FELIPE BAFFI DE CARVALHO

**ESTUDO DA VIBRAÇÃO OCUPACIONAL DE CORPO INTEIRO
EM PEDREIRAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO
PAULO**

São Paulo

2019

FELIPE BAFFI DE CARVALHO

**ESTUDO DA VIBRAÇÃO OCUPACIONAL DE CORPO INTEIRO
EM PEDREIRAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO
PAULO**

Dissertação apresentada ao departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

São Paulo

2019

FELIPE BAFFI DE CARVALHO

**ESTUDO DA VIBRAÇÃO OCUPACIONAL DE CORPO INTEIRO
EM PEDREIRAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO
PAULO**

Dissertação apresentada ao departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Engenharia Mineral
Orientador: Prof. Dr. Wilson Siguemasa Iramina

São Paulo
2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 26 de junho de 2019

Assinatura do autor

Assinatura do orientador

Catálogo-na-publicação

Carvalho, Felipe

ESTUDO DA VIBRAÇÃO OCUPACIONAL DE CORPO INTEIRO EM
PEDREIRAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO / F. Carvalho --
São Paulo, 2019.
122 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo.

1.mineração 2.vibração ocupacional 3.vibração de corpo inteiro
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia de Minas e Petróleo II.t.

Dedico este trabalho à minha esposa
Carla Borges Almeida por sempre
estar ao meu lado e ser meu porto
seguro durante minha jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado condições de ter chegado até esse momento de minha trajetória. Agradeço meus pais e irmão, por sua companhia e parceria.

Agradeço aos responsáveis técnicos das pedreiras estudadas por abrirem gentilmente a porta de seus locais de trabalho para que este estudo pudesse ser realizado.

Agradeço aos professores Sérgio Medici, Wilson Iramina, Michiel Wichers e Irlon Ângelo da Cunha pela transmissão de seus valiosos conhecimentos.

Finalmente, agradeço a Doutora Maria Renata Machado Stellan pela constante parceria e amizade.

"I only hope that we don't lose sight of one thing - that it was all started by a mouse."

Walt Disney

RESUMO

O setor de mineração registrou de 2011 até 2013 o maior número de acidentes entre as indústrias extrativas, evidenciando a relevância da preocupação com os controles dos riscos e doenças ocupacionais. Atividades intrínsecas do setor, como perfuração manual, transporte de minério e estéril com caminhões ou carregadeiras, locomoção com veículos dentro do *site*, manutenção e amostragem com o uso de serras circulares, entre outros, são caracterizadas por presença e alta intensidade de vibração. O objetivo do trabalho consiste em avaliar a exposição ocupacional à vibração de corpo inteiro em operadores de equipamentos frequentes em minerações a céu aberto, além de comparar os resultados obtidos com a legislação brasileira vigente e apresentar sugestões para a redução dos valores de vibração de corpo inteiro (VCI) encontrados. O autor pesquisou artigos sobre vibração de corpo inteiro na mineração e em outros setores, números de casos de doenças ocupacionais associadas ao agente em território nacional, tipos de assento disponíveis no mercado e legislações nacionais e internacionais europeias e norte-americanas. Foram visitadas três pedreiras na região metropolitana de São Paulo, onde realizaram-se avaliações preliminares da exposição seguidas de levantamento quantitativo de parâmetros *aren* (aceleração resultante da exposição normalizada) e VDVR (valor dose de vibração resultante). Ao todo, foram analisados 22 equipamentos envolvendo caminhões fora-de-estrada, escavadeiras, pás-carregadeiras, perfuratrizes, rompedores pneumáticos e caminhões pipa. Os equipamentos estudados em sua maioria ficaram acima do nível de ação estabelecido pela NHO-09 (norma de higiene ocupacional) e alguns acima do limite de exposição. Os equipamentos com os maiores índices de Vibração de Corpo Inteiro encontrados foram as pás-carregadeiras e os menores, perfuratrizes.

Palavras-Chave: vibração ocupacional, mineração, vibração de corpo inteiro

ABSTRACT

The mining sector registered the greatest number of accidents among the extractive industries from 2011 to 2013, highlighting the relevance of the concern with occupational risks and diseases control. Intrinsic activities of it such as manual drilling, ore and / or waste transportation with truck or loaders, locomotion with vehicles inside the mine site, maintenance and sampling with the use of circular saws are characterized by presence and high intensity of vibration. The objective of this study is to evaluate the whole-body vibration in common open pit machinery operators, comparing values obtained with current Brazilian legislation and to suggest improvements to reduce whole-body vibration (WBV) in the studied sites. The author researched articles on whole body vibration in and out of mining, numbers of occupational diseases associated with the agent in the national territory, types of seats available in the market and international laws in Europe and the United States. Three quarries were visited in the metropolitan region of São Paulo, where preliminary exposure assessments were performed followed by a quantitative survey of aren factors (acceleration resulting from normalized exposure) and VDVR (resulting dose of vibration). Altogether, it was analyzed 22 equipment involving off-road trucks, excavators, shovel loaders, drills, breakers and water trucks. Most of the equipment studied was above the action level established by the NHO-09 (occupational hygiene standard) and some even above the exposure limit. The equipment with the highest indexes of Whole-Body Vibration found were the loader and the lowest, drills.

Key words: occupational vibration, mining, whole body vibration

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização de pedreiras situadas no entorno da região metropolitana de São Paulo.....	24
Figura 2 - Fluxograma de um ciclo produtivo em uma pedreira	24
Figura 3 - Dez doenças mais recorrentes no Brasil de 2004 a 2013.....	29
Figura 4 - Parâmetros para expressar a vibração	30
Figura 5 - Modelo mecânico do corpo humano	31
Figura 6 - Curva de ponderação em frequência para vibração transmitida a mãos e braços	33
Figura 7- Curvas de ponderação em frequência para vibração transmitida ao corpo inteiro.....	33
Figura 8 - Eixos ortogonais para VCI	36
Figura 9 - Regiões de precaução	43
Figura 10 – Guia dos percentis da diretriz europeia.....	46
Figura 11 - Níveis de aceleração resultante da diretriz europeia.....	47
Figura 12 - TLV e níveis de ação na ACGIH	48
Figura 13 - Critério de julgamento e tomada de decisão.....	50
Figura 14 - Desenvolvimento de assentos	55
Figura 15 - Pedreira “A”	56
Figura 16 - Pedreira “B”	58
Figura 17 - Pedreira “C”	59
Figura 18 - Medidor de vibração VCI.....	61

Figura 19 - Rompedor da Pedreira A	66
Figura 20 - Caminhão sendo carregado por uma escavadeira.....	66
Figura 21 - Assento de um dos caminhões estudados.....	67
Figura 22 – Estado de conservação das vias.....	69
Figura 23 - Almofada no assento de um operador	69
Figura 24 - Gráfico da aceleração do caminhão 1 / Pedreira A.....	71
Figura 25 - Gráfico da aceleração do caminhão 2 / Pedreira A.....	72
Figura 26 - Gráfico da aceleração do rompedor / Pedreira A.....	74
Figura 27 - Gráfico da aceleração da escavadeira / Pedreira A.....	75
Figura 28 - Gráfico da aceleração da pá-carregadeira 1 / Pedreira A.....	76
Figura 29 - Gráfico da aceleração da pá-carregadeira 2 / Pedreira A.....	77
Figura 30 - Gráfico da aceleração do caminhão pipa / Pedreira A.....	79
Figura 31 - Perfuratriz da Pedreira A.....	80
Figura 32 - Gráfico da aceleração da perfuratriz / Pedreira A	81
Figura 33 - Resultados Pedreira A – aren	83
Figura 34 - Resultados Pedreira A – VDVR	83
Figura 35 - Assento de um dos caminhões estudados.....	85
Figura 36 - Conservação das vias.....	86
Figura 37 - Gráfico da aceleração do caminhão 1 / Pedreira B.....	88
Figura 38 - Gráfico da aceleração do caminhão 2 / Pedreira B.....	89
Figura 39 - Gráfico da aceleração do caminhão 3 / Pedreira B.....	90

Figura 40 - Gráfico da aceleração da escavadeira / Pedreira B	91
Figura 41 - Gráfico da aceleração da pá carregadeira 1 / Pedreira B	93
Figura 42 - Gráfico da aceleração da pá carregadeira 2 / Pedreira B	94
Figura 43 - Resumo aren / Pedreira B.....	95
Figura 44 - Resumo VDVR / Pedreira B.....	96
Figura 45 - Gráfico da aceleração do caminhão 1 / Pedreira C.....	99
Figura 46 - Gráfico da aceleração do caminhão 2 / Pedreira C.....	100
Figura 47 - Gráfico da aceleração do caminhão 3 / Pedreira C.....	101
Figura 48 - Gráfico da aceleração do caminhão 4 / Pedreira C.....	102
Figura 49 - Gráfico da aceleração do caminhão 4 / Pedreira C.....	103
Figura 50 - Gráfico da exposição da escavadeira / Pedreira C	104
Figura 51 - Gráfico da exposição da pá carregadeira 1 / Pedreira C	106
Figura 52 - Gráfico da exposição da pá carregadeira 2 / Pedreira C	106
Figura 53 - Resumo aren / Pedreira C	108
Figura 54 - Resumo VDVR / Pedreira C.....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concessão de auxílio-doença para dor lombar baixa	29
Tabela 2 - Níveis de ação e limites de exposição europeus	46
Tabela 3 - TLV e Níveis de Ação para a ACGIH	49
Tabela 4 - Equipamentos da Pedreira A	57
Tabela 5 - Equipamentos da Pedreira B	58
Tabela 6 - Equipamentos da Pedreira C	59
Tabela 7 - Agrupamento de dados por fase do ciclo produtivo	64
Tabela 8 - Manutenção, idade dos equipamentos e modo de locomoção	68
Tabela 9 - Dados do caminhão 1 – Pedreira A.....	70
Tabela 10 - Dados do caminhão 2 – Pedreira A.....	71
Tabela 11 - Dados do rompedor – Pedreira A.....	73
Tabela 12 - Dados da escavadeira – Pedreira A.....	75
Tabela 13 - Dados da pá-carregadeira 1 – Pedreira A.....	76
Tabela 14 - Dados da pá-carregadeira 2 – Pedreira A.....	78
Tabela 15 - Dados do caminhão pipa – Pedreira A.....	79
Tabela 16 - Dados da perfuratriz – Pedreira A.....	81
Tabela 17 - Resultados da Pedreira A	82
Tabela 18 - Manutenção, idade dos equipamentos e modo de locomoção	86
Tabela 19 - Dados do caminhão 1 / Pedreira B.....	87
Tabela 20 - Dados do caminhão 2 / Pedreira B.....	88

Tabela 21 - Dados do caminhão 3 / Pedreira B.....	90
Tabela 22 - Dados da escavadeira / Pedreira B.....	91
Tabela 23 - Dados da Pá Carregadeira 1 / Pedreira B.....	92
Tabela 24 - Dados da pá carregadeira 2 / Pedreira B.....	93
Tabela 25 - Resumo das Exposições / Pedreira B.....	94
Tabela 26 - Manutenção, idade e mecanismo de locomoção	97
Tabela 27 - Informações relativas aos caminhões Randon / Pedreira C.....	98
Tabela 28 - Informações relativas aos caminhões Caterpillar / Pedreira C....	102
Tabela 29 - Informações relativas ao caminhões Randon / Pedreira C	104
Tabela 30 - Informações relativas às pás carregadeiras / Pedreira C.....	105
Tabela 31 - Resumo das exposições / Pedreira C	107
Tabela 32 - Resumo VCI.....	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACGIH	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>
ANEPAC	Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para a Construção Civil
CID	Classificação Internacional de Doenças
FC	Fator de Crista
FUNDACENTRO	Fundação Jorge Duprat e Figueiredo
GES	Grupo de exposição similar
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INSS	Instituto Nacional do Seguro Social
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LACASEMIN	Laboratório de Controle Ambiental, Higiene e Segurança na Mineração
LE	Limite de exposição
NA	Nível de ação
NHO	Norma de Higiene Ocupacional
NIOSH	<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i>
NR	Norma Regulamentadora
OMS	Organização Mundial da Saúde
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i>
USP	Universidade de São Paulo
VMB	Vibração de Mãos e Braços
VCI	Vibração de Corpo Inteiro

LISTA DE SÍMBOLOS

Kg	Quilograma
m	Metro
a_{mj}	Aceleração média
a_{mr}	Aceleração média resultante
f	Fator de multiplicação em função do eixo considerado
a_{rep_i}	Aceleração resultante de exposição parcial
a_{re}	Aceleração resultante de exposição
a_{ren}	Aceleração resultante de exposição normalizada
VDV_j	Valor da dose de vibração
$VDV_{exp_{ji}}$	Valor da dose de vibração da exposição Parcial
VDVR	Valor da dose de vibração resultante

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	OBJETIVO.....	21
1.2	JUSTIFICATIVA	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1.	PANORAMA DAS PEDREIRAS NO BRASIL E EM SÃO PAULO.....	23
2.1.1.	Aspectos econômicos	23
2.1.2.	Processo produtivo	24
2.1.2.1.	Decapeamento e remoção de material de transição	25
2.1.2.2.	Perfuração e desmonte	25
2.1.2.3.	Carregamento e transporte	25
2.1.2.4.	Britagem e classificação	26
2.1.2.5.	Estocagem e controle de qualidade	26
2.2	DOENÇAS RELACIONADAS À VCI.....	26
2.2.1.	Histórico de doenças relacionadas à VCI no cenário nacional....	27
2.3	ASPECTOS FÍSICOS DO AGENTE.....	30
2.4	LEGISLAÇÃO VIGENTE E PRINCIPAIS DEFINIÇÕES.....	31
2.4.1.	Curva de ponderação de frequências	32
2.4.2.	Definições da NHO-09.....	34
2.4.3.	Definições da ISO 2631-1:1997	41
2.4.4.	Definições da diretriz europeia 2002/44/EC	45
2.5	ACGIH	48
2.6	LIMITES LEGAIS BRASILEIROS.....	49

2.7	ESTUDOS REALIZADOS NA MINERAÇÃO	51
2.8	CONTROLE DE VIBRAÇÃO	53
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	56
3.4.	LOCAIS ESTUDADOS	56
3.4.1.	Empreendimento A	56
3.4.2.	Empreendimento B	57
3.4.3.	Empreendimento C	59
3.5.	MÉTODOS	60
3.5.1.	Equipamentos utilizados	61
3.5.2.	Procedimento técnico de medição	62
3.5.3.	Apresentação dos dados	63
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.4.	PEDREIRA A	65
4.4.1.	Análise preliminar de exposição da Pedreira A	65
4.4.2.	Levantamento e análise de dados	69
4.4.2.1.	Caminhões	70
4.4.2.2.	Rompedor	73
4.4.2.3.	Escavadeira 336 D	74
4.4.2.4.	Pá-carregadeira 966 L	75
4.4.2.5.	Pá-carregadeira L 538	77
4.4.2.6.	Caminhão pipa	78
4.4.2.7.	Perfuratriz	80
4.4.2.8.	Resumo – Pedreira A	82
4.5.	PEDREIRA B	83

4.5.1.	Análise preliminar de exposição da Pedreira B	84
4.5.2.	Levantamento e análise de dados	87
4.5.2.1.	Caminhões	87
4.5.2.2.	Escavadeira.....	91
4.5.2.3.	Pás-carregadeiras	92
4.5.2.4.	Resumo – Pedreira B	94
4.6.	PEDREIRA C.....	96
4.6.1.	Análise preliminar de exposição da Pedreira C	96
4.6.2.	Levantamento e análise de dados	98
4.6.2.1.	Caminhões fora-de-estrada Randon	98
4.6.2.2.	Caminhões fora-de-estrada Caterpillar.....	101
4.6.2.3.	Escavadeira.....	104
4.6.2.4.	Pás carregadeiras	105
4.6.2.5.	Resumo – Pedreira C	107
4.7.	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS.....	109
4.7.1.	Análise dos caminhões fora-de-estrada	110
4.7.2.	Análise das escavadeiras.....	110
4.7.3.	Análise das pás carregadeiras	111
5.	CONCLUSÕES	112
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114

1 INTRODUÇÃO

Simultaneamente com a sua queda de produção devido à crise econômica nacional, o setor de mineração brasileiro registrou de 2011 até 2013 o maior número de acidentes entre as indústrias extrativas, mostrando a relevância da preocupação com os controles dos riscos e doenças ocupacionais (BRASIL, 2015). Um ramo deste setor representa uma importante parcela da produção mineral nacional: a produção de agregados para a construção civil (IBRAM apud WICHERS, 2017).

Uma parte significativa da produção de agregados dentro dos estados de São Paulo e do Rio de Janeiro está localizada em pedreiras nas regiões metropolitanas, principalmente devido ao baixo valor relacionado a brita, seu principal produto (BACCI et al., 2011).

Destacam-se algumas atividades rotineiras dentro de um complexo mineiro como perfuração manual, transporte de minério e/ou estéril com caminhão ou carregadeiras, locomoção com veículos dentro da mina, manutenção e amostragem com o uso de serras circulares. Todas são caracterizadas por presença e alta intensidade de vibração (USP, 2017).

A vibração é uma grandeza vetorial composta por três fatores, sendo eles direção, frequência e magnitude do sinal, os quais se traduzem em um movimento rítmico ou aleatório que produz oscilação. Pode atingir corpos que possuem massa e elasticidade, como o corpo humano. Órgãos internos apresentam frequências naturais e ao receber outra externa, com mesma ou diferente frequência, podem entrar em ressonância, ocasionando sua amplificação. (USP, 2017).

Higiene ocupacional é a ciência que avalia riscos ocupacionais e promove medidas preventivas para assegurar a saúde do trabalhador em curto, médio e longo prazo. Nela, a vibração é classificada como um agente físico. Estes agente são representados por formas de energia e são encontrados em diversas formas:

por ondas de natureza mecânica , esforços , eletricidade, magnetismo, eletromagnetismo (que podem ser ionizantes ou não ionizantes), interações térmicas (frio ou calor) e variação de pressão (USP, 2017). A vibração ocupacional é dividida em dois tipos: em mãos e braços (VMB) e corpo inteiro (VCI). Para cada tipo de vibração é associada uma metodologia de medição, com diferentes equipamentos e prerrogativas normativas individualizadas (GRIFFIN, 1990).

1.1 OBJETIVO

O objetivo do trabalho consiste em uma avaliação ocupacional sobre a vibração de corpo inteiro (VCI) em trabalhadores que operam equipamentos frequentes em minerações a céu aberto. Diferenças entre os níveis de exposição gerados por caminhões fora de estrada, pás carregadeiras, perfuratrizes, rompedores e retroescavadeiras foram compilados no estudo.

Pretendeu-se, com base na literatura, sugerir formas de controle e atenuação dos níveis de vibração encontrados.

1.2 JUSTIFICATIVA

Trabalhadores no mundo todo estão em contato com a VCI e VMB. Cerca de 1,3 milhões de trabalhadores no Japão e de 2 a 4% de todos trabalhadores europeus estariam expostos a vibração de mãos e braços, segundo pesquisas realizadas por Mirbod, Inaba e Iwata, em 1992 (CUNHA, 2006). No Reino Unido, é estimado que mais de 9 milhões de pessoas estão expostas a vibração de corpo inteiro (PALMER et al., 2000). Um estudo realizado em 2003 no Canadá mostrou que 16% dentro de todas as doenças geradoras de trauma permanente nas costas dos trabalhadores ocorreram durante a utilização de caminhões fora-de-estrada, uma vez que sua operação envolve a manutenção de posturas inadequadas (incluindo a posição sentado sem nenhuma movimentação) por longos períodos tempo, também criando desordens muscoesqueléticas (KITUSAMY et al., 2004).

O presente estudo tem relevância pelo fato de que poucas empresas em território nacional realizam a análise da VCI em suas atividades provavelmente pelas dificuldades e custos do processo de medição e interpretação dos critérios de avaliação. Assim, condições perigosas podem estar sendo ignoradas.

O autor também observou na literatura disponível que pesquisas nacionais no setor de mineração de brita sobre o agente são escassas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PANORAMA DAS PEDREIRAS NO BRASIL E EM SÃO PAULO

2.1.1. Aspectos econômicos

Os agregados para a construção civil representam importante parcela da produção mineral brasileira. Em 2015, dados do IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração), revelaram uma produção recorde anual de 673 milhões de toneladas. Entre 2000 e 2014, a ANEPAC (Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para a Construção Civil) observou um crescimento médio de 6,2%, mas em 2015, devido à crise econômica nacional, esse crescimento diminuiu (WICHERS, 2017). Em 2019, o segmento de mineração de agregados possui boas projeções de crescimento, com retomada a partir de 2018. A ANEPAC (2018) ainda informou que a partir do primeiro trimestre de 2018 sinais de recuperação foram notados e prevê para 2019 um consumo superior ao de 2017, quando foram produzidas 285 milhões de toneladas de areia e um montante de 203 milhões de toneladas de brita.

O Estado de São Paulo é atualmente o maior produtor de pedra britada do Brasil. Em seu território, existem 160 pedreiras espalhadas em 12 municípios, sendo que cerca de 21% destas estão localizadas em sua região metropolitana (WICHERS, 2017). Como o frete desempenha um fator crucial na formação do preço da brita as pedreiras de um modo geral estão situadas em áreas urbanas, o que significa não somente problemas ocupacionais, mas também ambientais. Um mapa contendo a localização de algumas dessas pedreiras pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Localização de pedreiras situadas no entorno da região metropolitana de São Paulo

Fonte: Wichers, 2017

2.1.2. Processo produtivo

O processo produtivo de uma pedreira a céu aberto pode ser separado em etapas distintas. A Figura 2 pode ser utilizada para ilustrar o ciclo como um todo.

Figura 2 - Fluxograma de um ciclo produtivo em uma pedreira

Fonte: Iramina et al, 2009

2.1.2.1. Decapeamento e remoção de material de transição

Consiste em um processo de remoção de material de capeamento que recobre o maciço rochoso. Este material removido é posteriormente depositado em áreas específicas de disposição do material estéril e inerte. Equipamentos geradores de VCI como tratores e escavadeiras são utilizados nessa fase.

2.1.2.2. Perfuração e desmonte

São utilizadas perfuratrizes para a realização do trabalho de perfuração e estas podem gerar vibração de corpo inteiro para o operador, variando com a dureza da rocha e velocidade de perfuração.

Na fase de desmonte, uma malha ótima de desmonte e o controle da massa de explosivos por furo minimiza alguns agentes, como a vibração de terreno, impactos de ondas de ar, ultra lançamentos de rochas fragmentadas e poluição ambiental.

2.1.2.3. Carregamento e transporte

Carregadeiras e caminhões transportam rochas fragmentadas por explosivos para o britador primário. A maioria dos dados deste estudo será gerada por equipamentos que operam carregando e transportando rocha fragmentada.

O material transportado pode ir diretamente ao britador ou para correias transportadoras que alimentam a pilha pulmão, servindo como estoque regulador para cobrir eventuais paradas na produção. Ainda existe a possibilidade dessa rocha ser classificada como produto, em caso de algumas aplicações que necessitem de rochas em grandes granulometrias.

2.1.2.4. Britagem e classificação

Fase em que o material coletado na pilha pulmão é levado à britagem, onde passará por britadores e peneiras para cominuição e posteriormente classificação granulométrica, de forma a atender a necessidade do comprador do produto.

2.1.2.5. Estocagem e controle de qualidade

Finalmente, os produtos já separados em faixas granulométricas específicas são estocados em pilhas ou silos para serem posteriormente retirados para abastecimento do mercado consumidor.

2.2 DOENÇAS RELACIONADAS À VCI

A vibração ocupacional, pode provocar alterações de ordem vascular, neurológica, osteoarticular e muscular, gerando uma redução da capacidade laboral e qualidade de vida. Vários pesquisadores e instituições pesquisam sobre estes efeitos internacionalmente (CUNHA, 2006). Em termos de aceleração resultante, as vibrações superiores a 10 m/s^2 são preocupantes, sendo que valores da ordem de 100 m/s^2 podem causar danos como por exemplo hemorragias (USP, 2017).

Já pesquisas sobre a avaliação e controle da exposição ocupacional às vibrações mecânicas em território brasileiro são escassas. São necessários estudos voltados à caracterização do risco para a geração de mais informações sobre a incidência (número de novos casos de uma doença numa população em um determinado período) e latência (período de anos entre a presença do estímulo e o momento em que efetivamente ocorre uma resposta específica nos indivíduos expostos) na aquisição de síndromes relacionadas a vibração (CUNHA, 2004).

Entre os trabalhadores mais afetados pela VCI se enquadram operadores de máquinas e veículos em geral, como por exemplo escavadeiras, pás-carregadeiras, tratores, caminhões, ônibus e outros. Estudos internacionais comprovam que operadores expostos a VCI em condições críticas apresentam geralmente distúrbios na região dorsal e lombar, problemas gastrointestinais e no sistema reprodutivo. Podem ser evidenciados prejuízos nos discos intervertebrais e degeneração da coluna vertebral (GRIFFIN, 1980).

Dor nas costas é uma reclamação comum de muitos operadores de veículos e demais indivíduos expostos à VCI (BOVENZI E BETTA, 1994; REHN et al. 2005; SCHWARZE et al., 1988). Doenças na coluna associadas à vibração de corpo inteiro dependem da magnitude da aceleração, da duração da exposição e postura (DUPUIS, 1994; SEIDEL E HEDEL, 1986; WICKSTROM et al., 1994).

Outros autores são mais cautelosos com relação às causas de doenças direcionadas na região da coluna vertebral. Riihimäki aborda que ainda é difícil estabelecer uma causa direta e realizar a diferenciação entre a degeneração natural dos discos vertebrais e a degeneração patológica causada pela vibração (RIIHIMÄKI, 1991). Outros autores, como Oliveira (2001), também não estabeleceram nenhuma correlação positiva entre doenças da espinha e vibração de corpo inteiro.

2.2.1. Histórico de doenças relacionadas à VCI no cenário nacional

A Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados com a Saúde, conhecido como CID, associa códigos numéricos a doenças. Publicado pela Organização Mundial de Saúde (OMS), é usado em um cenário global para avaliação de estatísticas de mortalidade, promovendo a comparação internacional da classificação e avaliação estatística de seus dados (BRASIL, 2018).

De acordo com diversos autores, a doença mais comum relacionada à VCI é a lombalgia. O CID relacionado a esta doença é o M54.5, onde a doença é citada

como “Dor Lombar Baixa”, dentro do grupo de doenças do sistema osteomuscular e do tecido conjuntivo.

Ao se consultar o documento “Lista de Doenças relacionadas com o Trabalho”, elaborado pelo Ministério da Saúde e revisado pela última vez em 1999, percebe-se que algumas doenças podem estar diretamente relacionadas com o agente físico vibração (BRASIL, 2015):

- Transtornos articulares não classificados em outra parte: Dor Articular (M25.5);
- Síndrome Cervibraquial (M53.5);
- Lesões do Ombro (M75);
- Mialgia (M79.1);
- Dor Lombar Baixa (M54.5).

Avalia-se estatisticamente a incidência de lombalgia, independentemente do tipo, através do benefício auxílio-doença acidentário oferecido pelo Instituto Nacional do Seguro Social (INSS). Assim, para se estabelecer um panorama nacional sobre a incidência da lombalgia na população brasileira, pode-se usar o Boletim Quadrimestral sobre Benefícios por Incapacidade, o qual discorre sobre as principais causas de afastamento do trabalho entre homens e mulheres em faixa de trabalho. Essa informação pode ser vista na Tabela 1 (BRASIL, 2018).

Tabela 1 - Concessão de auxílio-doença para dor lombar baixa

Ano	Número de Casos
2004	1.899
2005	1.907
2006	1.740
2007	13.172
2008	15.521
2009	11.715
2010	10.040
2011	9.259
2012	8.500
2013	8.160
Total	81.913

Fonte: Adaptado de Brasil, 2018

Comparada a outras doenças ocorridas no Brasil neste intervalo de tempo (2004 a 2013), pode-se verificar na Figura 3 que o grupo relacionado à dor lombar teve porcentagem relevante entre as dez doenças mais frequentes em número de casos.

Figura 3 - Dez doenças mais recorrentes no Brasil de 2004 a 2013

Fonte: Adaptado de Brasil (2018)

2.3 ASPECTOS FÍSICOS DO AGENTE

A vibração é considerada um movimento expresso que pode ser expresso pelo deslocamento(m), velocidade(m/s) e aceleração(m/s²). Essa relação física é abordada na Figura 4, junto com a definição do fator de crista, que equivale à relação entre a velocidade pico e a velocidade média, representando um referencial sobre o comportamento do impulso vibratório (USP, 2017).

Figura 4 - Parâmetros para expressar a vibração

Fonte: USP apud. Brüel & Kjaer (1998)

Já sob uma ótica de higiene ocupacional, o corpo humano pode ser concebido como um sistema mecânico, cujos efeitos devidos à vibração estão relacionados a frequência e amplitude. A Figura 5 ilustra um modelo de corpo humano com suas respectivas faixas de ressonância naturais. Vibrações de grandes amplitudes refletem diretamente na saúde do ser humano caso se amplifiquem junto às frequências naturais do corpo (HARRIS, 2002). Observa-se que de forma geral as baixas frequências (de 4 a 8 Hz) corresponde à faixa de maior

sensibilidade para vibrações que ocorrem na direção do eixo longitudinal (eixo z)(USP, 2017).

Figura 5 - Modelo mecânico do corpo humano

Fonte: Brüel & Kjaer (1998)

Para Lida (2005), a vibração do corpo humano é qualquer movimento que o corpo executa em torno de um ponto fixo, com repetições ou de forma irregular quando não segue nenhum movimento determinado.

Lopes afirma que as vibrações transmitidas ao corpo inteiro possuem baixa frequência e amplitude grande, com frequências variando de 1 a 80 Hz, sendo a maior parte concentrada na região de 1 a 20 Hz (LOPES,2012).

2.4 LEGISLAÇÃO VIGENTE E PRINCIPAIS DEFINIÇÕES

No Brasil, grandes mudanças relacionadas a vibração vieram com a publicação da NHO-09 (Norma de Higiene Ocupacional número 9) em 2013 e com a

atualização da NR-15 (Norma regulamentadora número 15) e anexo 1 da NR-9, pela portaria nº1.297 de 13 de agosto de 2014.

A NR-15 aponta para os critérios, valores limites e procedimentos para a avaliação da exposição ocupacional de corpo inteiro e de mãos e braços da NHO-09 e NHO-10 (BRASIL, 2014b). Ambas são baseadas nas seguintes normas da ISO:

- ISO 2631-1: *Mechanical vibration shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1*;
- ISO 8041 – *Human response to vibration – Measuring Instrumentation*;
- ISO 5349-1: *Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 1*;
- ISO 5349-2: *Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 2*;

Além destas, complementarmente foram considerados os níveis de ação e limites da Norma da União Europeia Diretiva 2002/44/EC, abordados mais à frente.

2.4.1. Curva de ponderação de frequências

Todas acelerações consideradas em cálculos de aceleração na norma nacional seguem curvas de ponderação de frequência. Para vibrações transmitidas para mãos e braços, utiliza-se a curva W_h , especificada na ISO 8041, de 2005. A curva é apresentada na Figura 6 (FUNDACENTRO, 2013a).

Figura 6 - Curva de ponderação em frequência para vibração transmitida a mãos e braços

Fonte: Adaptada de ISO 8041 (2005)

Para vibração de corpo inteiro existem duas curvas de ponderação, variando com o eixo considerado. Para o eixo “z”, utiliza-se a curva W_k e para os eixos “x” e “y”, é utilizada a curva de ponderação W_d , conforme estabelecido na norma ISO 2631-1 de 1997 (FUNDACENTRO, 2013b). Essas curvas são mostradas na Figura 7.

Figura 7- Curvas de ponderação em frequência para vibração transmitida ao corpo inteiro

Fonte: Adaptado de ISO 2631 (1997a)

A ponderação das acelerações por frequência, seguindo as curvas apresentadas nas figuras 6 e 7, permitiu que pesos maiores fossem aplicados para as frequências mais nocivas de vibração, alterando assim a composição do valor global (BECKER, 2015).

É possível observar na figura 6 e figura 7 que para as frequências mais nocivas (de 5 a 50 Hz para mãos e braços e de 4 a 8 Hz para corpo inteiro, no eixo z) o fator de ponderação tende a ser maior. Assim, a ponderação nestas frequências será maior que em outras.

2.4.2. Definições da NHO-09

Nomenclaturas e conceitos técnicos estabelecem parâmetros para medição da VCI. Entre eles se destacam (FUNDACENTRO, 2013a):

- Limite de Exposição

Para o entendimento dos limites legais aplicáveis é necessária a conceituação do termo “nível de ação” e “limite de exposição”. O limite de exposição é o parâmetro que representa condições onde supostamente a maioria dos trabalhadores está sujeita frequentemente sem sofrer danos à sua saúde (FUNDACENTRO, 2013a).

- Nível de Ação

Nível de ação consiste no valor acima do qual devem ser estabelecidas ações preventivas de forma que a probabilidade de exposições acima do limite legal seja minimizada. O nível de ação geralmente é dado pela metade do limite de exposição para algum agente, como ruído e concentrações de gases tóxicos (FUNDACENTRO, 2013a).

Ele é conceituado na legislação brasileira para o valor acima do qual devem ser iniciadas ações preventivas que minimizem a probabilidade de que a exposição

aos agentes ambientais ultrapasse os limites de exposição. Estas ações incluem monitoramento periódico da exposição, controles médicos e a informação aos trabalhadores sobre a presença do agente no local de trabalho (BRASIL, 2014a).

- Aceleração instantânea

Aceleração com as ponderações W_k e W_d na frequência, no instante de tempo “t”. Expressa em “m/s²”, em determinada direção “j” correspondente aos eixos ortogonais “x”, “y” e “z” (FUNDACENTRO, 2013a).

- Aceleração Média (am_j)

Raiz média quadrática dos diversos valores da aceleração instantânea ocorridos em determinado período de medição, na direção “j”. Pode ser verificada na equação 1 (FUNDACENTRO, 2013a).

$$am_j = \left\{ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a_j^2(t) dt \right\}^{0,5} \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad [1]$$

Onde:

- ✓ a_j corresponde aos valores $a_x(t)$, $a_y(t)$ e $a_z(t)$ em m/s² dos eixos x,y e z respectivamente e ao intervalo de tempo $t_2 - t_1$.

- Aceleração Média Resultante (am_r)

Soma vetorial das acelerações médias, medidas nos eixos “x”, “y” e “z”, definida pela equação 2:

$$amr = \sqrt{(f_x am_x)^2 + (f_y am_y)^2 + (f_z am_z)^2} \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad [2]$$

- ✓ am_j = aceleração média;
- ✓ f_j = fator de multiplicação em função do eixo considerado;

Essa equação é utilizada de forma diferenciada, se o caso for VCI ou VMB. Para vibrações de corpo inteiro, objeto do estudo, os maiores valores de aceleração, na maioria dos casos, estão associados à direção paralela ao da coluna cervical, ou eixo “z”, como mostra a Figura 8. O fator “f”, para cálculo da aceleração média resultante, tem o valor de 1,0 para o eixo “z” e 1,4 para os eixos “x” e “y”. Em condições normais de operação, para uma grande maioria de veículos, os valores predominantes de aceleração ocorrem no eixo “z”. Dessa forma, as direções “x” e “y”, com acelerações menores que as de “z”, são corrigidas no cálculo da aceleração média resultante (FUNDACENTRO, 2013a).

Figura 8 - Eixos ortogonais para VCI

Fonte: Adaptado de ISO 2631 (1997b)

- Aceleração Resultante de Exposição Parcial ($arep_i$)

A aceleração resultante de exposição parcial corresponde a aceleração que ocorre em uma parcela de tempo da jornada diária, considerando os três eixos ortogonais. Este parâmetro é o resultado de uma média aritmética das acelerações médias resultantes, mostrado na Equação 3 (FUNDACENTRO, 2013a).

$$arep_i = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s amr_{ik} \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad [3]$$

Onde:

- ✓ amr_{ik} = aceleração média resultante relativa à k ésima amostra selecionada dentre as repetições da componente de exposição “i”.

O fator “s”, da equação 3, corresponde ao número de amostras mensuradas.

- Aceleração Resultante de Exposição (are)

Representa a aceleração da exposição ocupacional diária, já propagando os valores de aceleração para o turno como um todo (FUNDACENTRO, 2013a).

$$are = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^m n_i arep_i^2 T_i} \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad [4]$$

Onde:

- ✓ n_i = número de repetições da componente de exposição “i” ao longo da jornada de trabalho;
- ✓ T_i = tempo (horas, minutos ou segundos, dependendo da conveniência do cálculo); de duração da componente de exposição “i”;

- ✓ m = número de componentes de exposição que compõem a exposição diária;
- ✓ T = tempo de duração da jornada diária de trabalho.

- Aceleração Resultante de Exposição Normalizada ($aren$)

É a conversão da Aceleração Resultante de Exposição para uma jornada padrão de 8 horas. Se o tempo de duração da jornada de trabalho específica da atividade for de 8 horas, essa aceleração será equivalente a aceleração resultante da exposição (FUNDACENTRO, 2013a).

$$aren = are \sqrt{\frac{T}{T_o}} \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad [5]$$

Onde:

- ✓ T = tempo de duração da jornada diária de trabalho expresso em horas ou minutos;
- ✓ T_o = 8 horas ou 480 minutos.

- Valor da Dose de Vibração (VDV_j)

De uso exclusivo para Vibrações de Corpo Inteiro, o Valor da Dose de Vibração é determinado na direção “j”, correspondente aos eixos ortogonais “x”, “y” ou “z”. É determinado por:

$$VDV_j = \sqrt[4]{\int_0^4 [a_j(t)]^4 dt} \left[\frac{m}{s^{1,75}} \right] \quad [6]$$

Onde:

- ✓ $a_j(t)$ = aceleração instantânea ponderada em frequência;
- ✓ t = tempo de duração da medição.

- Valor da Dose de Vibração (VDV_{ji})

Corresponde ao valor de dose de vibração na direção “j” relativo às “s” amostras de exposição “i”.

$$VDV_{ji} = \left[\sum_{k=1}^s (VDV_{jik})^4 \right]^{0,25} \left[\frac{m}{s^{1,75}} \right] \quad [7]$$

- ✓ VDV_{jik} = valor de dose de vibração relativa a késima amostra selecionada dentre as repetições da componente de exposição “i”;
- ✓ s = número de amostras.

- Valor da Dose de Vibração da Exposição Parcial

É o valor representativo da exposição ocupacional diária no eixo “j”, relativo à componente de exposição “i”, obtido pela equação 8:

$$VDV_{expji} = f_j VDV_{ji} \left(\frac{T_{exp}}{T_{amos}} \right)^{0,25} \left[\frac{m}{s^{1,75}} \right] \quad [8]$$

Onde:

- ✓ VDV_{ji} = valor da dose de vibração medido no eixo “j”, relativo à componente de exposição “i”;
- ✓ T_{amos} = tempo total utilizado para a medição das “s” amostras representativas da componente de exposição “i”, em estudo:

$$T_{amos} = \sum_{k=1}^s T_k \quad [9]$$

- ✓ T_{exp} = 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 seu tempo de duração;

- ✓ T_k = tempo de medição relativo à késima amostra selecionada dentre as repetições da componente de exposição “i”;
 - ✓ s = número de amostras da componente de exposição “i” que foram mensuradas;
 - ✓ 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”).
- Valor da Dose de Vibração da Exposição

Valor de dose de vibração da exposição ocupacional diária em cada eixo de medição, que pode ser obtido pela seguinte equação 10:

$$VDV_{expj} = [\sum_{i=1}^m VDV_{expji})^4]^{0,25} \left[\frac{m}{s^{1,75}} \right] \quad [10]$$

Onde:

- ✓ VDV_{expji} = valor da dose de vibração da exposição representativo da exposição ocupacional diária no eixo “j”, relativo à componente de exposição “i”;
 - ✓ m = número de componentes de exposição que compõem a exposição diária.
- Valor da Dose de Vibração Resultante

Corresponde ao valor de dose de vibração relativo a exposição ocupacional diária, considerando a resultante dos três eixos de medição.

$$VDVR = [\sum_j (VDV_{expj})^4]^{0,25} \left[\frac{m}{s^{1,75}} \right] \quad [11]$$

2.4.3. Definições da ISO 2631-1:1997

A última correção da norma ISO 2631:1997, realizada em 2010, não traz limites de exposição à vibração. Limita-se a definir um método para a avaliação de exposição à vibração de corpo inteiro e expõe os principais fatores relacionadas à determinação do nível aceitável de exposição à vibração (ISO AMENDMENT, 2010).

Sendo dividida em anexos, trata assuntos de forma distinta. O anexo A estabelece cálculos de aceleração média rms (*root mean square*), aceleração de pico, fator de crista e valor de dose de vibração. Os cálculos que a norma brasileira estabelece são baseados nos estabelecidos pela ISO (ISSO AMENDMENT, 2010).

A ISO estabelece diferentes métodos para avaliação da vibração ocupacional, dependendo do tipo de exposição. Primeiramente, deve-se verificar a presença de choques na exposição através do fator de crista. Caso estes choques não existam durante a exposição, o método denominado de “básico” é suficiente para descrever a severidade da vibração e seus efeitos para seres humanos. Nele, a aceleração média rms é calculada através da seguinte Equação 12:

$$a_w = \left(\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right)^{1/2} \quad [12]$$

Onde:

- $a_w(t)$ é a Aceleração ponderada em função do tempo.

Caso fique constatada a presença de choques durante a exposição, o método básico não é aconselhado, pois pode subestimar efeitos deste tipo de vibração. Sugere-se então dois outros métodos com equações diferentes: o método do valor eficaz em contínuo e o método da dose vibratória de quarta potência. Este último método contempla o cálculo do VDV:

$$VDV = k_l \left(\int_0^T a_{wl}^4(t) dt \right)^{1/4} \quad [13]$$

Onde:

- k_l é o fator de multiplicação para direção;
- a_{wl} é a Aceleração total para o eixo l.

Seu anexo C estabelece fatores relacionados ao conforto e percepção da vibração, o anexo D, por sua vez, trata exclusivamente de enjoos relacionados ao movimento (ISO, 1997a).

Em seu anexo B, contém um guia sobre os efeitos das vibrações na saúde para pessoas sentadas. A ISO ainda comenta que não existem dados suficientes para relacionar quantitativamente a exposição à vibração e efeitos à saúde e sugere, para obtenção de limites legais, a consulta da diretiva europeia 2002/44/EC.

Neste anexo, a ISO mostra um gráfico onde diversas regiões de precaução são apontadas para exposições de várias durações, destacando os intervalos de tempo entre 4 e 8 horas (ISO, 2010), conforme mostra o gráfico na Figura 9.

Figura 9 - Regiões de precaução

Fonte: Adaptado de ISO, 2010

A região inferior, aqui chamada de “C”, corresponde a uma região a qual os efeitos negativos não foram claramente documentados ou observados. A região “B” mostra uma região onde se deve possuir precaução em relação a riscos potenciais à saúde. A região superior “A”, mostra a região onde efeitos negativos são prováveis.

Existem dois pares de curvas nesse gráfico. Os pares “1” partem do princípio de que a resposta à vibração é relacionada à energia e segue a seguinte equação:

$$a_{w1} T_1^{0,5} = a_{w2} T_2^{0,5} \quad [14]$$

Onde:

- ✓ a_{w1} e a_{w2} são os valores eficazes ponderados das acelerações para a primeira e segunda exposições, respectivamente;

- ✓ T_1 e T_2 são as durações correspondentes para a primeira e segunda exposições.

Já as linhas sólidas “2” representam outros estudos e princípios, correspondentes à equação 15:

$$a_{w1}T_1^{0,25} = a_{w2}T_2^{0,25} \quad [15]$$

As linhas tracejadas 1, em sua parte superior e inferior, representam valores de aceleração de vibração equivalentes a 6 m/s² e 3 m/s² e em seu interior mostram uma zona de precaução quanto a riscos à saúde. Como pode ser observado, estas linhas se mantêm constantes para estes valores até uma exposição de 10 minutos. Ou seja, a partir deste tempo mínimo até o tempo máximo de 100.000 segundos (pouco mais que 24 horas), os valores de aceleração mínimos necessários para se permanecer na região de incerteza caem regularmente. (LOPES, 2012).

Pode-se ainda observar que no intervalo de tempo entre 10 minutos e 1000 segundos (aproximadamente 30 minutos), o valor superior de 6 m/s² cai para 4.5 m/s² (LOPES, 2012).

É verificada coerência nos dois princípios, uma vez que na região onde existem maiores quantidades de dados amostrais na literatura, com o tempo de exposição entre 4 e 8 horas, ambas as linhas possuem valores parecidos de aceleração máxima e mínima, conforme pode ser observado no hachurado verde da figura 9.

2.4.3.2. Evolução da Norma ISO

A primeira versão da ISO data de 1974, contendo limites para conforto, proficiência reduzida por fadiga e limites de exposição. Em 1997 houve uma revisão, retirando essa conceituação de nível de ação ou exposição, passando a empregar o termo “riscos à saúde são prováveis”.

Outra mudança estabelecida pela ISO de 1997 foi a utilização de aceleração ponderada nas frequências pelas curvas W_k e W_d . Isso fez com que muitos instrumentos de medição antigos que não realizam tal ponderação ficassem defasados e suas medidas sem relação com normas atualizadas.

Em 2010 algumas modificações foram estabelecidas na ISO de 1997, envolvendo a inserção das informações contidas na Figura. A decisão de não se especificar limites de tolerância, entretanto, foi mantida.

2.4.4. Definições da diretriz europeia 2002/44/EC

A diretriz europeia define a vibração de corpo inteiro como a “vibração mecânica que, quando transmitida ao corpo inteiro, pode conduzir a riscos à saúde e segurança dos trabalhadores, particularmente problemas relacionados à coluna espinhal”.

Seus termos a serem medidos tem relação com os brasileiros estabelecidos pela NHO-09. Os mais significativos para a vibração de corpo inteiro envolvem o “limite de exposição a vibração diário”, conhecido como $A(8)$, expresso na forma da energia média contida em uma jornada de 8 horas, ponderado em frequência com a curva w_d e w_k . Esse valor tem semelhança com o mostrado na equação da “aceleração resultante da exposição normalizada” (HSE, 2005). Outro fator de relevância, o VDV também é utilizado nessa norma. Seus limites são expostos na Tabela 2.

Embora os termos sejam equivalentes, para VCI a legislação brasileira é mais restritiva que a europeia. Isso porque os valores europeus consideram apenas o valor de maior eixo (ou eixo determinante), e não a resultante dos três como a brasileira. Além disso, a diretriz europeia permite a escolha do $A(8)$ ou VDV como limites ocupacionais. A brasileira exige que ambos sejam considerados na análise da exposição, além de traçar limites para VDVR (e não VDV).

Tabela 2 - Níveis de ação e limites de exposição europeus

Diretiva da Comunidade Europeia		
	A (8)	VDV
Nível de Ação	0,5	9,1
Limite de Exposição	1,15	21

Fonte: 2002/44/EC (2002)

Griffin publicou em 2007 um guia com as principais faixas de variação de aceleração em m/s^2 , assim como em diferentes equipamentos e os percentis de referência para uma análise prévia dos níveis de vibração de corpo inteiro esperado por tipo de equipamento. As Figuras 10 e 11 ilustram este guia.

Figura 10 – Guia dos percentis da diretiz europeia

Fonte: GRIFFIN et al. 2007

A Figura 10 aborda os valores mínimos e máximos que podem ser encontrados em determinados tipos de máquinas, assim como seu percentil 25% e 75% de frequência de dados. Serve como uma diretriz para saber se os dados obtidos com estudos de VCI são coerentes ou não.

Na Figura 11, o eixo x horizontal representa valores de aceleração ponderados na frequência. A imagem aborda dados de aceleração no eixo com valor predominante durante a medição, não necessariamente o eixo z. A diretriz europeia ressalta que estes dados são apenas para ilustração e servem como um guia, ou seja, dados podem não ser representativos do uso destes maquinários. Essa ressalva é justificada porque níveis de vibração têm relação com fatores externos a máquina, como a via, manutenção do sistema de suspensão, velocidade de operação e outros.

Figura 11 - Níveis de aceleração resultante da diretiz europeia

Fonte: Adaptado de GRIFFIN et al. 2007

A Figura 11 foi adaptada e somente os equipamentos com relação direta com a mineração permaneceram, para que ficasse menos poluída.

2.5 ACGIH

A ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) define que a exposição de aceleração eficaz ponderada deve ficar abaixo da curva denominada TLV (*Threshold Limit Value*).

Os TLV se referem às acelerações máximas ponderadas de determinada duração onde presume-se que a maioria dos operadores de veículos terrestres, aéreos e aquáticos podem estar expostos entre períodos de 24 horas com pequena probabilidade de riscos à saúde.

A ACGIH contempla NA (níveis de ação), recomendando que, quando superados, ações mitigatórias do agente vibração devem ser implantadas. Seus limites são apresentados na Figura 12.

Figura 12 - TLV e níveis de ação na ACGIH

Fonte: ABHO (2017)

Na Figura 12 nota-se que as curvas do TLV e de NA coincidem com as curvas tracejadas na Figura 9, que apresenta o gráfico dos limites estabelecidos pela norma ISO.

Outros conceitos da ISO também são referenciados na ACGIH, como a direção dos eixos de medição (“x”, “y” e “z”), procedimentos de medição, a localização dos acelerômetros para medição, o fator de ponderação em frequência e a existência do fator de crista.

A ACGIH apresenta uma série de equações para cálculo da aceleração. Seus limites de aceleração são mostrados na Tabela 3:

Duração (horas)	TLV(m/s ²)	NA(m/s ²)
0,17	6,00	3,00
0,50	3,46	1,73
1,00	2,45	1,22
2,00	1,73	0,87
4,00	1,22	0,61
8,00	0,87	0,43
24,00	0,50	0,25

Fonte: ACGIH (2017)

Em relação ao VDV, se o fator de crista possuir valor superior a 9, ele nunca deverá superar em qualquer direção o valor de $17 \text{ ms}^{-1,75}$, a fim de se evitar riscos à saúde. A ACGIH recomenda também que ações de mitigação do agente devem ser empregadas para que o valor fique abaixo de $8,5 \text{ ms}^{-1,75}$.

A principal diferença entre ISO e ACGIH é o caráter informativo da primeira, não impondo limites de exposição, enquanto a segunda possui os TLV e níveis de ação, estabelecendo “limites legais”.

2.6 LIMITES LEGAIS BRASILEIROS

Segundo o anexo 8 da Norma Regulamentadora 15 (BRASIL, 2014b), é definido como insalubre em grau médio o trabalho sob condições de vibração sem proteções adequadas. Seus limites são baseados em diretriz da União Europeia (2002/44/EC), sendo eles, para vibração de corpo inteiro:

- Valor da Aceleração Resultante de Exposição Normalizada de $1,1 \text{ m/s}^2$;
- Valor da Dose de Vibração Resultante de $21 \text{ m/s}^{1,75}$.

Um resumo destes valores é mostrado na Figura 13.

A superação de qualquer um destes limites para VCI representa insalubridade, porém o Valor da Dose de Vibração Resultante (VDVR) adquire maior importância quando for constatada a ocorrência de choque ou solavancos significativos durante a exposição do trabalhador avaliado (FUNDACENTRO, 2013a).

A ocorrência destes choques durante a jornada pode ser calculada pela existência do “fator de crista”, que consiste no módulo da razão entre o máximo valor de pico da aceleração instantânea e o valor de aceleração média, ambos ponderados em frequência. Se o fator de crista é maior que 9, fica comprovada a existência destes picos no sinal de vibração e o fator VDVR adquire uma significância ainda maior (ISO, 1997a).

Figura 13 - Critério de julgamento e tomada de decisão

<i>aren</i> (m/s^2)	<i>VDVR</i> ($m/s^{1,75}$)	<i>Consideração</i> <i>técnica</i>	<i>Atuação</i> <i>recomendada</i>
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: FUNDACENTRO (2013a)

2.7 ESTUDOS REALIZADOS NA MINERAÇÃO

Este subitem abordará alguns trabalhos realizados por autores relacionando vibração de corpo inteiro e mineração.

Alguns autores já exploraram a relação entre níveis críticos de vibração de corpo inteiro e a operação de caminhões fora-de-estrada. Village estudou estes níveis em LHD (*Load Haul Dump*) de minas subterrâneas em 1989, levantando riscos potenciais relacionados a este agente. No estudo de Village, 22 medidas foram realizadas em 11 LHD diferentes e mais de 80% dos trabalhadores estavam expostos a valores acima do limite sugerido pela ISO 2631-1 da época, que recomendava como único eixo de preocupação o “z” (VILLAGE et al., 1989).

Diversos estudos com o tema vibração ocupacional foram realizados nas últimas décadas. Um estudo realizado por Cann em 2004 investigou a vibração de corpo inteiro e a dose de VCI gerada por 67 veículos separados entre 14 tipos diferentes de equipamento pesados. Este estudo indicou que operadores de caminhões fora-de-estrada submetidos a uma exposição diária de 8 horas ficaram acima das recomendações estabelecidos pela ISO 2631, base da legislação brasileira atual (CANN, 2004).

Kumar, no mesmo ano, mediu a vibração de corpo inteiro em caminhões de 240 e 320 toneladas durante fases de seu ciclo produtivo. Ele chegou à conclusão de que na fase em que o caminhão está trafegando descarregado o valor de aceleração no eixo z é maior, sendo seguidos pelo caminhão trafegando carregado, o caminhão sendo carregado pela carregadeira e, finalmente, sendo descarregado. Kumar concluiu que a velocidade da viagem e o terreno têm forte influência na magnitude da exposição à vibração. Por fim, também concluiu que a diminuição da massa de carregamento do veículo e o aumento da velocidade associadas a viagens com o caminhão descarregado contribuíram com os resultados altos de vibração (KUMAR, 2004).

Recentemente, o autor também estudou a exposição à vibração de corpo inteiro associada a operadores de perfuratriz em minas de ferro a céu aberto,

relacionando o agente a aspectos litológicos de rocha (KUMAR, 2015). Este estudo envolveu 28 trabalhadores em uma mina de ferro na parte oeste da Índia.

Seus resultados mostraram que mais que 90% dos trabalhadores estavam expostos a níveis de vibração de corpo inteiro superiores à recomendação estabelecida pela ISO da época. Este estudo concluiu que a densidade da rocha e sua resistência à compressão uniaxial são fatores determinantes nos níveis de vibração de corpo inteiro. Quanto maior a densidade de rocha, mais suave será a perfuração e assim, menor será a VCI. Em contrapartida, a dureza da rocha e a resistência à compressão foram diretamente relacionadas com a VCI obtida no assento dos operadores (KUMAR, 2015).

Outro estudo de destaque foi realizado por Burstrom, em minas de níquel, cobre e platina da Finlândia, Noruega e Suécia em 2014. Seu objetivo era a avaliação de vibração de corpo inteiro em 453 trabalhadores de mina céu aberto, em 95 veículos diferentes. Estes veículos envolviam caminhões fora-de-estrada, perfuratrizes, escavadeiras, motoniveladoras e carros de transporte (veículos de apoio). A metodologia do trabalho consistiu na avaliação do assento do operador com a almofada contendo 3 acelerômetros posicionados de acordo com a Norma ISO 2631-1. Entre os principais resultados, os operadores da perfuratriz foram os que obtiveram menores valores relacionados a exposição a VCI enquanto os veículos de apoio, junto com os tratores de esteira e carregadeiras foram os que geraram maiores níveis (BURSTROM, 2016).

Ji, Eger e Dickey (2016) realizaram um trabalho sobre vibração de corpo inteiro em minerações subterrâneas, com o objetivo de otimização da seleção de assentos para LHD com a utilização de *Redes Neurais Artificiais*. Para atingir seu objetivo, testaram assentos diferentes montados em uma plataforma robótica que produzia uma vibração com frequência e aceleração de vibração conhecidas.

Entre estudos de vibração ocupacional não diretamente ligados à mineração, se destacam aqueles desenvolvidos por Narayan, Bongers e Johanning(1991). Eles trabalharam com dados provenientes de maquinistas de trens e localizou

problemas na coluna. Foram realizadas medidas de vibração diretamente do assento do motorista utilizando um acelerômetro tri axial. Nesse posto de trabalho o autor mostrou acelerações predominantemente no eixo y (lateral) e z (vertical) acima dos valores recomendados pela ISO. Narayan (1997) analisou policiais que passavam a maioria do tempo de sua jornada dentro de viaturas. Concluiu que os trabalhadores estavam expostos a vibração vertical com predominância de baixa frequência (2–3 Hz) durante seu turno de trabalho.

Bongers et al. analisou a vibração em pilotos de helicóptero em 1990. Foi mostrado que este meio de transporte produz vibração cíclica e constante, que produz dor na região lombar e leva a fadiga muscular (BONGERS et al., 1990).

2.8 CONTROLE DE VIBRAÇÃO

Pode-se separar em dois tipos as medidas de proteção ao agente vibração. O primeiro tipo tem ligação direta com questões administrativas, ou seja, através de diminuições no tempo diário de exposição ao equipamento, organização do trabalho e rotatividade de tarefas (FREITAS, 2014).

O segundo é voltado à adoção de medidas técnicas, com o objetivo de se diminuir a intensidade da aceleração resultante de vibração, da exposição normalizada e da dose de vibração resultante. Essas medidas técnicas abordam diretamente como a vibração é produzida ou como ela é transmitida ao corpo (FREITAS, 2014).

No caso da diminuição da vibração produzida pelo equipamento, alterações de engenharia no projeto do próprio equipamento e o aumento da qualidade e quantidade de manutenções preventivas na parte de amortecimento da máquina podem diminuir consideravelmente as acelerações resultantes da VCI (FREITAS, 2014).

Smets, em seu estudo, estabelece uma relação entre manutenção preventiva e as VCI geradas por caminhões fora-de-estrada (SMETS, 2010).

Freitas (2014) aborda que em alguns casos a VCI pode ser diminuída trocando apenas a posição de algumas partes moveis ou alterando pontos de ancoramento de fixação. Podem ser utilizados também molas ou elementos elásticos em seus apoios, anéis absorventes de vibração nos punhos das ferramentas e assentos montados sobre suportes elásticos.

A transmissão da vibração entre fonte e trabalhador passa pela suspensão e assento. Segundo Morsch (2001), a suspensão é responsável pelo isolamento do veículo das forças geradas pelas irregularidades das vias. Enquanto os pneus filtram picos de grandes frequências a suspensão ameniza efeitos das componentes de menor frequência.

A suspensão de caminhões fora-de-estrada é composta de dois eixos rígidos, cada um em uma extremidade do equipamento. Desse modo, a ligação das rodas nas extremidades dos eixos faz com que uma roda interfira com outra, diferentemente de suspensões independentes, onde o movimento de uma roda não interfere nas demais (WALBER, TAMAGNA, 2010).

O assento age diretamente na interface homem-máquina. Berasategui (2000) descreve que um assento com características ótimas para tratores agrícolas possui a maior superfície de contato possível do operador com o assento. Recomenda uma espessura de 40 a 60 mm no assento e de 30 a 40 mm no encosto.

Hauck (2001), na Figura 14, associa o avanço de tecnologias no desenvolvimento do amortecimento de assentos com a aceleração resultante de exposição normalizada, mostrando a evolução dos assentos e os separando em etapas. A primeira etapa consiste em amortecimento exclusivo por molas, e a segunda possui conjunto mola-amortecedor e estofamento no assento. A terceira adiciona estofamento ao encosto e o sistema mola-amortecedor possui ajuste para adaptação ao peso do operador. Neste, o operador escolhe manualmente o seu peso através de uma chave e o sistema se ajusta para que efeitos físicos da vibração sejam minimizados. A quarta etapa adiciona encosto para braços e cabeça. Em relação à VCI, o sistema de amortecimento passou a ser constituído por amortecedor e por cilindros de borracha insuflados com ar

comprimido. Na quinta e última etapa, além das alterações propostas pela fase anterior, sistemas inteligentes de amortecedores com a utilização de sensores e atuadores para o amortecimento das vibrações são previstos (FRANCHINI, 2007).

Figura 14 - Desenvolvimento de assentos

Fonte: Adaptado de Hauck (2001)

Existem três normas que regem critérios de performance sobre assentos de maquinários: a ISO 7096:2000, a ISO EN 7096:2000 e EN 13490:2001. Elas tratam de equipamentos que movem terra, o que pode ser aplicado ao ambiente mineiro.

Estas normas estabelecem que a atenuação de vibração por um assento é composta por um número de fatores e a seleção do assento tido como ideal deve levar em consideração estes valores de atenuação de vibração (ISO, 2000).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.4. LOCAIS ESTUDADOS

Visitou-se 3 pedreiras situadas na região metropolitana de São Paulo. Para confidencialidade essas minerações foram chamadas de “A”, “B” e “C”.

3.4.1. Empreendimento A

O empreendimento “A” é o menor dos três estudados e possui 26 trabalhadores. A Figura 15 mostra uma vista aérea da pedreira.

Figura 15 - Pedreira “A”

Fonte: Arquivo Pessoal

Os equipamentos geradores de vibração de corpo inteiro presentes no local estão listados na Tabela 4.

Tabela 4 - Equipamentos da Pedreira A

Equipamento	Número	Marca	Modelo
Pá Carregadeira	2	Caterpillar	966 L
Pá Carregadeira	1	Liebherr	L 538
Escavadeira	1	Caterpillar	323 D
Escavadeira	1	Caterpillar	336 D
Caminhão Fora-de-Estrada	3	Randon	RK 430 M
Caminhão Pipa	2	Ford	2629
Perfuratriz	1	Atlas Copco	Rock D7

Fonte: Arquivo Pessoal

Devido à baixa demanda produtiva, que atualmente gira em torno de 2.500 toneladas por dia, alguns equipamentos não estão em operação. É o caso de um dos três caminhões, de uma pá-carregadeira Caterpillar 966 L e um caminhão pipa.

Assim, foi verificada a exposição ocupacional em oito das onze máquinas do empreendimento, com base nas diretrizes da NR-15 e NHO-09.

3.4.2. Empreendimento B

O empreendimento B é mostrado na Figura 16. Possui produção de 2.500 a 3.000 toneladas por dia e cerca de 40 funcionários.

Figura 16 - Pedreira “B”

Fonte: Arquivo Pessoal

Os equipamentos analisados, sua quantidade e fabricante estão listados na Tabela 5.

Tabela 5 - Equipamentos da Pedreira B

Equipamento	Número	Marca	Modelo
Caminhão Fora-de-Estrada	1	Randon	RK 425 B
Caminhão Fora-de-Estrada	2	Randon	RK 430 M
Caminhão Fora-de-Estrada	1	Randon	RK 430 B
Escavadeira	1	Volvo	EC 360
Escavadeira	1	John Deere	350 G
Escavadeira	1	Volvo	EC 460
Pá carregadeira	1	Caterpillar	962 G
Pá carregadeira	1	Caterpillar	966 H

Fonte: Arquivo Pessoal

Na Pedreira B, foram analisados três caminhões, duas pás-carregadeiras e uma escavadeira.

3.4.3. Empreendimento C

O empreendimento C é o maior dos três estudados, com uma produção de 6.500 toneladas por dia e cerca de 100 funcionários. A Figura 17 mostra sua imagem vista por satélite.

Figura 17 - Pedreira “C”

Fonte: Arquivo Pessoal

A lista dos equipamentos analisados na Pedreira C é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 - Equipamentos da Pedreira C

Equipamento	Número	Fabricante	Modelo
Caminhão Fora-de-Estrada	2	Randon	RK 430 M
Caminhão Fora-de-Estrada	1	Randon	RD 430 M
Caminhão Fora-de-Estrada	2	Caterpillar	CAT 770
Escavadeira	1	Caterpillar	CAT 374 D
Pá carregadeira	1	Caterpillar	L 580
Pá carregadeira	1	Caterpillar	L 538

Fonte: Arquivo Pessoal

3.5. MÉTODOS

Antes de realizar a análise quantitativa dos dados, foi realizada avaliação preliminar da exposição. Primeiramente analisou-se os ambientes de trabalho, processos, operações e condições laborais. Após identificados os locais de possível exposição, foram levantadas características das máquinas geradoras do agente, como caminhões fora-de-estrada e outros. É considerado um equipamento em bom estado de trabalho aquele que possui pelo menos uma manutenção a cada 250 horas de trabalho. Este valor foi obtido de acordo com metodologias empregadas por outros autores, como Kumar em 2004.

Posteriormente ao levantamento dos ambientes e equipamentos, buscou-se as especificações dos fabricantes sobre os níveis de vibração gerados, quando disponíveis. Como estas informações não foram disponibilizadas para consulta, uma comparação foi realizada com base em estudos previamente mostrados neste trabalho com base na Figura 11.

Devido a diferenças antropométricas entre cada trabalhador, como por exemplo, peso e altura, qualquer amostragem envolvendo o exposto de maior risco não será representativa. Assim, todos os trabalhadores em contato com o agente tiveram suas jornadas de trabalho avaliadas de maneira individualizada. Informações de número de horas trabalhadas foram transmitidas pela equipe de operação de mina. A população do estudo assim foi descrita e sua rotina de trabalho caracterizada. Com estas informações reunidas, o autor estimou o tempo efetivo da exposição diária.

Com as informações da análise preliminar de exposição, o levantamento quantitativo foi realizado. A Norma ISO 2631 recomenda que se existirem mais que uma única tarefa durante o período de exposição, análises separadas devem ser realizadas (ISO, 1997). Para caminhões fora-de-estrada, exclusivamente, a jornada de trabalho de seus operadores foi dividida em cinco fases:

- Viagem quando o caminhão está descarregado;
- Viagem quando o caminhão está carregado;

- Caminhão descarregando;
- Caminhão sendo carregado;
- Caminhão sem atividade.

Para todos os veículos foram realizadas medições de aproximadamente 30 minutos por operador para se obter pelo menos dois ou três ciclos de operação. O autor do trabalho acompanhou as medições pessoalmente na cabine, sempre que possível, para observar que dados coletados fossem representativos da exposição ao longo da jornada de trabalho convencional, sem interferências.

Todas as diferenças entre as condições de terreno, idade de equipamento, qualidade da manutenção e modo de operação foram descritas, mas não levadas em consideração ao se comparar os resultados entre os equipamentos.

3.5.1. Equipamentos utilizados

Para a realização das medições de vibração ocupacional de corpo inteiro foi utilizada uma almofada com um acelerômetro tri axial. A Figura 18 mostra a almofada com o acelerômetro e o medidor que controla e registra as medições.

Figura 18 - Medidor de vibração VCI

Fonte: Arquivo Pessoal

O equipamento deve estar calibrado de acordo com as especificações da norma ISO 8041, sendo a periodicidade de calibração estabelecida com base nas

recomendações legais brasileiras para o aparelho utilizado, a FUNDACENTRO informa que a periodicidade máxima é de dois anos pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) (FUNDACENTRO, 2014a).

Em relação a precisão do aparelho, é necessário que o equipamento seja do tipo 1 ou do tipo 2. A diferença está apenas na tolerância permitida de $\pm 3,5\%$ para o tipo 1, e $\pm 6\%$ para o tipo 2.

Para esse trabalho foi utilizado o medidor de vibração SV-106, da fabricante SVANTEK. Ele está em conformidade com os critérios da ISO 8041, com a ISO 2631, ISO 5349 e a diretiva europeia 2002/44/ EC, estando adequado, portanto, também à diretriz brasileira.

3.5.2. Procedimento técnico de medição

Utilizou-se o procedimento de medição estabelecido pela ISO 2631 e NHO-09. Os pontos abordados na norma que se destacam são:

- **Direção da Medição:** a almofada com os acelerômetros tri-ortogonais deve estar alinhada conforme ilustrado na Figura 8 desta dissertação. Caso não seja possível o alinhamento preciso entre os acelerômetros e os eixos mostrados, é aceitável um desvio no alinhamento de até 15° , se necessário. Nos postos de trabalho monitorados nesta pesquisa, como os trabalhadores estavam expostos a vibração de corpo inteiro na posição sentada, o eixo “z” não é necessariamente o vertical, e sim o paralelo à coluna do trabalhador.
- **Localização do ponto de medição:** os acelerômetros devem estar localizados na interface entre o corpo e a fonte de vibração. A Norma ISO 2631 considera três áreas principais para pessoas sentadas: a superfície de suporte do assento, as costas do assento e a superfície de assentamento dos pés. Na função de motorista de veículos de mineração, geralmente o trabalhador trabalha em uma cadeira com assento e suporte para as costas. Para facilitar a fixação da almofada

com os acelerômetros, foi escolhida a posição de superfície de suporte do assento.

- Arredondamentos: A norma NHO-09 recomenda o arredondamento dos resultados para o valor mais próximo, dentro de um intervalo de 0,1 m/s². Esse ponto não será seguido na metodologia deste trabalho uma vez que o aparelho SV-106 gera dados com duas casas decimais.
- Interface entre superfície vibrante e aparelho de medição: Não devem ser utilizados meios de fixação que promovam fraco acoplamento entre transdutor e superfície vibrante.
- Posicionamento dos cabos de conexão ao medidor: foram dispostos para não prejudicar a movimentação ou posicionamento do trabalhador, de modo a evitar que esse movimento gere sinais indesejados durante a medição, falseando resultados obtidos e danificando o próprio aparelho.
- Imediatamente antes da medição: a norma ISO sugere a aferição do medidor de acordo com as instruções do fabricante. O medidor SV-106 pode ser regulado eletronicamente por seu usuário. Assim, não foram utilizados reguladores externos, como excitadores.
- Os dados só foram considerados para este estudo se, após as medições, a aferição do equipamento permanecesse dentro de uma faixa de tolerância de até 5% (para mais ou para menos).

3.5.3. Apresentação dos dados

Primeiramente, foram agrupados os dados por mina e depois por tipo de equipamento (caminhão, escavadeira ou perfuratriz). Ressalta-se que a comparação entre os valores obtidos para as três pedreiras é válida mesmo não havendo a possibilidade de uniformizar todas as condições de operação do equipamento (operador, velocidade, carga total, etc.) e trajeto uma vez que outros fatores como forma de operação e manutenção foram caracterizados.

Os dados obtidos para caminhões fora-de-estrada foram separados por fase do ciclo, como foi mostrado anteriormente. Um exemplo dessa tabela é mostrado na Tabela 7:

Tabela 7 - Agrupamento de dados por fase do ciclo produtivo

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³
Caminhão 1	VD								
	C								
	VC								
	D								
	SA								
	TOTAL								
Carregadeira 1	TOTAL								

Fonte: Arquivo Pessoal

Sendo:

- VD = Caminhão Viajando Descarregado;
- C = Caminhão sendo Carregado;
- VC = Caminhão Viajando Carregado;
- D = Caminhão sendo Descarregado;
- SA = Caminhão Sem Atividade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4. PEDREIRA A

Foram realizadas três visitas para a pedreira “A”. Na primeira, foram discutidos com a equipe local os processos da pedreira e procedimentos de medição que seriam realizados. Na segunda, foram medidos 5 equipamentos, incluindo dois caminhões, o rompedor pneumático, uma pá-carregadeira e uma escavadeira. A perfuratriz, a segunda pá-carregadeira e o caminhão pipa não estavam em operação no dia, sendo assim necessária uma terceira visita.

4.4.1. Análise preliminar de exposição da Pedreira A

Em entrevistas com os operadores de máquinas e com o supervisor da operação da pedreira, foi informado que os trabalhadores ficam expostos de seis horas e trinta minutos a sete horas por dia em seus equipamentos. Adotando uma abordagem prevencionista, o pior caso foi considerado, ou seja, sete horas. Como a pedreira está rodando somente um turno por dia, atividades de manutenção são realizadas fora do período do turno de produção.

A escavadeira 323 D, no momento da visita, estava sendo usada como “rompedor”. Este equipamento tem a função de diminuir a granulometria de matacões que eventualmente podem obstruir o britador primário. É frequente este tipo de adaptação no começo do turno de operação da mina. Assim, avaliou-se também a exposição do operador deste equipamento.

O rompedor pode ser visualizado na Figura 19.

Figura 19 - Rompedor da Pedreira A

Fonte: Arquivo Pessoal

Depois da fragmentação dos matacões, o ciclo de produção efetivamente começa. Aqui, os dois caminhões são carregados por uma única escavadeira, conforme pode ser verificado na Figura 20. Após carregamento, os caminhões iam diretamente ao britador.

Figura 20 - Caminhão sendo carregado por uma escavadeira

Fonte: Arquivo Pessoal

Foi consultada a especificação técnica de todos os equipamentos mensurados na pedreira a fim de se obter as características do sistema de amortecimento do

assento das máquinas. Em termos quantitativos, não foi informado nenhum dado a respeito de valores e grandezas físicas de vibração dos equipamentos e quanto seu assento os atenua. Qualitativamente foi analisado o sistema de suspensão dos assentos e todos os equipamentos estudados possuíam assento do tipo 4, de acordo com a classificação de Hauck (Figura 14), mas sem o dispositivo de ajuste com o peso do operador. A Figura 21 refere-se ao assento de um dos caminhões analisados.

Figura 21 - Assento de um dos caminhões estudados

Fonte: Arquivo Pessoal

A maioria dos assentos possuía condições boas de uso, entretanto alguns apresentavam rasgos. Efetivamente estes rasgos não eram profundos, não contribuindo assim para uma piora na transmissão de vibração do equipamento ao operador.

A Tabela 8 mostra informações relacionadas à idade, qualidade de manutenção dos equipamentos e tipo de sistema de locomoção dos equipamentos do empreendimento “A”.

Tabela 8 - Manutenção, idade dos equipamentos e modo de locomoção

Equipamento	Ano de Fabricação	Fabricante	Modelo	Manutenção	Sistema de Locomoção
Pá Carregadeira	2013	Caterpillar	966 L	Em dia	Pneus
Pá Carregadeira	2016	Liebherr	L 538	Em dia	Pneus
Rompedor	2013	Caterpillar	323 D	Em dia	Esteira
Escavadeira	2013	Caterpillar	336 D	Em dia	Esteira
C. Fora-de-Estrada	2009	Randon	RK 430 M	Em dia	Pneus
Caminhão Pipa	2013	Ford	2629	Em dia	Pneus
Perfuratriz	2010	Atlas Copco	Rock D7	Em dia	Esteira

Fonte: Arquivo Pessoal

Em relação à manutenção, todas foram consideradas em dia, ou seja, a manutenção era realizada a cada 250 horas de trabalho. Essa manutenção não focava em aspectos diretamente relacionados à vibração e sim a aspectos produtivos, como troca de óleo, filtro e outros.

Como mostrado na Tabela 8, alguns equipamentos se locomovem por meio de esteiras e outros por pneus. Nos que possuem pneus, foi realizada inspeção visual e questionamentos aos operadores para ver se estes estavam murchos ou excessivamente cheios. Visualmente e pelas respostas dos operadores, os pneus se encontravam dentro das condições padrões de utilização e sempre que alguma alteração fosse detectada pelos operadores, os equipamentos eram enviados para a manutenção.

A temperatura nos dias de medição estavam em torno de 25°C, sem chuvas. A qualidade das vias da pedreira “A” foi considerada como boa, uma vez que estava sem buracos e declives bruscos. Uma das razões para essa condição pode ser explicada pela falta de chuva na região e manutenções regulares pela equipe da mina. A Figura 22 mostra um trecho entre o britador e a escavadeira.

Figura 22 – Estado de conservação das vias

Fonte: Arquivo Pessoal

4.4.2. Levantamento e análise de dados

Após a análise preliminar de exposição, a avaliação quantitativa da VCI foi realizada. A almofada foi montada conforme recomendações da NHO-09 (Figura 23) e o equipamento calibrado eletricamente antes e depois das medições.

Figura 23 - Almofada no assento de um operador

Fonte: Arquivo Pessoal

4.4.2.1. Caminhões

São três caminhões presentes na pedreira “A”, sendo todos da marca Random e modelo RK 430 M, porém, efetivamente somente dois estavam em atividade. Com capacidade de 27 toneladas, estes caminhões possuem cabines com lugar para um operador e uma cadeira atrás do assento do motorista, onde o pesquisador se sentou para controlar o medidor de vibração para a avaliação de cada etapa de seu ciclo produtivo.

Foi realizada uma medição de 30 minutos no caminhão “1” e 20 minutos no caminhão “2”. As tabelas 9 e 10 e as Figuras 24 e 25 a seguir mostram os dados obtidos durante a medição.

Para a configuração da jornada, foram divididos os tempos de exposição nas diversas etapas do transporte em porcentagens e, posteriormente, convertidas para 7 horas de exposição. A ponderação também é utilizada pelo próprio software do aparelho para se obter a média “amx”, “amy” e “amz”.

Tabela 9 - Dados do caminhão 1 – Pedreira A

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Caminhão 1	C	28%	1,94	0,17	0,14	0,32	0,44			6,48
	D	13%	0,93	0,16	0,17	0,34	0,46			8,85
	VC	38%	2,63	0,27	0,36	0,45	0,77			9,85
	VD	21%	1,50	0,37	0,45	0,89	1,21			5,25
	TOTAL	100%	7,00	0,25	0,29	0,49		0,74	15,01	9,85

Fonte: Arquivo Pessoal

Nos gráficos das Figuras 24 e 25 podem ser observadas duas linhas. A linha vermelha simboliza os valores da aceleração resultante nos três eixos ao longo do tempo de medição e a azul a média “amr” da fase monitorada.

Figura 24 - Gráfico da aceleração do caminhão 1 / Pedreira A

Fonte: Arquivo Pessoal

Tabela 10 - Dados do caminhão 2 – Pedreira A

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Caminhão 2	C	34%	2,36	0,07	0,11	0,16	0,25			10,36
	D	13%	0,94	0,18	0,17	0,34	0,49			8,17
	VC	27%	1,91	0,25	0,41	0,64	0,93			6,18
	VD	26%	1,80	0,39	0,48	1,00	1,32			5,63
	TOTAL	100%	7,00	0,22	0,30	0,53		0,80	15,63	10,36

Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 25 - Gráfico da aceleração do caminhão 2 / Pedreira A

Fonte: Arquivo Pessoal

Com os dados obtidos, pode-se verificar que a fase com maiores níveis de vibração para ambos os caminhões é a “viajando descarregado” devido às altas velocidades nela empregadas. Outro motivo possível é o fato de o caminhão estar mais leve e o próprio sistema de suspensão menos compactado.

A fase com os menores níveis de vibração é a de “carregamento” para os dois caminhões, sendo logo seguida pelo “descarregamento”. Já era esperado encontrar valores menores nessa fase, pois o caminhão se encontra efetivamente parado e assim valores relativos aos eixos “x” e “y” tendem a ser muito menores que em outras fases. Isso foi comprovado pelos valores mostrados nas tabelas 9 e 10.

O fator de crista para ambas exposições foi maior que 9, indicando a existência de choques mais expressivos nessas fases de operação.

O aren e o VDVR ficaram acima do nível de ação, mas abaixo do limite de exposição. Seguindo as recomendações da NHO-09, medidas preventivas para que a exposição não piore devem ser adotadas, ou seja, manutenções periódicas das vias de tráfego e dos caminhões.

Outro ponto a ser observado é que a pior fase do ciclo em termos de vibração, a fase “viajando descarregado”, possui valores acima dos limites de exposição, se analisadas individualmente, para os dois caminhões. A jornada como um todo não está acima dos limites porque as outras fases do ciclo “ponderam” essa fase crítica.

Porém, se a distância entre o britador e a cava aumentar, o tempo que ele vai viajar carregado e descarregado irá também. Consequentemente o trabalhador estará exposto a valores acima dos permitidos pela regulamentação brasileira.

4.4.2.2. Rompedor

Como pode ser visto na Tabela 11 e na figura 26, as medições de VCI no assento do rompedor apresentam aceleração resultante da exposição normalizada que chega perto do limite de exposição, que é $1,1 \text{ m/s}^2$, mas não o ultrapassa. O valor para dose de vibração também chega perto do limite, configurando uma exposição dentro da região de incertezas, onde a adoção de medidas preventivas e corretivas visando a redução da exposição diária são necessárias.

Tabela 11 - Dados do rompedor – Pedreira A

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Rompedor	TOTAL	100%	7,00	0,62	0,39	0,44	1,11	1,04	18,76	9,20

Fonte: Arquivo Pessoal

Outro ponto de interesse é que o eixo de maior aceleração não foi perpendicular ao assento (eixo z) e sim o eixo x. A explicação para esse fato é que o rompedor trabalha parado quando realiza sua operação, ou seja, não há um eixo onde a vibração seja principal. Assim, o fator multiplicador de 1,4 utilizado nos eixos “x” e “y” pela equação [2] acaba aumentando o valor de aceleração no eixo onde o valor está alto.

Figura 26 - Gráfico da aceleração do rompedor / Pedreira A

Fonte: Arquivo Pessoal

Uma sugestão para que estes valores fiquem abaixo do nível de ação é a redução da jornada de trabalho com a máquina. Se a exposição fosse de no máximo quatro horas, e não sete, tanto o VDVR quanto o aren estariam abaixo do nível de ação.

4.4.2.3. Escavadeira 336 D

A escavadeira, na Pedreira “A”, é responsável pelo carregamento dos caminhões. Seus dados são mostrados na Figura 27 e Tabela 12.

É possível perceber alguns vales com a aceleração instantânea próxima do zero em três momentos da análise. Estes vales mostram períodos em que a escavadeira está ligada, mas sem carregar caminhões, nem movimentar as rochas fragmentadas para carregamento.

Figura 27 - Gráfico da aceleração da escavadeira / Pedreira A

Fonte: Arquivo Pessoal

Tabela 12 - Dados da escavadeira – Pedreira A

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Escavadeira	TOTAL	100%	7,00	0,26	0,16	0,22	0,48	0,45	10,48	15,47

Fonte: Arquivo Pessoal

Em relação a dados de aceleração resultante de dose de vibração resultante, os valores encontrados na exposição do operador de carregadeira mostram estar abaixo do limite de exposição para VDVR (21 m/s^{1,75}) e abaixo do nível de ação para aren (0.5 m/s²).

Nota-se que devido ao alto fator de crista, a presença de choques na jornada é frequente e assim o VDVR adquire maior importância.

4.4.2.4. Pá-carregadeira 966 L

A Pá Carregadeira 966 L é responsável por carregar caminhões que realizam a entrega de material britado aos compradores. Também é sua tarefa o remanejamento de pilhas de brita. Das duas pás-carregadeiras utilizadas na pedreira, a 966L é a maior, com capacidade de 23 toneladas.

Os dados de exposição podem ser verificados na Figura 28 e Tabela 13. Por motivos de organização será denominada “Pá-Carregadeira 1”.

Figura 28 - Gráfico da aceleração da pá-carregadeira 1 / Pedreira A

Fonte: Arquivo Pessoal

Tabela 13 - Dados da pá-carregadeira 1 – Pedreira A

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Pá Carregadeira 1	TOTAL	100%	7,00	0,83	0,63	1,03	1,78	1,66	34,20	17,26

Fonte: Arquivo Pessoal

Na Figura 28 pode-se verificar um período em que níveis de vibração ficam próximo a zero. De fato, quando não há um caminhão para ser carregado ou uma pilha para ser remanejada, o operador desliga o equipamento.

Mesmo com essas paradas, os valores de aceleração resultante e valor dose de vibração resultante ficaram acima dos permitidos pela legislação nacional. Estes altos índices de vibração podem ser justificados pelas altas velocidades que o operador emprega durante a manobra do equipamento, presenciados pelo autor. Assim, medidas corretivas devem ser adotadas imediatamente para a redução dessa exposição.

Para se adequar a legislação sem que nenhuma outra medida seja empregada, cada trabalhador deveria, no máximo, ficar três horas por dia trabalhando com esse equipamento.

4.4.2.5. Pá-carregadeira L 538

A pá-carregadeira L 538 do fabricante Liebherr é a menor das duas pás carregadeiras dentro do empreendimento “A”.

Possui capacidade menor que a da Caterpillar, 13 toneladas, mas as mesmas tarefas que a outra pá-carregadeira.

Os seus dados de VCI estão dispostos na Figura 29 e Tabela 14. Por motivos de organização ela será chamada de “pá-carregadeira 2”.

Figura 29 - Gráfico da aceleração da pá-carregadeira 2 / Pedreira A

Fonte: Arquivo Pessoal

Tabela 14 - Dados da pá-carregadeira 2 – Pedreira A

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Pá Carregadeira 2	TOTAL	100%	7,00	0,48	0,43	0,43	1,00	0,93	23,30	13,74

Fonte: Arquivo Pessoal

Os resultados obtidos para a pá-carregadeira L 538 mostraram equilíbrio entre todos os eixos de medição durante a avaliação. O aren chegou perto do limite de exposição, ficando dentro da região de incerteza da NHO-09, mas não o ultrapassou. O VDVR, por sua vez, ficou acima do limite de exposição.

Comparando os valores obtidos com a pá carregadeira 966L, pode ser verificado que a maior carregadeira apresenta valores mais críticos. Isso pode ser explicado pelo modo de operação do equipamento (o operador da L 538 o utilizava de uma maneira mais lenta que o da 966L), pela idade do equipamento e por consequência seu sistema de amortecimento (a 966L possui 6 anos contra 2 da L 538) e pelo próprio tamanho das pás-carregadeiras.

4.4.2.6. Caminhão pipa

O caminhão pipa possui a função de umidificar as principais vias da pedreira, a fim de reduzir a poeira suspensa no ar.

Em entrevista com o operador, foi informado que ele abastece o seu caminhão em torno de 8 vezes ao dia e esse abastecimento dura aproximadamente 12 minutos. Após o abastecimento ele trafega pelas vias da pedreira e a água leva algo em torno de 15 minutos para ser consumida.

Assim, foram analisados os dois tipos de atividade durante o período (estudado). Um ponto importante a ser ressaltado é que o operador sai de seu assento para ligar e/ou desligar a mangueira que abastece seu caminhão. Nesse período, de aproximadamente 2 minutos, como a almofada com os acelerômetros ficou

desacoplada do operador, o aparelho foi desligado. Após ligar a mangueira, o motorista volta e fica em repouso dentro do caminhão (com o motor ligado) até que o mesmo seja completamente abastecido.

Os dados e gráfico da exposição estão expostos a seguir.

Figura 30 - Gráfico da aceleração do caminhão pipa / Pedreira A

Fonte: Arquivo Pessoal

Tabela 15 - Dados do caminhão pipa – Pedreira A

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Caminhão Pipa	TOTAL	100%	7,00	0,14	0,25	0,47	0,62	0,58	10,75	8,60

Fonte: Arquivo Pessoal

Os dados obtidos durante a amostragem mostraram que a exposição não está acima de limites legais em termos de vibração. Isso ocorre devido ao grande tempo em que o trabalhador fica com a máquina somente ligada, mas parada, esperando o abastecimento.

Particularmente essa espera gerou valores muito baixos de aceleração, menor que 0.2 m/s^2 , como pôde ser verificado na Figura 30.

4.4.2.7. Perfuratriz

A perfuratriz modelo Rock D7 é a única na unidade e é responsável pela perfuração para desmonte. Possui cabine e dois trabalhadores a operam simultaneamente na etapa de perfuração: o operador do equipamento e um auxiliar responsável pela troca de hastes. A Figura 31 mostra o equipamento em operação e a Figura 32, juntamente com a Tabela 16, a exposição de seu operador.

Figura 31 - Perfuratriz da Pedreira A

Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 32 - Gráfico da aceleração da perfuratriz / Pedreira A

Fonte: Arquivo Pessoal

Tabela 16 - Dados da perfuratriz – Pedreira A

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Perfuratriz	TOTAL	100%	7,00	0,07	0,07	0,13	0,19	0,18	7,49	31,22

Fonte: Arquivo Pessoal

Por ficar em esteiras e parada durante sua operação, era esperado que os dados de aceleração resultante e valor dose de vibração resultante fossem, o que foi comprovado pelos dados obtidos.

Alguns picos foram detectados na exposição, como o que ocorreu às 10 horas e 5 minutos (vide figura 32). Esses picos foram gerados, muito provavelmente, devido ao choque que a máquina sofre durante a troca de hastes ou devido ao choque sofrido pelo *bit* durante a mudança entre duas regiões litologicamente distintas, com durezas diferentes (KUMAR, 2015). De qualquer maneira, mesmo com a presença dos choques, o valor de VDVR e aren encontrados foram os mais baixos entre todos os equipamentos estudados do empreendimento, só sendo necessário, a princípio, a manutenção da situação existente.

4.4.2.8. Resumo – Pedreira A

Um resumo dos resultados está disposto na Tabela 17 e nas Figuras 33 e 34 a seguir.

Tabela 17 - Resultados da Pedreira A

Veículo	Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Caminhão 1	TOTAL	7,00	0,25	0,29	0,49		0,74	15,01	9,85
Caminhão 2	TOTAL	7,00	0,22	0,30	0,53		0,80	15,63	10,36
Rompedor	TOTAL	7,00	0,62	0,39	0,44	1,11	1,04	18,76	9,20
Escavadeira	TOTAL	7,00	0,26	0,16	0,22	0,48	0,45	10,48	15,47
Pá Carregadeira 1	TOTAL	7,00	0,83	0,63	1,03	1,78	1,66	34,20	17,26
Pá Carregadeira 2	TOTAL	7,00	0,48	0,43	0,43	1,00	0,93	23,30	13,74
Caminhão Pipa	TOTAL	7,00	0,14	0,25	0,47	0,62	0,58	10,75	8,60
Perfuratriz	TOTAL	7,00	0,07	0,07	0,13	0,19	0,18	7,49	31,22

Fonte: Arquivo Pessoal

Os únicos equipamentos da Pedreira “A” que geraram valores de VCI maiores que o limite de exposição foram as pás-carregadeiras. Os caminhões fora-de-estrada, caminhão pipa e rompedor passaram o nível de ação. A escavadeira e perfuratriz ficaram abaixo do nível de ação. Os gráficos apresentados pelas Figuras 33 e 34 ilustram estes resultados.

Figura 33 - Resultados Pedreira A – aren

Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 34 - Resultados Pedreira A – VDVR

Fonte: Arquivo Pessoal

4.5. PEDREIRA B

Alguns equipamentos que na Pedreira A resultaram em dados de aren e VDVR abaixo do nível de ação, como perfuratrizes, ou em operadores cuja jornada de

trabalho se caracterizava por possuir muito tempo parado, como caminhões pipa, foram desconsiderados para as medições na Pedreira B e Pedreira C.

4.5.1. Análise preliminar de exposição da Pedreira B

Assim como na Pedreira A, a jornada de trabalho estabelecida durava de seis a sete horas. Optando por uma abordagem mais prevencionista, a jornada foi de sete horas foi escolhida.

Os caminhões da Pedreira B em operação (um modelo Randon RK 425 B e dois RK 430 M) eram abastecidos pela escavadeira Volvo EC 460. Os caminhões iam direto para o britador primário, sem a utilização de pilhas pulmão.

A Pedreira B possui uma cava mais profunda que a Pedreira A. Assim, era esperado impacto negativo nos valores de aren e VDVR quando o caminhão desce descarregado.

Qualitativamente foi analisado o sistema de suspensão dos assentos e todos eles variavam entre o tipo 3 e o 4, de acordo com a classificação de Hauck. O caminhão RK 425 B tem mais de vinte anos de idade (Tabela 19) e assim possui um sistema de suspensão mais antigo, conforme observado na Figura 35. Os demais equipamentos já possuem suspensão mais moderna, mas sem ajuste de peso do operador.

Figura 35 - Assento de um dos caminhões estudados

Fonte: Arquivo Pessoal

Comparativamente com o empreendimento “A”, os assentos também possuíam condições boas de uso, mas com a presença de pequenos rasgos, os quais não contribuíam aparentemente para a piora na transmissão de vibração do equipamento ao operador.

A tabela 18 foi obtida junto com a equipe do empreendimento “B” e mostra a idade, qualidade de manutenção dos equipamentos e tipo de sistema de locomoção dos equipamentos analisados.

Tabela 18 - Manutenção, idade dos equipamentos e modo de locomoção

Equipamento	Ano de Fabricação	Fabricante	Modelo	Manutenção	Meio de Locomoção
Caminhão Fora-de-Estrada	1995	Randon	RK 425 B	Em dia	Pneu
Caminhão Fora-de-Estrada	2008	Randon	RK 430 M	Em dia	Pneu
Caminhão Fora-de-Estrada	2008	Randon	RK 430 M	Em dia	Pneu
Escavadeira	2008	Volvo	EC 460	Em dia	Esteira
Pá carregadeira	2002	Caterpillar	962 G	Em dia	Pneu
Pá carregadeira	2010	Caterpillar	966 H	Em dia	Pneu

Fonte: Arquivo Pessoal

Qualitativamente, os pneus foram analisados e se encontravam dentro das condições padrão de utilização e sempre que alguma alteração fosse detectada pelos operadores eram enviados à manutenção.

A temperatura e a condição climática no dia da medição eram, respectivamente de aproximadamente 30°C e sem chuva. A qualidade das vias da pedreira “B” foi considerada boa, uma vez que estava sem buracos e declives bruscos, mesmo com a presença de chuva em datas anteriores. A Figura 36 mostra um trecho entre o britador e a escavadeira.

Figura 36 - Conservação das vias

Fonte: Arquivo Pessoal

4.5.2. Levantamento e análise de dados

4.5.2.1. Caminhões

Na Pedreira B não foi possível acompanhar o operador durante as medições de vibração. Para contornar esse impedimento, utilizou-se log gerado pelo aparelho de medição e cronometro para separação das fases. Esse procedimento foi empregado para os três caminhões da pedreira. Os dados foram tabulados manualmente e a resultante das acelerações foi calculada.

A identificação dos caminhões foi feita por ordem das medições. Os dois Randon 430 M foram considerados os Caminhões 1 e 2. O Randon 425 B foi chamado de Caminhão 3. O Caminhão 1 possui capacidade de carga de 27 toneladas e uma idade de 10 anos aproximadamente. Os resultados da exposição de seu operador são apresentados na Tabela 19 e Figura 37.

Notou-se a formação de filas de caminhões em algumas partes do ciclo, como ao descarregar (por paradas no britador devido a matacões) ou para carregar (fila na carregadeira). Esses períodos foram identificados e considerados como sem atividade (S.A). Mesmo não sendo uma atividade frequente dentro do ciclo produtivo, as filas são intrínsecas à atividade e foram consideradas para a configuração da jornada de trabalho real.

Tabela 19 - Dados do caminhão 1 / Pedreira B

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Caminhão 1	C	17%	1,17	-	-	-	0,51			
	D	1%	0,06	-	-	-	0,61			
	VC	35%	2,47	-	-	-	0,99			
	VD	20%	1,42	-	-	-	1,79			
	S,A	27%	1,88	-	-	-	0,38			
TOTAL		100%	7,00	0,25	0,46	0,84	1,12	1,04	20,28	8,03

Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 37 - Gráfico da aceleração do caminhão 1 / Pedreira B

Fonte: Arquivo Pessoal

Na jornada do caminhão 1 não foram encontrados picos expressivos, uma vez que o fator de crista foi menor que 9. O aren e VDVR ficaram imediatamente abaixo no limite de exposição, mas muito acima do nível de ação.

A jornada do caminhão 2 é descrita na Figura 38 e Tabela 20.

Tabela 20 - Dados do caminhão 2 / Pedreira B

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Caminhão 2	C	16%	1,11	-	-	-	0,39			
	D	3%	0,19	-	-	-	0,45			
	VC	33%	2,32	-	-	-	1,24			
	VD	16%	1,12	-	-	-	1,87			
	S,A	32%	2,26	-	-	-	0,12			
TOTAL		100%	7,00	0,28	0,34	0,93	1,11	1,05	20,93	8,02

Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 38 - Gráfico da aceleração do caminhão 2 / Pedreira B

Fonte: Arquivo Pessoal

Os dados obtidos mostram similaridade nos resultados entre o caminhão 1 e o caminhão 2. Essa congruência de informações pode ser explicada por ambos terem a mesma idade, mesmo sistema de amortecimento de assento e operavam de forma parecida em relação à velocidade.

Em ambos os casos, destaca-se novamente a fase de viajar descarregado como a maior impactante para valores de aceleração.

O último caminhão a ser analisado era o RK 425 B, com idade superior a 20 anos e capacidade de 27 toneladas. O levantamento de seus dados é mostrado na Figura 39 e Tabela 21.

Tabela 21 - Dados do caminhão 3 / Pedreira B

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Caminhão 3	C	33%	2,28	-	-	-	0,72			
	D	3%	0,22	-	-	-	0,74			
	VC	29%	2,00	-	-	-	0,88			
	VD	25%	1,76	-	-	-	1,32			
	S,A	10%	0,73	-	-	-	0,34			
TOTAL		100%	7,00	0,30	0,39	0,76	1,02	0,93	18,64	9,09

Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 39 - Gráfico da aceleração do caminhão 3 / Pedreira B

Fonte: Arquivo Pessoal

O caminhão 3, mais antigo, com menor tecnologia em relação ao sistema de atenuação de vibração em seu assento obteve dados de aceleração resultante e valor dose de vibração resultante menores que os outros caminhões estudados. A explicação para estes resultados está associada diretamente aos valores encontrados nas fases mais críticas do ciclo. A de viajar carregado e viajar descarregado. A diferença entre essas fases com a dos dois caminhões chega a 22% e 28%, respectivamente, para menos. Essa diferença pode estar relacionada a uma maneira mais conservadora de dirigir o caminhão pelo

operador e seu próprio peso. Seriam necessários estudos adicionais que também levem em conta a velocidade de operação e o peso do operador.

4.5.2.2. Escavadeira

A escavadeira utilizada na pedreira era da fabricante Volvo, modelo EC 460. Sua manutenção estava em dia e ela possuía 10 anos de operação. ornada é mostrada na Tabela 22 e Figura 40.

Tabela 22 - Dados da escavadeira / Pedreira B

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Escavadeira	TOTAL	100%	7,00	0,54	0,35	0,78	1,19	1,04	21,88	2,61

Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 40 - Gráfico da aceleração da escavadeira / Pedreira B

Fonte: Arquivo Pessoal

Ao analisar a jornada de trabalho do operador da escavadeira, pode-se verificar que ela fica imediatamente abaixo do limite em relação à aceleração resultante da exposição normalizada, mas acima em relação ao VDVR. Como a norma brasileira exige que ambos se encontrem abaixo dos limites de exposição, a

operação da escavadeira por 7 horas por dia está em desacordo com as premissas legais.

Outro ponto de destaque foi um baixo fator de crista, indicando a ausência de choques na operação do equipamento.

A exposição está irregular, mas pode se adequar ao se diminuir o número de horas trabalhadas em 20 minutos para que o VDVR se encontre abaixo de $21 \text{ m/s}^{1,75}$. Pode-se também ajustar o modo de operação do equipamento, tentando realizar manobras mais vagarosas que o atual modo de operação.

4.5.2.3. Pás-carregadeiras

As duas pás-carregadeiras utilizadas na Pedreira B são do fabricante Caterpillar. A pá-carregadeira 1 foi definida como sendo a do modelo 962 G. A capacidade da caçamba da pá-carregadeira é de 7 toneladas e é a mais velha das duas, com 16 anos. A exposição analisada para o operador da pá carregadeira 1 é mostrada na Tabela 23 e Figura 41.

Tabela 23 - Dados da Pá Carregadeira 1 / Pedreira B

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Pá Carregadeira 1	TOTAL	100%	7,00	0,68	0,76	0,95	1,71	1,60	30,21	4,93

Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 41 - Gráfico da aceleração da pá carregadeira 1 / Pedreira B

Fonte: Arquivo Pessoal

Para a Pá Carregadeira 1, tanto aren quanto VDVR ficaram acima dos limites estabelecidos pelo NHO-09. Em relação à presença ou não de picos, o fator de crista menor que 9 mostrou a ausência dos mesmos.

A pá carregadeira 2 é do modelo 966 H. Sua caçamba tem tamanho igual ao da pá carregadeira 1, mas idade inferior, com 8 anos. A Tabela 24 e Figura 42 mostram os resultados de exposição de seu operador.

Tabela 24 - Dados da pá carregadeira 2 / Pedreira B

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Pá Carregadeira 2	TOTAL	100%	7,00	0,63	0,52	0,44	1,22	1,15	18,68	2,54

Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 42 - Gráfico da aceleração da pá carregadeira 2 / Pedreira B

Fonte: Arquivo Pessoal

Os resultados para as pás carregadeiras mostraram novamente que se trata de um equipamento com altos níveis de VCI. A idade do equipamento e modo de operação são decisivos para a diminuição dos valores de aceleração e VDVR.

4.5.2.4. Resumo – Pedreira B

Um resumo dos resultados obtidos para a Pedreira B pode ser visualizado na Tabela 25 e Figuras 43 e 44.

Tabela 25 - Resumo das Exposições / Pedreira B

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Caminhão 1	TOTAL	100%	7,00	0,25	0,46	0,84	1,12	1,04	20,28	8,03
Caminhão 2	TOTAL	100%	7,00	0,28	0,34	0,93	1,11	1,05	20,93	8,02
Caminhão 3	TOTAL	100%	7,00	0,30	0,39	0,76	1,02	0,93	18,64	9,09
Escavadeira	TOTAL	100%	7,00	0,54	0,35	0,78	1,19	1,04	21,88	2,61
Pá Carregadeira 1	TOTAL	100%	7,00	0,68	0,76	0,95	1,71	1,60	30,21	4,93
Pá Carregadeira 2	TOTAL	100%	7,00	0,63	0,52	0,44	1,22	1,15	18,68	2,54

Fonte: Arquivo Pessoal

Constatou-se que três equipamentos ultrapassaram os limites de exposição: a escavadeira e as duas pás Carregadeira. A escavadeira, porém, atingiu níveis menores que as pás-carregadeiras 1 e 2 e a exposição de seu operador pode ser reduzida para dentro dos limites legais limitando o período de trabalho em 20 minutos.

Os caminhões ficaram todos entre o nível de ação e o limite de exposição. O caminhão 3, onde se esperava obter os maiores índices de aren e VDVR, por conta de sua idade avançada, foi o que teve menores valores.

Em relação ao fator de crista, somente um dos equipamentos foi considerado alto, acima de 9. Isso indica que o fator de maior importância para avaliação ocupacional da jornada de trabalho da Pedreira B é o aren e que os a jornada de exposição em relação a VCI não envolve choques.

Figura 43 - Resumo aren / Pedreira B

Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 44 - Resumo VDVR / Pedreira B

4.6. PEDREIRA C

4.6.1. Análise preliminar de exposição da Pedreira C

Assim como nas Pedreiras A e B, foi adotado um período de exposição igual a 7 horas, determinado com base em entrevistas com os operadores e supervisão.

Três tipos de caminhões são utilizados na pedreira C, sendo três modelos Randon (destes, dois RK 430 M e um RD 430 M) e 2 modelos Caterpillar (ambos CAT 770). Os Caterpillar são consideravelmente maiores que o Randon e serão descritos com detalhes mais à frente.

Existem dois pontos de carregamento dos caminhões. Um se encontra no fundo da cava, gerando um trajeto mais longo que o segundo, o qual se encontra mais perto do britador, a uma bancada com cota superior ao primeiro. Todos os caminhões Caterpillar, pelo seu tamanho, iam para o fundo da cava para aumentar a produtividade para a Pedreira C.

Todos os assentos e sistemas de suspensão foram classificados como do tipo 4 na escala de Hauck, mas sem ajuste de peso do operador. Em relação aos outros dois empreendimentos, a Pedreira C possuía os melhores assentos em termos de conservação. Não foi observada a presença de rasgos em nenhum deles.

Informações sobre manutenção, idade e mecanismos de locomoção dos equipamentos estudados da Pedreira C são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 - Manutenção, idade e mecanismo de locomoção

Equipamento	Ano de Fabricação	Fabricante	Modelo	Manutenção	Mecanismo de Locomoção
Caminhão Fora-de-Estrada	2009	Randon	RK 430 M	Em dia	Pneu
Caminhão Fora-de-Estrada	2009	Randon	RK 430 M	Em dia	Pneu
Caminhão Fora-de-Estrada	2013	Randon	RD 430 M	Em dia	Pneu
Caminhão Fora-de-Estrada	2010	Caterpillar	CAT 770	Em dia	Pneu
Caminhão Fora-de-Estrada	2010	Caterpillar	CAT 770	Em dia	Pneu
Escavadeira	2013	Caterpillar	CAT 374 D	Em dia	Esteira
Pá carregadeira	2014	Caterpillar	L 580	Em dia	Pneu
Pá carregadeira	2011	Caterpillar	L 538	Em dia	Pneu

Fonte: Arquivo Pessoal

Qualitativamente, os pneus foram analisados e assim como nas outras pedreiras se encontravam dentro das condições padrão de utilização.

A temperatura do dia da medição estava em torno de 20°C. A qualidade das vias da pedreira “C” foi considerada boa, uma vez que estava sem buracos e declives bruscos, mesmo com a ocorrência de chuva em dias anteriores.

4.6.2. Levantamento e análise de dados

4.6.2.1. Caminhões fora-de-estrada Randon

Todos caminhões Randon tinham capacidade de 27 toneladas. Dois eram do modelo mais antigo, RK 430 M (caminhão 1 e caminhão 2) e um do modelo mais novo, RD 430 M (caminhão 3). Suas exposições são mostradas na tabela 27.

Tabela 27 - Informações relativas aos caminhões Randon / Pedreira C

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Caminhão 1	C	18%	1,28	0,15	0,24	0,30	0,50			10,73
	D	5%	0,38	0,22	0,36	0,47	0,75			7,34
	VC	30%	2,09	0,25	0,51	0,91	1,21			5,96
	VD	23%	1,63	0,31	0,51	1,07	1,36			6,02
	S,A	23%	1,62	0,09	0,15	0,21	0,32			8,23
	TOTAL	100%	7,00	0,21	0,37	0,65		0,92	16,18	10,73
Caminhão 2	C	22%	1,56	0,14	0,21	0,30	0,47			8,01
	D	6%	0,43	0,15	0,20	0,28	0,45			7,34
	VC	34%	2,38	0,24	0,40	0,69	0,95			7,93
	VD	27%	1,86	0,36	0,54	1,08	1,41			6,77
	S,A	11%	0,77	0,07	0,08	0,20	0,25			9,04
	TOTAL	100%	7,00	0,22	0,35	0,63		0,89	15,82	9,04
Caminhão 3	C	27%	1,91	0,16	0,25	0,34	0,54			8,01
	D	4%	0,28	0,19	0,19	0,38	0,54			7,81
	VC	28%	1,99	0,24	0,51	0,82	1,14			9,44
	VD	22%	1,54	0,36	0,55	1,25	1,55			8,89
	S,A	18%	1,29	0,06	0,09	0,21	0,26			18,85
	TOTAL	100%	7,00	0,21	0,36	0,65		0,93	18,56	18,85

Fonte: Arquivo Pessoal

O gráfico da variação dos níveis de vibração medidos no assento do caminhão 1 é mostrado na Figura 45.

Figura 45 - Gráfico da aceleração do caminhão 1 / Pedreira C

Fonte: Arquivo Pessoal

Na exposição, havia fila para o carregamento dos caminhões, por isso alguns períodos foram considerados sem atividade. Nota-se que novamente os valores de aceleração foram mais altos nos períodos onde havia viagem com a caçamba vazia, imediatamente seguidos de viagem com caçamba carregada. A aceleração resultante da exposição normalizada e o valor dose de vibração resultante ficaram entre o nível de ação e limite de exposição.

Para o caminhão 2, a exposição do trabalhador é mostrada na Figura 46.

Figura 46 - Gráfico da aceleração do caminhão 2 / Pedreira C

Fonte: Arquivo Pessoal

A exposição em relação a VCI do caminhão 2 foi menor que do caminhão 1. Comparativamente, pode-se perceber que o motorista do caminhão 2 fazia suas viagens de uma forma mais lenta, principalmente quando estava descarregado. Isso justificou o menor valor de aceleração resultante obtido.

Os caminhões 1 e 2, durante as medições, realizavam o menor percurso entre escavadeira e britador, enquanto o caminhão 3 ia até o fundo da cava. A exposição do operador do caminhão 3 é apresentada na Figura 47.

Figura 47 - Gráfico da aceleração do caminhão 3 / Pedreira C

Fonte: Arquivo Pessoal

O caminhão 3 foi o que gerou, entre os três modelos Randon, maiores valores de aren e VDVR, além do maior fator de crista. Este fator de crista foi obtido durante um período considerado sem atividade, onde o caminhão se encontrava parado e a aceleração média resultante era baixa. Possivelmente o operador se deslocou no banco, fazendo com que o acelerômetro captasse um pico e, ao ser dividido por uma aceleração média baixa, gerou um alto fator de crista.

Para todos os caminhões estudados o fator de crista foi maior que nove, mostrando presença de choques.

Embora o caminhão 3 fizesse suas jornadas para o fundo da cava, ao contrário dos caminhões 1 e 2, não se pode afirmar que a jornada diferenciada gerasse maiores valores de aren e VDVR, uma vez que a diferença entre os três caminhões foi baixa (5% para aren).

4.6.2.2. Caminhões fora-de-estrada Caterpillar

Os caminhões fora-de-estrada 4 e 5, da fabricante Caterpillar, modelo CAT 770 possuem 40 toneladas de capacidade, superior aos Randon. Estes dois

caminhões, assim como o 3 realizavam o maior trajeto, indo do britador até o fundo da cava para carregamento. As informações estão disponibilizadas na Tabela 28.

Tabela 28 - Informações relativas aos caminhões Caterpillar / Pedreira C

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Caminhão 4	C	19%	1,35	0,09	0,07	0,14	0,21			12,74
	D	6%	0,42	0,15	0,12	0,24	0,36			6,79
	VC	51%	3,55	0,19	0,21	0,38	0,55			11,32
	VD	17%	1,17	0,25	0,29	0,59	0,80			5,29
	S,A	7%	0,51	0,09	0,15	0,12	0,27			12,80
TOTAL		100%	7,00	0,17	0,19	0,34		0,50	9,39	12,74
Caminhão 5	C	18%	1,23	0,09	0,09	0,12	0,21			14,40
	D	4%	0,29	0,15	0,13	0,28	0,39			6,40
	VC	38%	2,64	0,20	0,23	0,41	0,60			11,87
	VD	15%	1,04	0,26	0,27	0,59	0,79			5,90
	S,A	26%	1,81	0,10	0,13	0,13	0,26			13,87
TOTAL		100%	7,00	0,16	0,18	0,31		0,48	9,30	14,40

Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 48 - Gráfico da aceleração do caminhão 4 / Pedreira C

Fonte: Arquivo Pessoal

Na Figura 48 pode-se verificar que os valores de VCI mais elevados se encontram novamente na fase de viajar descarregado e viajar carregado. Outro fato interessante é que na fase sem atividade foram medidos valores mais altos do que durante a fase de carregamento. Esse resultado pode ser explicado por alguma movimentação que o operador teve no assento durante essas fases, por se tratar de um período relevante (em torno de dois minutos).

Para o caminhão 4, em relação a aren, o valor encontrado está abaixo do nível de ação, por estar abaixo de $0,5 \text{ m/s}^2$. Em relação a VDVR o valor obtido está entre o nível de ação e limite de exposição. A jornada possui presença de choques pelo fator de crista obtido ser maior que nove. A exposição do operador do caminhão 5 é mostrada na Figura 49.

Figura 49 - Gráfico da aceleração do caminhão 4 / Pedreira C

Fonte: Arquivo Pessoal

Os valores de aren encontrados para o caminhão 5 estão abaixo do nível de ação, considerados aceitáveis para a exposição de sete horas por dia. Em contrapartida para VDVR, o valor encontra está entre o nível de ação e limite de exposição. Por terem sido mais baixos que o de costume, o fator de crista dessa medição foi mais alto, em torno de 14.40, o que caracteriza uma exposição com presença de choques.

4.6.2.3. Escavadeira

A escavadeira analisada foi a CAT 374 D, com capacidade de 11 toneladas, dependendo do empolamento da rocha desmontada. A Tabela e Figuras a seguir mostram a exposição.

Tabela 29 - Informações relativas ao caminhões Randon / Pedreira C

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Escavadeira	TOTAL	100%	7,00	0,29	0,18	0,33	0,58	0,54	11,94	12,88

Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 50 - Gráfico da exposição da escavadeira / Pedreira C

Fonte: Arquivo Pessoal

A aceleração resultante da exposição normalizada e o VDVR da carregadeira estudada ficaram entre o nível de ação e limite de exposição, com fator de crista maior que nove. Como o equipamento fica estacionado, houve aproximação entre os valores do eixo “z” e o eixo “x”. Os resultados da escavadeira da Pedreira C foram coerentes com as das outras Pedreiras.

4.6.2.4. Pás carregadeiras

As Pás Carregadeiras presentes na Pedreira C eram da marca Caterpillar e modelos L 580 e L 538, com 4 anos e 7 anos de idade, respectivamente. A função destas na Pedreira era de abastecer com brita os caminhões para venda do produto e remanejamento de algumas pilhas.

A maior Pá Carregadeira, a L 580 foi denominada como Pá Carregadeira 1 e a menor, Pá Carregadeira 2. A Tabela 30, de sua exposição, é apresentada a seguir.

Tabela 30 - Informações relativas às pás carregadeiras / Pedreira C

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposição diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Pá Carregadeira 1	TOTAL	100%	7,00	0,75	0,70	0,61	1,57	1,46	23,38	5,03
Pá Carregadeira 2	TOTAL	100%	7,00	0,31	0,33	0,33	0,72	0,67	22,05	20,44

Fonte: Arquivo Pessoal

O gráfico das acelerações resultantes geradas é apresentado nas Figuras 51 e 52.

Figura 51 - Gráfico da exposição da pá carregadeira 1 / Pedreira C

Fonte: Arquivo Pessoal

Os resultados da pá carregadeira 1 foram acima no nível de ação e limite de exposição, com fator de crista menor que nove, ou seja, sem presença de choques durante a exposição.

A Figura a seguir mostra a análise da exposição da Pá Carregadeira 2.

Figura 52 - Gráfico da exposição da pá carregadeira 2 / Pedreira C

Fonte: Arquivo Pessoal

A exposição da Pá Carregadeira 2 também ficou acima dos limites estabelecidos pela NHO-09, mesmo que em termos de aceleração resultante tenha ficado entre nível de ação e limite de exposição.

A jornada analisada girou em torno de 35 minutos e por cerca de 20 minutos o equipamento ficou inativo. Ao ser perguntado sobre esse fato, o operador afirmou que se tratava de sua jornada convencional, ou seja, ele fica grandes períodos parado pela indisponibilidade de tarefas. Assim, ficou decidido manter esse período de inatividade dentro do ciclo estudado, uma vez que retratava a situação real da jornada.

Fica evidente novamente que as pás carregadeiras são responsáveis pelos valores mais altos de aren e VDVR. Ressalta-se a sensibilidade dos níveis de VCI gerados ao modo de operação que o equipamento possui, pela diferença significativa encontrada entre pá carregadeira 1 e pá carregadeira 2.

4.6.2.5. Resumo – Pedreira C

Na Tabela a seguir pode-se verificar um resumo das exposições estudadas da Pedreira C.

Tabela 31 - Resumo das exposições / Pedreira C

Veículo	Fase	% Tempo em Cada Fase	Exposiçã o diária em cada Fase (horas)	amx m/s ²	amy m/s ²	amz m/s ²	amr m/s ²	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC
Caminhão 1	TOTAL	100%	7,00	0,21	0,37	0,65		0,92	16,18	10,73
Caminhão 2	TOTAL	100%	7,00	0,22	0,35	0,63		0,89	15,82	9,04
Caminhão 3	TOTAL	100%	7,00	0,21	0,36	0,65		0,93	18,56	9,44
Caminhão 4	TOTAL	100%	7,00	0,17	0,19	0,34		0,50	9,39	12,74
Caminhão 5	TOTAL	100%	7,00	0,16	0,18	0,31		0,48	9,30	14,40
Escavadeira	TOTAL	100%	7,00	0,29	0,18	0,33	0,58	0,54	11,94	12,88
Pá Carregadeira 1	TOTAL	100%	7,00	0,75	0,70	0,61	1,57	1,46	23,38	5,03
Pá Carregadeira 2	TOTAL	100%	7,00	0,31	0,33	0,33	0,72	0,67	22,05	20,44

Fonte: Arquivo Pessoal

As Figuras 53 e 54 mostram os gráficos dos valores de aren e VDVR, comparados com o nível de ação e limite de exposição.

Figura 53 - Resumo aren / Pedreira C

Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 54 - Resumo VDVR / Pedreira C

Fonte: Arquivo Pessoal

Todos equipamentos, com exceção das duas Pás Carregadeiras, ficaram entre o nível de ação e limite de exposição, ao considerar o conjunto aren e VDVR. Os equipamentos com menores valores associados a VCI foram os caminhões Caterpillars, seguidos da escavadeira. Outro ponto de interesse foi o fato dos caminhões maiores, 4 e 5, ficarem com exposições menos agressivas que os menores. Embora tenham idade semelhante, o sistema de suspensão dos caminhões 4 e 5 se mostrou superior para absorção de vibração. Além disso, os caminhões maiores são mais lentos em sua operação que os menores, como mostraram as medidas realizadas.

4.7. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Todos resultados obtidos nas três pedreiras estão compilados na Tabela 32.

Tabela 32 - Resumo VCI

Local	Veículo	aren m/s ²	VDVR (m/s ^{1,75}) ³	FC	Modelo	Ano de Fabricação
Pedreira A	Caminhão 1	0,74	15,01	9,85	RK 430 M	2009
	Caminhão 2	0,80	15,63	10,36	RK 430 M	2009
	Rompedor	1,04	18,76	9,20	CAT 323 D	2013
	Escavadeira	0,45	10,48	15,47	CAT 336 D	2013
	Pá Carregadeira 1	1,66	34,20	17,26	CAT 966 L	2013
	Pá Carregadeira 2	0,93	23,30	13,74	LIEBHERR L 538	2016
	Caminhão Pipa	0,58	10,75	8,60	FORD 2629	2013
	Perfuratriz	0,18	7,49	31,22	ATLAS COPCO ROCK D7	2010
Pedreira B	Caminhão 1	1,04	20,28	8,03	RK 425 B	1995
	Caminhão 2	1,05	20,93	8,02	RK 430 M	2008
	Caminhão 3	0,93	18,64	9,09	RK 430 M	2008
	Escavadeira	1,04	21,88	2,61	VOLVO EC 460	2008
	Pá Carregadeira 1	1,60	30,21	4,93	CAT 962 G	2002
	Pá Carregadeira 2	1,15	18,68	2,54	CAT 966 H	2010
Pedreira C	Caminhão 1	0,92	16,18	10,73	RK 430 M	2009
	Caminhão 2	0,89	15,82	9,04	RK 430 M	2009
	Caminhão 3	0,93	18,56	9,44	RD 430 M	2013
	Caminhão 4	0,50	9,39	12,74	CAT 770	2010
	Caminhão 5	0,48	9,30	14,4	CAT 770	2010
	Escavadeira	0,54	11,94	12,88	CAT 374 D	2013
	Pá Carregadeira 1	1,46	23,38	5,03	L 580	2014
	Pá Carregadeira 2	0,67	22,05	20,44	L 538	2011

Fonte: Arquivo Pessoal

4.7.1. Análise dos caminhões fora-de-estrada

Comparando as condições das pedreiras estudadas, as três possuíam boas condições de manutenção dos equipamentos, das vias, dos assentos e dos pneus.

Em relação ao sistema de amortecimento, todos, com exceção do Caminhão 1 da Pedreira B, eram do tipo 4 da escala de Hauck.

Comparando o valor de aceleração médio obtido com a recomendação européia apresentada na Figura 17, pode-se perceber que todos os caminhões se encontram entre os percentis 25% e 75% dos valores recomendados, ou seja, os resultados encontrados foram coerentes com medidas realizadas em outras pesquisas.

4.7.2. Análise das escavadeiras

Os valores encontrados na Pedreira B foram superiores às demais, em torno de 93% maior para aren e 83% para VDVR. Em relação a Pedreira A e C, os valores foram mais coerentes entre si.

De fato, a escavadeira da Pedreira B possuía uma idade superior as demais, o que pode comprometer o funcionamento do sistema de suspensão e conservação do sistema de amortecimento do assento.

Comparando com os ensaios de máquinas europeias da Figura 17, os valores encontrados para escavadeira estão dentro do percentil 25% a 75% para as Pedreiras A e C e acima do Percentil 75% para a Pedreira B. Ou seja, os valores encontrados de VCI na escavadeira da Pedreira B se situam entre os mais altos encontrados em outros estudos, mas ainda assim são coerentes com outros estudos.

4.7.3. Análise das pás carregadeiras

Em relação às pás carregadeiras houveram muitas discrepâncias entre os valores obtidos. Assim, ela mostrou-se o equipamento mais sensível à sua forma de operação e tamanho, conforme pode ser observado na Pedreira A. Neste local, em um mesmo tipo de terreno houve uma diferença de até 44% em termos de aren e VDVR.

Entre todos os tipos de equipamentos estudados, também foi o que gerou maior índice em termos de aren e VDVR, sendo a pá-carregadeira 1 da Pedreira A o maquinário com maior valor e a Pá Carregadeira 2 da Pedreira C o com menor.

Ao comparar os valores obtidos com a Figura 17, pode-se concluir que 4 das pás-carregadeiras estão acima do percentil 75%, uma está entre o percentil 75% e 25% e uma está abaixo dos 25% em relação a equipamentos semelhantes estudados na união europeia, mostrando enorme variação das grandezas obtidas. Mesmo com essa dispersão dos dados, todos os valores se encontraram dentro de sua faixa esperada de atuação.

5. CONCLUSÕES

Com os dados obtidos foi possível concluir que todos equipamentos estudados, com exceção da perfuratriz, geraram valores de VCI acima do nível de ação estabelecido pela NHO-09, ao se considerar ambos os parâmetros de análise (aren e VDVR), mas somente alguns valores ficaram acima do limite de exposição.

A análise do ciclo dos caminhões fora-de-estrada mostrou que a fase mais crítica é a de “viagem descarregada”, em decorrência das maiores velocidades empregadas. A segunda mais crítica é a “viagem carregada”, onde há velocidade reduzida devido ao aumento de peso do caminhão. As fases com menores valores são a de carregamento e descarregamento.

Os equipamentos mais preocupantes em termos de VCI foram as pás-carregadeiras, devido a tarefa que exigem operações com altas velocidade e acelerações. Os equipamentos com menores valores de aren e VDVR foram os que trabalham estacionados, sob esteiras, como perfuratrizes e escavadeiras.

Alguns resultados obtidos se mostraram muito próximos dos níveis de ação. Dessa forma, a melhor maneira de se controlar a exposição ao agente seria a limitação de horas trabalhadas, passando de sete para seis horas e trinta minutos. Outros foram muito acima destes níveis e poderiam ser corrigidos alterando-se a forma de operação do equipamento, melhoria do sistema de suspensão dos equipamentos e do sistema de amortecimento dos assentos. O sistema mencionado por Hauck, onde o operador configura seu peso no próprio assento poderia ser inserido para a diminuição dos valores encontrados.

O autor entende que dois estudos complementares são importantes para o entendimento dos níveis de VCI obtidos. O primeiro verificaria o sistema de amortecimento dos assentos de alguns equipamentos, comparando valores entre um acelerômetro no assento e outro em uma parte fixa do equipamento. O segundo consistiria em uma análise com vários operadores com características

antropométricas diferentes operando o mesmo equipamento, no mesmo trajeto e em velocidade controlada. Assim, se conseguiria estudar a influência de fatores antropométricos, como peso e altura, em valores de VCI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2002/44/EC, **DIRETIVA 2002/44/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 25 de junho de 2002 relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (vibrações)**, 2002.

ANEPAC, ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO, <http://www.anepac.org.br/>, acesso em 18/03/2019. 2018.

BACCI, D. L. C; DINIZ, T. M. R. G.; AQUINO, T. D.V.S. **Diagnostico socioambiental da atividade de mineração na região noroeste do município de São Paulo – Relacionamento com a comunidade e com o poder público.** Revista geociências. 2011

BECKER, T. **Comparação entre critérios de exposição à VCI**, UFRGS, Porto Alegre, 2015.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR 9: Programa de prevenção de riscos ambientais**, 2014a.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR 15: Programa de prevenção de riscos ambientais**, anexo 8, 2014b.

BRASIL, Ministério da Previdência Social, Anuário estatístico de acidentes do trabalho. Disponível em : <http://www.previdencia.gov.br/2015/01/estatisticas-anuario-estatistico-de-acidentes-do-trabalho-2013-ja-esta-disponivel-para-consutla/> . Data de acesso: 17/04/2018. 2015.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego, **LISTA DE DOENÇAS RELACIONADAS COM O TRABALHO**, disponível em

http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/doencas_relacionadas_trabalho_2e_d_p1.pdf . Data de acesso: 07/05/2018. 2018.

BRÜEL & KJAER. **Human Vibration** – Livreto, Abril, 1988

BONGERS, P.M., HULSHOF, C.T.J., GROENHUT, H.J., DIJKSTRA, L., BOSHUIZEN, H.C., VALKEN, E., **Backpain and exposure to whole-body vibration in helicopter pilots**. Ergonomics Edição 33, 1990.

BOVENZI, M.; BETTA, A. **Low-back disorders in agricultural tractor drivers exposed to whole-body vibration and postural stress**. Applied Ergonomics, vol. 25., 1994.

BURSTROM, L. **Exposure to whole-body vibration in open-cast mines in the Barents region**, International Journal of Circumpolar Health, 2016.

CANN, P.A., SALMONI, A.W., EGER, T.R. **Predictors of whole-body vibration exposure experienced by highway transport truck operators**. Ergonomics edição 47. 2004;

CUNHA, I. A., **Exposição Ocupacional às vibrações Mecânicas: Considerações sobre os Principais Critérios Legais e Técnicos**. In: Revista ABHO de Higiene Ocupacional ano III. Março, 2004.

CUNHA, I. A., **Exposição Ocupacional à Vibração em mãos e braços em marmorarias no município de São Paulo: proposição de procedimento alternativo de medição**. São Paulo, 2006.

DUPUIS, H. **Medical and occupational preconditions for vibration-induced spinal disorders: occupational disease nº 2110 in Germany**. Int. Arch. occup. Environ. Health. Alemanha. 1994.

FRANCHINI, D. **Análise do nível de vibrações verticais no assento de um trato agrícola**. Dissertação de mestrado apresentada no programa de pós-graduação em engenharia agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

FREITAS, O., **Medidas de controlo de risco das vibrações: urgência**. <https://www.industria-transformadora.info/medidas-de-controlo-de-risco-das-vibracoes-urgencia/>. Data de acesso: 03/04/2018, 2014

FUNDACENTRO, NHO-09, **Norma de Higiene Ocupacional, Procedimento técnico – Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibração de Corpo Inteiro**, 2013a.

FUNDACENTRO, NHO-10, **Norma de Higiene Ocupacional, Procedimento técnico – Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibração em Mãos e Braços**, 2013b.

GRIFFIN, M.J. **Handbook of Human Vibration**. Academic Press, London, 1990.

GRIFFIN, M.J. **Vibration injuries of hand and arm: their occurrence and the evolution of standards and limits**, Health & Safety Executive, London, 1980.

HARRIS, C. M.; PIERSON, A. G.; ALLAN, G., **Harris Shock Vibration Handbook**. Mc Graw Hill, 2002.

HAUCK, M. **Amortecimento regulado para assentos de motorista de trator**. Tese de doutorado em engenharia mecânica – Universidade de Berlin, 2001.

HSE, Health & Safety Executive, **Whole-body vibration on agricultural vehicles: evaluation of emission and estimated exposure levels**. Prepared by Silsoe Research Institute and RMS Vibration Test Laboratory for the Health and Safety Executive. 2005

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. São Paulo: Blücher, 2005.

IRAMINA, W.S; TACHIBANA, I. K; SILVA, L. M. C.; ESTON, S. M.; **Identificação de controle de riscos ocupacionais em pedreira da região metropolitana de São Paulo**, 2009.

ISO. International Organization for Standardization. **Human response to vibration - Measuring instrumentation**, ISO 8041, Genebra, 2005.

ISO. International Organization for Standardization. **Human exposure to mechanical vibration and shock**, ISO 2631-1, Genebra, 1997a.

ISO. International Organization for Standardization. **Earth-moving machinery - Laboratory evaluation of operator seat vibration**, ISO 7096, Genebra, 2000.

ISO AMENDMENT. International Organization for Standardization. **Human exposure to mechanical vibration and shock**, ISO 2631-1, Genebra, 2010.

ISO, International Organization for Standardization, **Guide for evaluation of human exposure to whole-body vibration**, ISO 5439. Genebra, 1997b.

JI, X., EGER, T.R., DICKEY, J.P., **OPTIMIZING SEAT SELECTION FOR LHD IN THE UNDERGROUND MINING ENVIRONMENT**. THE JOURNAL OF THE SOUTHER AFRICAN INSTITUTE OF MINING AND METTALURGY, 2016.

KITTUSAMY, N.K., BUCHHOLZ, B., **Whole body vibration and postural stress among operators of construction equipment: a literature review**. 2004.

KUMAR S. **Vibration in operating heavy haul trucks in overburden mining**. Applied Ergonomics edição 35. 2004.

KUMAR, D. C., ASHIS, B., KUMAR, A. P., **Whole-body Vibration Exposure of Drill Operators in Iron Ore Mines and Role of Machine-Related, Individual, and Rock-Related Factor**, Kharagpur, India, 2015.

LOPES, J. L. L, **Análise de Vibração Ocupacional de Corpo Inteiro em Máquinas Colhedoras de Cana-de-Açúcar**, 2012.

MORSCH, I. B. **Análise estrutural de veículos comerciais tipo ônibus**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2001

NARAYAN, Y. **Low backpain among RCMP officers: A investigation into vehicles, duty belts and boots. A Research Report to RCMP**, Ottawa. 1997.

OLIVEIRA, C.G., SIMPSON, D.M., NADAL, J., **Lumbar backmuscle activity of helicopter pilots and whole-body vibration**. J. Biomech. 34, 2001.

PALMER, K., GRIFFIN, M., BENDALL, H., PANNET, B., COGGON, D., 2000. **Prevalence and pattern of occupational exposure to whole body vibration in Great Britain: findings from a national survey**. Occupational. Environment, 2000.

REHN, B. et all, **Symptoms of musculoskeletal disorders among drivers of all-terrain vehicles in northern Sweden**, Suécia, 2005

RIIHIMÄKI, H. **Low-back pain, its origin and risk indicators**. Scandinavian Journal of Work, 1991.

SCHWARZE, S., NOTBOHM, G., DUPUIS, H., HARTUNG, E.. **Dose-response relationship between whole-body vibration and lumbar disk disease – a field study on 388 drivers of different vehicles**. 1988.

SEIDEL, H., HEIDEL, R., 1986. **Long-term effects of whole-body vibration: a critical survey of the literature**. Int. Arch. Occup. Environ. Health. Alemanha, 1986.

SMETS, M.P.H., **Whole-body vibration experienced by haulage truck operators in surface mining operations: A comparison of various analysis methods utilized in the prediction of health risks**, 2010.

USP. Universidade de São Paulo. **Apostila de Higiene Ocupacional eHO-002**, Capítulo 3 - Vibrações, São Paulo, 2017.

WALBER, M. TAMAGNA, A. **Avaliação dos níveis de vibração existentes em passageiros de ônibus rodoviários intermunicipais, análise e modificação projetual**. Tese de doutorado apresentada ao programa de pós-graduação em engenharia mecânica da universidade federal do Rio Grande do Sul, 2010.

WICHERS, M. **Ferramentas para o prognóstico do ruído ambiental em pedreiras**. Tese de doutorado apresentado a escola politécnica da universidade de São Paulo, 2017

WICKSTROM, B.O., KJEUBERG, A., LANDSTROM, U., 1994. **Health effects of long-term occupational exposure to whole-body vibration, a review**. Int. J. Ind. 1994.

VILLAGE, J., MORRISON, J., LEONG, D. **Whole-body vibration in underground loadhaul-dump vehicles**. Ergonomics edição 32. 1989.