92	0,93	1,1%	0,92	0,93	0,7%	0,92	0,94	1,8%	12	-11
316,20	0,69	0,70	1,6%	0,69	0,70	1,6%	0,69	0,70	1,6%	12	-11
398,10	0,50	0,51	0,4%	0,50	0,51	1,7%	0,50	0,51	0,4%	12	-11
501,20	0,38	0,40	3,4%	0,38	0,40	3,4%	0,38	0,40	3,3%	12	-11
631,00	0,29	0,31	4,6%	0,29	0,31	6,9%	0,29	0,31	4,4%	12	-11
794,30	0,21	0,22	5,0%	0,21	0,23	9,7%	0,21	0,23	6,1%	12	-11
1000,00	0,15	0,16	9,7%	0,15	0,16	9,7%	0,15	0,16	8,8%	12	-11

Eixos	X	Y	Z
Ponderação	Wh	Wh	Wh
U95,45 (%)	2%	2%	2%

Δ % = É a diferença em (%) da aceleração de referência e a aceleração sobre teste.

TL = Tolerância em (%)

# Certificado de Calibração

Certificado N°: 122.201

Certificate of Calibration

Página 4 de 7

**Resultado da Calibração:**

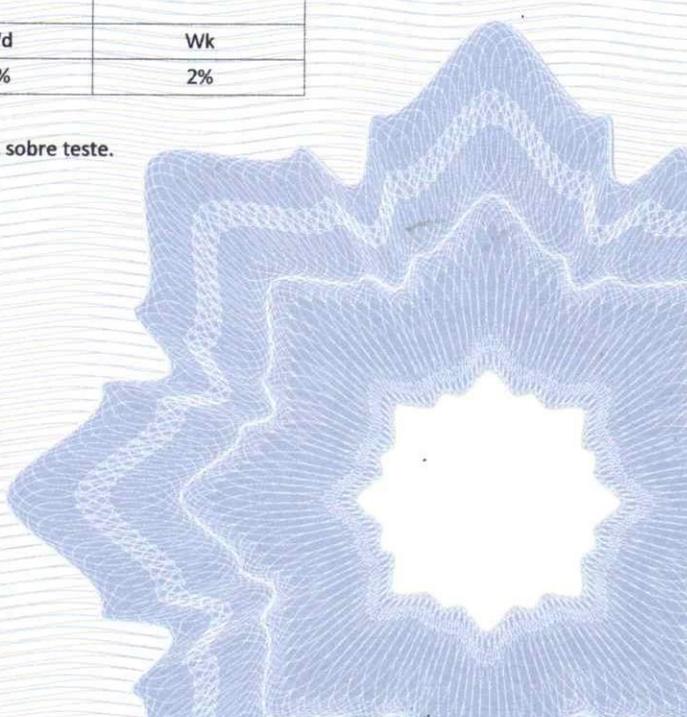
Calibração Mecânica - Resposta em frequência de corpo inteiro - (ISO 8041 - Item 13.10)

Freq. [Hz]	Média Ref. Eixo X [ms-2]	Média sob teste Eixo X [ms-2]	Δ % Eixo X	Média Ref. Eixo Y [ms-2]	Média sob teste Eixo Y [ms-2]	Δ % Eixo Y	Média Ref. Eixo Z [ms-2]	Média sob teste Eixo Z [ms-2]	Δ % Eixo Z	TL (+) (%)	TL (-) (%)
10,00	2,21	2,05	-7,3%	2,21	2,10	-5,3%	10,85	10,43	-3,9%	12	-11
12,59	2,39	2,31	-3,3%	2,39	2,35	-1,9%	13,46	13,22	-1,8%	12	-11
15,85	2,55	2,49	-2,5%	2,55	2,52	-1,3%	15,59	15,45	-0,9%	12	-11
19,95	2,56	2,52	-1,3%	2,56	2,55	-0,2%	16,23	16,16	-0,5%	12	-11
25,12	2,44	2,41	-1,1%	2,44	2,47	1,4%	15,64	15,72	0,5%	12	-11
31,62	2,22	2,18	-1,8%	2,22	2,27	2,3%	14,22	14,34	0,8%	12	-11
39,81	1,91	1,86	-3,0%	1,91	1,93	1,0%	12,18	12,14	-0,3%	12	-11
50,12	1,54	1,50	-2,7%	1,54	1,57	1,8%	9,74	9,70	-0,4%	12	-11
63,10	1,18	1,19	0,1%	1,18	1,19	0,7%	7,47	7,63	2,1%	12	-11
79,43	0,82	0,80	-2,4%	0,82	0,82	0,0%	5,17	5,18	0,2%	26	-21
100,00	0,51	0,49	-2,7%	0,51	0,52	3,2%	3,18	3,27	2,9%	26	-21
125,90	0,29	0,29	0,0%	0,29	0,30	3,5%	1,80	1,87	4,3%	26	-21
158,50	0,15	0,15	1,6%	0,15	0,15	1,6%	0,94	0,93	-1,2%	26	-100

Eixos	X	Y	Z
Ponderação	Wd	Wd	Wk
U95,45 (%)	2%	2%	2%

Δ % = É a diferença em (%) da aceleração de referência e a aceleração sobre teste.

TL = Tolerância em (%)



# Certificado de Calibração

Certificado Nº: 122.201

Certificate of Calibration

Página 5 de 7

**Resultado da Calibração:**

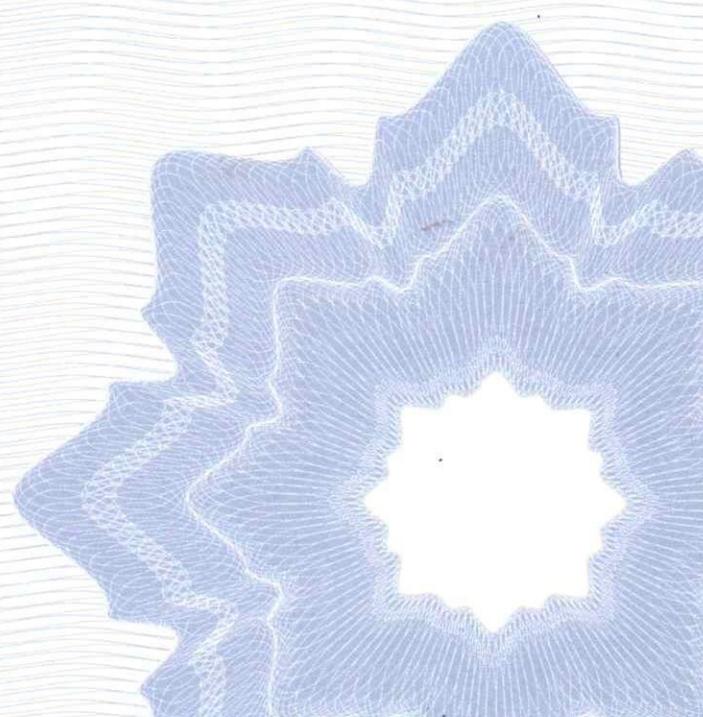
Calibração Mecânica - Linearidade da amplitude e indicação de nível baixo corpo inteiro (under range) (ISO 8041 - Item 13.9)

Média Ref. Eixo X [ms-2]	Média sob teste Eixo X [ms-2]	Δ % Eixo X	Média Ref. Eixo Y [ms-2]	Média sob teste Eixo Y [ms-2]	Δ % Eixo Y	Média Ref. Eixo Z [ms-2]	Média sob teste Eixo Z [ms-2]	Δ % Eixo Z	TL (+/-%)
0,48	0,46	-4,0%	0,48	0,46	-4,0%	0,48	0,48	-0,3%	6
0,98	0,95	-3,0%	0,98	1,00	2,1%	0,98	0,98	0,1%	6
2,49	2,45	-1,6%	2,49	2,48	-0,2%	2,49	2,53	1,5%	6
2,98	2,92	-2,2%	2,98	3,00	0,8%	2,98	3,00	0,7%	6
4,94	4,91	-0,7%	4,94	4,92	-0,5%	4,94	4,98	0,8%	6

Sensibilidade mV/g	Eixos		
	X	Y	Z
Ponderação	WdBL	WdBL	WkBL
U95,45 (%)	2%	2%	2%

Δ % = É a diferença em (%) da aceleração de referência e a aceleração sobre teste.

TL = Tolerância em (%)





# Certificado de Calibração

Certificado Nº: 122.201

Certificate of Calibration

Página 6 de 7

**Resultado da Calibração:**

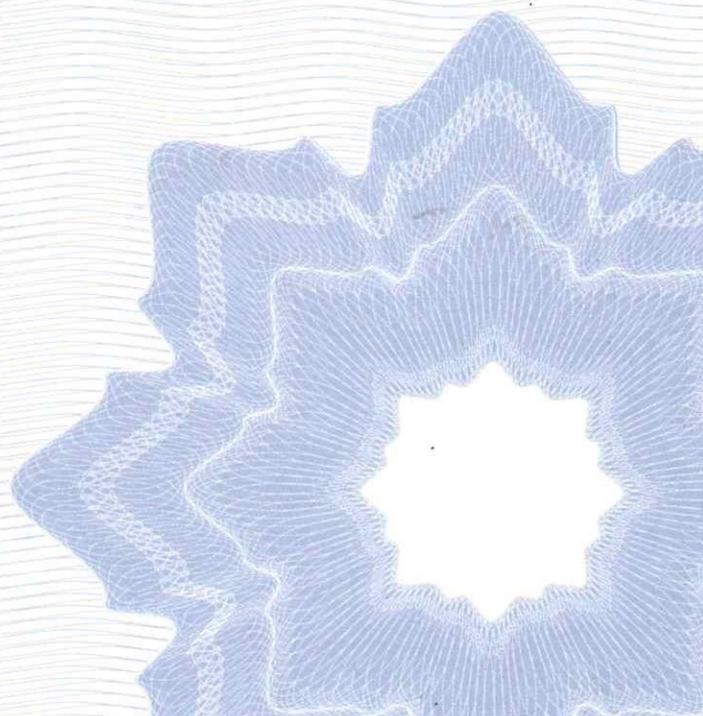
Calibração Mecânica - Linearidade da amplitude e indicação de nível baixo mãos e braços (under range) (ISO 8041 - Item 13.9)

Média Ref. Eixo X [ms <sup>-2</sup> ]	Média sob teste Eixo X [ms <sup>-2</sup> ]	$\Delta$ % Eixo X	Média Ref. Eixo Y [ms <sup>-2</sup> ]	Média sob teste Eixo Y [ms <sup>-2</sup> ]	$\Delta$ % Eixo Y	Média Ref. Eixo Z [ms <sup>-2</sup> ]	Média sob teste Eixo Z [ms <sup>-2</sup> ]	$\Delta$ % Eixo Z	TL (+/-%)
1,96	1,98	0,9%	1,96	1,97	0,4%	1,96	1,93	-1,6%	6
4,95	4,96	0,1%	4,95	4,94	-0,4%	4,95	4,96	0,2%	6
10,01	10,02	0,1%	10,01	9,99	-0,2%	10,01	10,00	-0,1%	6
14,91	14,97	0,4%	14,91	14,88	-0,2%	14,91	14,85	-0,4%	6
19,82	19,88	0,3%	19,82	19,75	-0,4%	19,82	19,80	-0,1%	6

Sensibilidade mV/g	Eixos		
	X	Y	Z
Ponderação	WhBL	WhBL	WhBL
U95,45 (%)	2%	2%	2%

 $\Delta$  % = É a diferença em (%) da aceleração de referência e a aceleração sobre teste.

TL = Tolerância em (%)





# Certificado de Calibração

Certificado N°:122.201

Certificate of Calibration

Página 7 de 7

Procedimento de Calibração:

Calibração realizada através de inserção de sinais elétricos normalizados. O procedimento utilizado baseia-se na norma ISO 8041-1: 2005/2017 "Human response to vibration - Measuring instrumentation - Part 1: General purpose vibration meters"; ISO 2631-1:1997 " Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements"; ISO 5349-1:2001 "Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements". A incerteza expandida de medição declarada (U95) foi estimada para um nível de confiança de 95,45%. Este cálculo da incerteza é baseado no fator de abrangência (k=2) obtido através dos graus de liberdade efetivo (ueff) e tabela t-student.

Observações:

- Condições Ambientais: (ISO 8041 - Item 13.2):
  - Temperatura: 25 °C
  - Umidade Relativa: 54 %
  - Pressão Atmosférica: 922 mbar
- Anotação de Responsabilidade Técnica – ART 28027230200540653 / CREA-SP.

Responsável pela calibração  
e Signatário autorizado



Rafael Silva