

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

JANICE MELLO MATTOS HABIB GREGORI

**ANÁLISE DA VIBRAÇÃO OCUPACIONAL E DE RUÍDO NA UTILIZAÇÃO DE
FURADEIRAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CURITIBA
2017**

JANICE MELLO MATTOS HABIB GREGORI

**ANÁLISE DA VIBRAÇÃO OCUPACIONAL E DE RUÍDO NA UTILIZAÇÃO DE
FURADEIRAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil - Área de Concentração: Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai

CURITIBA
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

G821a Gregori, Janice Mello Mattos Habib
2017 Análise da vibração ocupacional e de ruído na utilização
de furadeiras na construção civil / Rodrigo Eduardo
Catai.-- 2017.
130 f.: il.; 30 cm.

Disponível também via World Wide Web.
Texto em português com resumo em inglês.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica
Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil, Curitiba, 2017.
Bibliografia: p. 120-128.

1. Vibração. 2. Ruído. 3. Administração de risco.
4. Construção civil. 5. Higiene do trabalho. I. Catai,
Rodrigo Eduardo, orient. II. Universidade Tecnológica Federal
do Paraná - Programa de Pós-graduação em Engenharia
Civil, inst. III. Título.

CDD: Ed. 22 -- 624

Biblioteca Ecoville da UTFPR, Câmpus Curitiba
Bibliotecária Lucia Ferreira Littiere - CRB 9/1271

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº124

A Dissertação de Mestrado intitulada “Análise da vibração ocupacional e de ruído na utilização de furadeiras na construção civil”, defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) Janice Mello Mattos Habib Gregori, no dia 31 de julho de 2017, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Construção Civil, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA:

Prof(a). Dr(a). Rodrigo Eduardo Catai – Presidente – UTFPR
Prof(a). Dr(a). Cezar Augusto Romano – UTFPR
Prof(a). Dr(a). Esequiel Biasi Rodrigues – Volvo do Brasil

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 31 de julho de 2017.

À memória do meu pai Raif, pelo exemplo de pessoa e profissional, em quem sempre procurei me espelhar e seguir seus ensinamentos de vida.

À Marina e Manuela, como incentivo, pois adquirir conhecimento é sempre possível, bem-vindo e enriquecedor.

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que contribuíram para a concretização deste estudo expresso minha sincera gratidão.

Ao professor Dr. Rodrigo Eduardo Catai, pela oportunidade de realizar este trabalho, pela confiança, disponibilidade, amizade e orientação durante todo o processo de criação, estruturação, desenvolvimento e conclusão.

Ao professor Massayuki Mário Hara, pela parceria, aconselhamento e sugestões, além da importante participação na seleção e aquisição de boa parte dos equipamentos utilizados nesta pesquisa.

Ao Adriano, pela ajuda em todo o decorrer desta pesquisa, apoio, encorajamento e muitas vezes direcionando o foco a ser alcançado.

Aos membros da banca examinadora de qualificação, Prof. Dr. Cezar Augusto Romano e Prof. Dr. Alfredo Iarozinski Neto pela atenção, dedicação de tempo e contribuições para o enriquecimento deste estudo.

Aos membros da banca examinadora da dissertação, Prof. Dr. Cezar Augusto Romano e Dr. Esequiel Biasi Rodrigues pela atenção, dedicação de tempo e contribuições para o enriquecimento deste estudo.

E ao meu esposo, pelo apoio, paciência, carinho, compreensão e participação.

Ainda que chegues a viver cem anos, nunca deixes de aprender.
(Provérbio Persa)

RESUMO

Este trabalho visa avaliar a exposição à vibração ocupacional em mãos e braços em operação de furadeiras, e também o nível de ruído gerado pelas mesmas. Para tanto, foram feitas medições com furadeiras de diferentes marcas e potências, bem como diâmetros de brocas variados, desde equipamentos caseiros até equipamentos profissionais, totalizando 1.080 furos em madeira (MDF) e concreto. Os resultados mostraram que as menores brocas testadas apresentaram menor VMB. E que as furadeiras mais potentes tenderam a gerar menores níveis de vibração. Ainda, a partir dos resultados, foi possível instituir uma razão da VMB por potência de equipamento, bem como uma tabela de operação para cada cenário proposto. Conclui-se, portanto, que na furação em concreto, tem-se uma vibração média para a broca $\varnothing 6\text{mm}$, 238,43% maior do que para a broca de mesmo diâmetro em madeira. Para a broca $\varnothing 8\text{mm}$, 199,54% maior do que a broca de igual diâmetro em madeira. E para a broca $\varnothing 10\text{mm}$, 253,35% maior do que a broca de mesmo diâmetro em madeira. Portanto, ao se analisar a vibração ocasionada pela furação em concreto, independentemente da bitola de broca, percebe-se que a mesma é em média 3,30 vezes maior do que em madeira (MDF). Contudo, mesmo quando menores, os valores obtidos em MDF podem ultrapassar o limite normativo de 5m/s^2 . Já em relação ao ruído, ao furar concreto, os níveis médios encontrados foram, para a broca $\varnothing 6\text{mm}$, 269,14% maior do que a broca de mesmo diâmetro para madeira, 198,29% maior para a broca $\varnothing 8\text{mm}$, do que em madeira, e 228,29% maior para a broca $\varnothing 10\text{mm}$, do que em madeira. Por fim, de forma análoga, o nível de ruído obtido ao furar-se concreto, independentemente da bitola de broca, é em média 3,32 vezes maior do que em madeira (MDF).

Palavras-chave: Vibração; Ruído; Gestão de riscos; Construção civil; Higiene ocupacional.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the exposure to occupational vibration in hands and arms in drilling operations, as well as the noise level generated by them. Measurements were made with drills of different brands and potencies, as well as different drill diameters ranging from home equipment to professional equipment, totaling 1,080 holes in wood (MDF) and concrete. The results showed that the smaller drill bits tested showed lower HAV. And that the more powerful drills tended to generate lower levels of vibration. Also, from the results, it was possible to establish a ratio of the HAV per power of equipment, as well as a table of operation for each proposed scenario. It is concluded, therefore, that in the drilling in concrete, there is a medium vibration for the drill $\varnothing 6\text{mm}$, 238.43% greater for the drill of the same diameter in wood. For drill $\varnothing 8\text{mm}$, 199.54% larger than drill of the same diameter in wood. And for the drill $\varnothing 10\text{mm}$, 253.35% larger than the drill of the same diameter in wood. Therefore, when analyzing the vibration caused by drilling in concrete, regardless of the drill gauge, it is observed that it is on average 3.30 times larger than in wood (MDF). However, even when smaller, the values obtained in MDF can exceed the normative limit of 5m/s^2 . In relation to noise, when drilling concrete, the average levels found were, for the $\varnothing 6\text{mm}$ drill, 269.14% larger than the same diameter drill for wood, 198.29% larger for the $\varnothing 8\text{mm}$ drill than for wood drill, and 228.29% higher for the $\varnothing 10\text{mm}$ drill than for wood. Finally, similarly, the noise level obtained when drilling concrete, regardless of the drill gauge, is on average 3.32 times higher than in wood (MDF).

Keywords: Vibration; Noise; Risk management; Construction; Occupational health.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Equipamentos com ocorrência de vibração em mão-braço.....	28
Figura 2 – Frequências de vibração do corpo.....	29
Figura 3 – Exemplos de veículos que ocasionam vibração de corpo inteiro.....	30
Figura 4 – Exemplo de níveis de vibração.....	34
Figura 5 – Descrição básica para aceleração (a) 1Hz e (a) 3Hz e onda com amplitude de pico de 1.0m/s ²	35
Figura 6 – Deslocamento, velocidade e aceleração para uma onda senoidal mostrando picos assíncronos e depressões.....	36
Figura 7 – Direções do sistema de coordenadas para vibrações mecânicas em seres humanos.....	38
Figura 8 – Localização do sistema de coordenadas para vibração de mãos e braços.....	39
Figura 9 – Curva de ponderação em frequência para vibrações em mãos e braços Wh.....	40
Figura 10 – Curvas de ponderação em frequência para vibrações de corpo inteiro.....	41
Figura 11 – Valores de exposição diária à VMB para o acometimento da Síndrome de Dedos Brancos.....	47
Figura 12 – Curvas de compensação ou ponderação A e C.....	60
Figura 13 – Bibliometria: Número de documentos por ano.....	64
Figura 14 – Bibliometria: 5 periódicos que mais publicaram.....	65
Figura 15 – Bibliometria: 14 países com maior número de publicações e o Brasil.....	65
Figura 16 – Bibliometria: 15 instituições com maior número de publicações.....	66
Figura 17 – Bibliometria: 15 dos autores com maior número de publicações.....	66
Figura 18 – Diagrama de blocos das etapas gerais do experimento.....	71
Figura 19 – Detalhe do apoio lateral do quadro do painel de MDF.....	72
Figura 20 – Finalização do quadro e painel de MDF.....	73
Figura 21 – Elementos de fixação e nivelamento.....	74
Figura 22 – Canteiro de obras com corpos de prova fixados na parede.....	76
Figura 23 – Foto das nove furadeiras utilizadas.....	78
Figura 24 – Foto dos principais equipamentos de medição empregados.....	79
Figura 25 – Foto do acelerômetro 01dB-Metravib.....	80
Figura 26 – Foto de adaptadores para acelerômetro.....	80
Figura 27 – Exemplos de brocas para diferentes materiais.....	81
Figura 28 – As nove brocas para madeira da furadeira 6.....	82
Figura 29 – Exemplo de Microscopia das brocas para concreto.....	87
Figura 30 – Exemplo de Microscopia das brocas para madeira.....	88
Figura 31 – Fluxograma de realização dos ensaios de descarte de empunhadura.....	89
Figura 32 – Fluxograma de realização dos ensaios definitivos.....	90
Figura 33 – Gráfico dos resultados da capacitação das brocas para os ensaios de descarte de empunhadura.....	92
Figura 34 – Gráfico dos resultados da capacitação das brocas para os ensaios definitivos.....	94
Figura 35 – Gráfico das vibrações por furadeira para cada broca em madeira (MDF).....	100
Figura 36 – Gráfico do ruído por furadeira para cada broca em madeira (MDF).....	101
Figura 37 – Gráfico dos tempos por furadeira para cada broca em madeira (MDF).....	102
Figura 38 – Gráfico das vibrações por furadeira para cada broca em concreto.....	105
Figura 39 – Gráfico do ruído por furadeira para cada broca em concreto.....	105
Figura 40 – Gráfico dos tempos por furadeira para cada broca em concreto.....	106
Figura 41 – Gráficos dos limites de tempo de operação por furadeira.....	109
Figura 42 – Gráfico do ordenamento absoluto dos valores de vibração.....	110
Figura 43 – Gráfico da razão da vibração em mãos e braços por potência em madeira (MDF) (VMBP).....	112

Figura 44 – Gráfico da razão da vibração em mãos e braços por potência em concreto (VMBP).....112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exposição a vibrações em atividades econômicas.....	31
Quadro 2 – Efeitos da exposição à vibração na saúde.....	32
Quadro 3 – Equipamentos geradores de vibração de alta frequência.....	33
Quadro 4 – Fatores de ponderação e aplicações.....	40
Quadro 5 – Intervalos de frequência para o aparecimento de efeitos possíveis.....	44
Quadro 6 – Limites de exposição à vibração na Comunidade Europeia.....	45
Quadro 7 – Critério de julgamento e tomada de decisão NHO 10 – VMB.....	46
Quadro 8 – Efeitos das vibrações no corpo humano segundo a frequência de vibração...	50
Quadro 9 – Consolidação do estado da arte de VMB.....	67
Quadro 10 – Quadro com o detalhamento das furadeiras.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Acidentes do trabalho com CAT registrados.....	25
Tabela 2 – Custo dos acidentes do trabalho – em Bilhões de Reais.....	26
Tabela 3 – Referência da ACGIH para VMB.....	45
Tabela 4 – Valores de exposição diária A(8) para dedos brancos em 10% das pessoas expostas em função dos anos.....	48
Tabela 5 – Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente.....	61
Tabela 6 – Caracterização dos corpos de prova – Lajotas de Concreto.....	75
Tabela 7 – Resultados da capacitação de brocas para os ensaios de descarte de empunhadura.....	92
Tabela 8 – Resultados da capacitação de brocas para os ensaios definitivos.....	93
Tabela 9 – Registros de vibração por eixo do descarte de empunhadura em madeira (MDF).....	95
Tabela 10 – Comparativo da vibração de cada empunhadura para madeira (MDF).....	95
Tabela 11 – Registros de vibração por eixo do descarte de empunhadura em concreto... ..	96
Tabela 12 – Comparativo da vibração de cada empunhadura para concreto.....	97
Tabela 13 – Dados dos ensaios definitivos em madeira (MDF).....	98
Tabela 14 – Análise dos dados para madeira (MDF).....	99
Tabela 15 – Análise de tendência de vibração e ruído por diâmetro de broca em madeira (MDF).....	99
Tabela 16 – Dados dos ensaios definitivos em concreto.....	103
Tabela 17 – Análise dos dados para concreto.....	104
Tabela 18 – Análise de tendência de vibração e ruído por diâmetro de broca em concreto	104
Tabela 19 – Referencial para limites de tempo em operação de furadeira.....	107
Tabela 20 – Razão da vibração em mãos e braços por potência (VMBP).....	111

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

∅ – diâmetro

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACGIH – *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*

BEI – *Biological Exposure Indices*

CAT – Comunicação de Acidente do Trabalho

CID – Classificação Internacional de Doenças

EPI – Equipamento de Proteção Individual

FUNDACENTRO – Fundação Jorge Duprat e Figueiredo

HAV – *Hand-Arm Vibration*

HAVS – *Hand-Arm Vibration Syndrome*

HTV – *Hand-transmitted vibration*

INSS – Instituto Nacional do Seguro Social

IOHA – *International Occupational Hygiene Association*

ISO – *International Organization of Standardization*

LFF – *Low-frequency fatigue*

MB – Mãos e braços

MDF – *Medium Density Fiberboard*

MPT – Ministério Público do Trabalho

MS – Membros superiores

NI – Não informado

NIOSH – *National Institute of Occupational Safety and Health*

NHO – Norma de Higiene Ocupacional

NR – Norma Regulamentadora

OMS – Organização Mundial de Saúde

OSHA – *Occupational Safety and Health Administration*

PAIR – Perda Auditiva Induzida pelo Ruído

PPRA – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais

RDOO – *Raynaud Disease of Occupational Origin*

SDS – *Slotted Drive System*

SVMB – Síndrome da vibração em mãos e braços

TLV – *Threshold Limit Values*

VCI – Vibração de corpo inteiro

VDRV – Valor da dose de vibração resultante

VMB – Vibração em mãos e braços

VMBP – Vibração em mãos e braços por potência

VTM – Vibração transmitida à mão

VWF – *Vibration-induced White Finger*

WHO – *World Health Organization*

SUMÁRIO

1. Introdução.....	18
1.1 Objetivos.....	19
1.1.1 Objetivo Geral.....	19
1.1.2 Objetivos específicos.....	19
1.2 Justificativas.....	20
1.3 Delimitação do estudo.....	21
1.4 Hipóteses.....	21
1.5 Estrutura do Trabalho.....	22
2. Revisão Bibliográfica.....	23
2.1 Saúde Ocupacional.....	23
2.2 Vibração.....	26
2.2.1 Vibração ocupacional.....	28
2.2.2 Grandezas físicas das vibrações.....	33
2.2.3 Tipos de vibrações.....	36
2.2.4 Direção das vibrações.....	37
2.2.5 Quantificação da vibração.....	39
2.2.6 Normas e legislação pertinentes.....	42
2.2.7 Limites de tolerância para Vibração em Mãos e Braços (VMB).....	44
2.2.8 Efeitos das vibrações no corpo humano.....	48
2.2.9 Doenças associadas.....	51
2.2.10 Formas de medição.....	53
2.2.11 Instrumentos para medição.....	54
2.3 Som.....	55
2.3.1 Ruído.....	55
2.3.2 Tipos de Ruído.....	57
2.3.3 Decibel.....	58
2.3.4 Intensidade sonora.....	58
2.3.5 Frequência.....	58
2.3.6 Pressão Sonora.....	58
2.3.7 Nível de pressão sonora.....	59
2.3.8 Compensação do nível de pressão sonora.....	59
2.3.9 Normas pertinentes.....	60
2.3.10 Limites de tolerância relativos ao nível de pressão sonora.....	61
2.3.11 Tempo de exposição.....	62
2.3.12 Formas de medição.....	62
2.3.13 Instrumentos para medição.....	63
2.3.14 Surdez provocada pelo ruído.....	63
2.4 Bibliometria.....	64
2.5 Estado da Arte.....	67
3. Metodologia.....	70
3.1 Materiais.....	71
3.1.1 Materiais utilizados nos corpos de prova.....	71
3.1.2 Furadeiras.....	76
3.1.3 Equipamentos utilizados para avaliação de vibração, ruído e outros agentes ambientais.....	78
3.1.4 Brocas.....	81
3.1.5 Equipamentos utilizados para a capacitação das brocas.....	82
3.2 Procedimentos.....	82
3.2.1 Descritivo dos experimentos.....	83
3.2.2 Planejamento dos experimentos preliminares de capacitação das brocas.....	86

3.2.3 Planejamento dos experimentos preliminares de descarte de empunhadura...	88
3.2.3 Planejamento dos experimentos definitivos.....	89
3.2.4 Tratamento de dados.....	90
4. Resultados e Discussões.....	91
4.1 Ensaio preliminares de capacitação das brocas.....	91
4.1.1 Capacitação das brocas para os ensaios de descarte de empunhadura.....	91
4.1.2 Capacitação das brocas para os ensaios definitivos.....	93
4.2 Ensaio preliminares de descarte de empunhadura.....	94
4.2.1 Descarte de empunhadura em madeira (MDF).....	94
4.2.2 Descarte de empunhadura em concreto.....	96
4.3 Ensaio definitivos.....	97
4.3.1 Resultados dos ensaios em madeira (MDF).....	97
4.3.2 Resultados dos ensaios em concreto.....	102
4.3.3 Análise global dos resultados.....	106
4.3.4 Análise pela razão VMBP.....	111
4.4 Considerações finais.....	114
5. Conclusões.....	116
5.1 Das considerações quanto às premissas iniciais.....	116
5.2 Sugestões para novas pesquisas.....	118
Referências.....	120
Apêndice A.....	129
Apêndice B.....	130

1. INTRODUÇÃO

O setor de Construção Civil, apesar de sua significativa contribuição para o desenvolvimento e bem-estar socioeconômico, é igualmente conhecido como gerador de riscos ocupacionais. Dentre todos, os agentes mecânicos e ergonômicos são os mais óbvios e mais facilmente identificados, muitas vezes fazendo com que os demais sejam negligenciados, por exemplo os agentes físicos, como o ruído e em especial a vibração (MPT, 2011).

Em 2013 o Instituto Nacional da Seguridade Social (INSS) registrou cerca de 717,9 mil acidentes de trabalho, um aumento de 0,55% comparado a 2012. Ainda em 2013 dentre os códigos de Classificação Internacional de Doenças (CID) que estavam com maior incidência nos acidentes de trabalho destacam-se ferimento do punho e da mão com 9,59%, fratura no punho e na mão 6,91% e traumatismo superficial do punho e da mão 6,36%, relativos ao total. Nas doenças do trabalho os mais frequentes foram lesões no ombro 21,91%, sinovite e tenossinovite 13,56% e dorsalgia 6,36%, do total. As partes do corpo com maior incidência de acidentes típicos foram o dedo com 29,93%, a mão 8,60% e o pé 7,67% (INSS, 2013).

Segundo a Norma Regulamentadora (NR) de número 9, riscos ambientais são os agentes físicos, químicos e biológicos existentes no ambiente de trabalho que, de acordo com algumas variantes como, natureza, intensidade e tempo de exposição, podem causar danos à saúde do trabalhador. Os agentes físicos são definidos na NR 09 como fontes de energia, as quais estão submetidos os trabalhadores, quais sejam: ruído, vibrações, pressões anormais, dentre outros (BRASIL, 2015a).

Dentre os agentes físicos, o ruído é o mais facilmente percebido e avaliado, por causar transtornos a curto, médio e longo prazo à saúde do trabalhador, regulamentado pela NR 09 e NR 15, Anexos N°1 e N°2 e Norma de Higiene Ocupacional (NHO) de número 1, e embora a vibração cause também muitos danos à saúde do trabalhador, só recentemente surgiram no Brasil, normas de higiene ocupacional específicas para vibração no corpo humano, que são as normas NHO 09 para avaliação da exposição ocupacional de corpo inteiro e NHO 10 para avaliação da exposição ocupacional em mãos e braços. Estudos dessa natureza necessitam de profissionais especializados, o que torna as avaliações incomuns, pelo custo e dificuldade de encontrar pessoas habilitadas para tal (CUNHA, 2000).

Vibração refere-se a movimentos oscilatórios de corpos sólidos devido a forças externas e internas (OMS, 2001; AGÊNCIA EUROPEIA PARA SAÚDE E SEGURANÇA NO TRABALHO, 2008). Pode surgir de várias fontes mecânicas com as quais o Homem possa ter contato, através de ferramentas ou equipamentos que vibrem. Pode ser transmitida ao corpo humano através da parte em contato com a superfície vibratória, como o cabo de uma máquina, pela superfície de uma peça de um equipamento, ou de uma máquina móvel. Sendo conduzida através dos pés e pernas ou mãos e braços e mais comumente pelo assento de um veículo (AGÊNCIA EUROPEIA PARA SAÚDE E SEGURANÇA NO TRABALHO, 2008; MCPHEE *et, al.*, 2009).

Na maioria dos países europeus, utiliza-se para avaliação de riscos à exposição a vibração em mãos e braços, a norma ISO 5349-1 (ISO, 2001), que no Brasil, até 2014 era referenciada pela norma regulamentadora NR 15, Atividades e Operações Insalubres, em seu anexo 8 como base legal para caracterização ou não de exposição (BRASIL, 2015b). Desde então, são referenciados os procedimentos da Norma de Higiene Ocupacional NHO 10 de 2012, para avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços (FUNDACENTRO, 2012b).

A Agência Europeia para Saúde e Segurança no Trabalho (2008) informa que em média, um em cada quatro trabalhadores Europeus está exposto tanto à vibração em mãos e braços (VMB), quanto ao corpo inteiro (VCI). Ressalta que a partir da implantação da Diretiva Europeia 22/44/EC, a avaliação da vibração cresceu em importância face aos novos desafios impostos pela Diretiva, e ainda, que a avaliação de vibração, embora sendo um risco bem conhecido, não é facilmente mensurado e tão pouco reduzi-lo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta dissertação foi desenvolver uma análise comparativa dos níveis de vibração ocupacional, ao qual os trabalhadores ficam expostos, durante a utilização de furadeiras manuais para furar madeira (MDF) e concreto, com as normativas vigentes.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta dissertação foram:

- Comparar os níveis de vibração obtidos com a utilização de furadeiras de diferentes potências;
- Analisar comparativamente os níveis de vibração obtidos na furação de madeiras com a de concreto;
- Analisar a influência do diâmetro da broca no valor de vibração obtido, para ambos os materiais testados (madeiras e concreto);
- Analisar o nível máximo de ruído associado a cada operação de furos realizada para cada uma das furadeiras selecionadas, comparando aos valores das normas pertinentes;
- Elaborar uma tabela de referência com os níveis de vibração associados ao tempo limite de exposição.

1.2 Justificativas

A vibração em mãos e braços (VMB), está presente em diversas atividades relacionadas principalmente à indústria da construção civil, seja em obras de grande ou pequeno porte, em pequenas reformas ou marcenaria, através de ferramentas elétricas como furadeiras, lixadeiras, esmerilhadeiras, serras circulares e outras.

O trabalhador, ao utilizar os diversos equipamentos geradores de vibração, corre riscos de manuseio e acidentes, mas também risco ocupacional, refletido através de mãos, punhos, braços e ombros, decorrentes das vibrações provenientes das ferramentas percussivas, a exemplo de martelos rompedores, marteletes pneumáticos, furadeiras de impacto e rotativas como a esmerilhadeira e lixadeira. É frequente exceder-se o limite de exposição ocupacional no uso dessas ferramentas, uma vez que as percussivas são utilizadas por mais de 2 horas diárias e as rotativas acima de 4 horas (AGÊNCIA EUROPEIA PARA SAÚDE E SEGURANÇA NO TRABALHO, 2008).

Problemas como dores nos membros superiores e pescoço, tem sido relatados com frequência por trabalhadores submetidos a esforços e exposição à vibração em mãos e braços (VMB), o que induz a relacionar a postura e ou mudanças posturais frequentes com a exposição vibratória em si. Ações preventivas e corretivas são necessárias, principalmente quando relatado pelos queixosos, dores relacionadas à contratura muscular, agravando problemas e impedindo o desempenho da atividade (PALMER *et al.*, 2001).

As informações sobre nível de aceleração nem sempre estão disponíveis nos equipamentos, no caso, furadeiras, ou ainda que existam, não representam os índices reais de furação para os diferentes cenários de uso possíveis, materiais, empunhaduras, tipos e tamanhos de broca, dentre outros.

Avaliar a vibração em ferramentas utilizadas no cotidiano, é de grande valia na prevenção de danos à saúde do trabalhador, tomando-se por base o limite de exposição determinado em normas vigentes, e assim calculando o tempo máximo de uso diário de uma ferramenta ou a combinação de várias, respeitando o limite total.

A criação de uma tabela referencial de fácil leitura e entendimento, de forma simples para melhor compreensão dos valores de exposição, possibilita a prevenção de danos futuros provenientes da exposição à vibração, por auxiliar o próprio trabalhador a verificar por quantas horas pode trabalhar com determinados equipamentos em sua jornada.

1.3 Delimitação do estudo

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizadas, nove furadeiras elétricas manuais, com potências variando entre 400W e 780W de diferentes marcas, sendo empregados nos ensaios, equipamentos de uso caseiro (*hobby*) e profissionais, com a utilização de brocas de três diferentes diâmetros, tendo como materiais utilizados para perfuração, a madeira e o concreto.

As avaliações de exposição ocupacional à vibração e ao ruído, ocorreram de acordo com os procedimentos determinados nas Normas de Higiene ocupacional NHO 10, para avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços e NHO 01, para avaliação da exposição ocupacional ao ruído.

1.4 Hipóteses

As hipóteses foram elaboradas partindo-se do pressuposto que diferentes condições de operação geram diferentes níveis de vibração, enquadrando-se ou não nos limites normativos de vibração ocupacional.

- Furadeiras de diferentes potências geram níveis de vibrações diferentes?
- Furadeiras mais potentes produzem maior vibração?
- Brocas de diâmetros menores geram menor vibração?
- E as brocas de maior diâmetro maior vibração?

- Quais as diferenças são percebidas furando diferentes materiais com o mesmo diâmetro de broca?

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho com o título de "Análise da vibração ocupacional e de ruído na utilização de furadeiras na construção civil", foi dividido em cinco capítulos: introdução, revisão bibliográfica, metodologia, resultados e discussões e conclusões.

No primeiro capítulo encontra-se a introdução, objetivos, justificativas, delimitação do estudo e hipóteses.

No segundo capítulo, encontra-se a revisão bibliográfica realizada pela autora com os principais conceitos sobre vibração e respectivas normativas, e a bibliometria, que fundamentam o estudo.

No terceiro capítulo são apresentados a metodologia, os materiais e procedimentos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa.

No quarto capítulo são apresentados os resultados e discussões provenientes das avaliações realizadas pela autora, no decorrer da pesquisa.

O capítulo cinco contém as conclusões sobre o estudo e sugestões para trabalhos futuros.

Finalizando, apresentam-se as referências que serviram de base no decorrer desta dissertação de mestrado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos que fundamentam a pesquisa, abrangendo os temas relacionados à vibração, com especial ênfase à vibração ocupacional e suas diferentes categorias, assim como as doenças ocupacionais associadas à vibração. Aborda-se ainda o conceito de ruído. São mencionadas algumas técnicas de medição para determinação destes agentes ocupacionais, bem como normas e procedimentos aplicáveis para estes.

2.1 Saúde Ocupacional

A Organização Mundial de Saúde (OMS), *World Health Organization* (2001) define saúde ocupacional, como uma atividade multidisciplinar que objetiva a proteção e promoção da saúde dos trabalhadores, através da prevenção e controle das doenças ocupacionais e acidentes, eliminando os fatores e riscos ocupacionais prejudiciais à saúde e segurança no trabalho. Destacam-se ainda o bem-estar físico, mental e social, que contribuem diretamente no desenvolvimento pessoal e manutenção da capacidade laboral.

Peixoto e Ferreira (2012) comentam que o avanço tecnológico trouxe melhorias e conforto para o homem, contudo, junto com as novidades vieram também alguns agentes nocivos, aos quais ficaram expostos os trabalhadores. Da exposição podem surgir em determinadas circunstâncias, doenças ocupacionais ou distúrbios no organismo, provenientes das condições de trabalho.

A higiene ocupacional é também conhecida como higiene industrial ou higiene do trabalho. Destaca-se pela prevenção e atua nos ambientes de trabalho, nas áreas administrativas, de engenharia e medicina do trabalho, buscando evitar a ocorrência das doenças ocupacionais. O que ocorre através da detecção dos agentes nocivos, quantificando a intensidade e propondo medidas de controle que proporcionem segurança no desenvolvimento de atividades laborais (PEIXOTO e FERREIRA, 2012).

De acordo com *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH – Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais, 2012), a higiene industrial trata-se de uma ciência com o fim de antecipar, reconhecer, avaliar e controlar os fatores ambientais e estresses causados nos locais de trabalho. Destes fatores podem

surgir doenças, transtornos à saúde e ao bem-estar, resultando em ineficiência dos trabalhadores.

A *International Occupational Hygiene Association* (IOHA – Associação Internacional de Higiene Ocupacional, 2012) define higiene ocupacional como o exercício de identificação de riscos químicos, físicos e biológicos, existentes no local de trabalho que poderiam gerar doença ou desconforto. Prima pela detecção da extensão do risco à exposição aos agentes perigosos e seu controle, a fim de prevenir problemas de saúde a longo ou curto prazo.

Segundo a *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA – Segurança Ocupacional e Administração de Saúde, 2012), a segurança ocupacional surge da antecipação, reconhecimento, avaliação e controle das circunstâncias de trabalho, de lesões ou doenças. O monitoramento ambiental e procedimentos analíticos são comumente utilizados para detectar o grau de exposição dos trabalhadores aos potenciais riscos à saúde.

Na Tabela 1, são apresentados os acidentes do trabalho apurados por Melo (2011) nos anos de 1990 a 2009, e de 2010 a 2015, nos dados disponibilizados pela Previdência Social, através do levantamento das Comunicações de Acidente do Trabalho – CAT registradas. Na mesma é possível perceber que o número de acidentes típicos é notavelmente maior que o número de doenças do trabalho reportados, no entanto, cabe ressaltar, que um acidente típico é com frequência mais facilmente percebido e reportado, que uma doença, uma vez que o primeiro é um evento instantâneo e agudo, enquanto o segundo, via de regra, é fruto de exposição prolongada e crônica. Por esse motivo, doenças ocupacionais fruto de exposição à vibração, são de mais difícil detecção, e por serem crônicas, e existir a possibilidade do trabalhador exercer diversas funções em diferentes empresas, antes que as mesmas comecem a se manifestar.

Tabela 1 – Acidentes do trabalho com CAT registrados

ANO	Típico		Trajeto		Doença do Trabalho		Total Nº
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	
1990	632.012	91,12%	56.343	8,12%	5.217	0,75%	693.572
1994	350.210	90,19%	22.824	5,88%	15.270	3,93%	388.304
1998	347.738	83,93%	36.114	8,72%	30.489	7,36%	414.341
2002	323.879	82,40%	46.881	11,93%	22.311	5,68%	393.071
2005	398.613	79,77%	67.971	13,60%	33.096	6,62%	499.680
2006	407.426	79,54%	74.636	14,57%	30.170	5,89%	512.232
2007	417.036	80,44%	79.005	15,24%	22.374	4,32%	518.415
2008	441.925	80,20%	88.742	16,10%	20.356	3,69%	551.023
2009	421.141	79,72%	89.445	16,93%	17.693	3,35%	528.279
2010	414.824	78,98%	94.789	18,05%	15.593	2,97%	525.206
2011	426.153	78,35%	100.897	18,55%	16.839	3,10%	543.889
2012	426.284	78,04%	103.040	18,86%	16.898	3,09%	546.222
2013	434.339	77,05%	112.183	19,90%	17.182	3,05%	563.704
2014	430.454	76,28%	116.230	20,60%	17.599	3,12%	564.283
2015	383.663	76,28%	106.039	21,08%	13.240	2,63%	502.942
Média	417.046	80,82%	79.676	15,21%	19.622	3,97%	516.344

Fonte: Adaptado de Melo (2011); INSS (2010; 2012; 2013; 2015)

Ainda avaliando as CAT reportadas por Melo (2011) tem-se a Tabela 2, que traz os custos das mesmas, onde é possível primeiramente perceber que as despesas são a cada ano muito maiores que as receitas do INSS, representando na verdade, quase o dobro do arrecadado, gerando um deficit médio de 4,5 bilhões de reais todo ano. Com base nesses dados, bem como os apresentados na Tabela 1, é possível inferir que as doenças ocupacionais, mesmo sendo em menor número absoluto de ocorrências, tendem a gerar custos proporcionalmente mais elevados, e com um agravante de serem via de regra continuados, benefícios estes que perdurarão por toda a vida do trabalhador, que por muitas vezes fica impedido de retornar a qualquer posto de trabalho e é aposentado precocemente por invalidez.

Tabela 2 – Custo dos acidentes do trabalho – em Bilhões de Reais

ANO	Receitas		Despesas		Deficit	
	R\$ bi	%	R\$ bi	R\$ bi	%	
2003	4,7	56%	8,4	3,7	44%	
2004	6,2	65%	9,6	3,4	35%	
2005	4,8	48%	10,0	5,2	52%	
2006	5,3	52%	10,2	4,9	48%	
2007	6,4	60%	10,7	4,3	40%	
2008	7,4	64%	11,6	4,2	36%	
2009	8,1	57%	14,2	6,1	43%	
2010*	6,2	55%	11,2	5,1	45%	
2011*	6,4	55%	11,6	5,2	45%	
2012*	6,4	55%	11,7	5,3	45%	
2013*	6,6	55%	12,1	5,4	45%	
2014*	6,6	55%	12,1	5,4	45%	
2015*	5,9	55%	10,8	4,8	45%	
Média	6,2	56%	11,1	4,9	44%	

*Dados extrapolados com base na Tabela 1 e valores monetários de anos anteriores

Fonte: Adaptado de Melo (2011)

Kang (2015) explica que a saúde ocupacional na Coreia por exemplo, em geral se concentra no ambiente de trabalho, mas esta não pode avançar sem abordar o estado de saúde dos trabalhadores, incluindo estilo de vida e doenças. O que não pode ser alcançado sem um melhor conhecimento do sistema de seguridade social. Pois, sem entender a situação das doenças ocupacionais em um país, os custos sociais seguirão sendo desperdiçados para determinar se uma doença manifestada nos trabalhadores é causada em decorrência de seu trabalho.

2.2 Vibração

A vibração pode ser encontrada em grande parte das atividades humanas, inclusive no funcionamento do corpo humano. A audição ocorre com ajuda da vibração do tímpano, a visão pela propagação das ondas luminosas. A vibração dos pulmões está associada à respiração, a vibração das cordas vocais está associada à fala, os batimentos cardíacos associados aos movimentos vibratórios do coração. Na área tecnológica, as vibrações têm importante papel em projetos de máquinas, estruturas, fundações, turbinas, sistemas de controle e outros (SOEIRO, 2011).

Saliba (2013) define vibração como um movimento oscilatório de um corpo, originado de forças em desequilíbrio de elementos rotativos e movimentos alternados de um equipamento. O corpo humano por suas características de inércia e elasticidade possui valores de frequência diferentes relativos às partes do corpo. É portanto possível

ocorrer ressonância, quando uma frequência externa coincide com a de uma das partes do corpo, resultando em amplificação do movimento. O efeito traduz-se na absorção da energia pelo corpo, o que explica os problemas e danos à saúde, que surgem ao longo de tempos excessivos de exposição.

Já Fantini Neto (2011) descreve vibração como um movimento oscilatório de um corpo relativo a outro como ponto referencial, sendo um fenômeno que ocorre em veículos, pontes rolantes, máquinas de ferramentaria, equipamentos motorizados portáteis, como furadeira, motosserra, e outros.

Enquanto Braga (2007) explica que vibração refere-se ao movimento oscilatório em torno de um ponto de referência, o qual determina a passagem periódica de pontos do corpo que oscila, por sua posição de equilíbrio.

De outra maneira Regazzi e Ximenes (2005) explicam de forma simples, que vibração é um movimento que pode ser periódico ou aleatório, partindo de um elemento estrutural ou a parte de uma máquina, com um movimento repetitivo partindo do repouso. Ressaltam que a vibração é dificilmente evitada, e surge de efeitos dinâmicos provenientes de tolerâncias de fabricação, folgas, do atrito entre peças de uma máquina, de componentes rotativos e de movimentos alternados. Comentam ainda, que é frequente que vibrações insignificantes excitem as frequências de outras peças da estrutura, ampliando-as, transformando-as em vibrações e ruídos intensificados e desagradáveis.

Peixoto e Ferreira (2012, p.57) definem vibração de forma semelhante a Saliba (2013) como sendo o movimento oscilatório de um corpo, proveniente de forças desequilibradas de componentes com movimento rotativo ou alternativo, de equipamentos e máquinas. Explicam que tanto a intensidade quanto a frequência do movimento oscilatório, ou seja, das vibrações, podem ser causadoras de desconforto, como formigamento e dormência leves, até perda de tato, sensibilidade extrema ao frio, perda de destreza, culminando na incapacidade laboral por problemas articulares. Na Figura 1 há alguns exemplos de equipamentos com ocorrência de vibração no sistema mão-braço.



Figura 1 – Equipamentos com ocorrência de vibração em mão-braço
Fonte: Soeiro (2011)

Vendrame (2005) explica que um corpo está submetido à vibração quando traça um movimento oscilatório em torno de um ponto fixo. O movimento pode ser observado através de um pêndulo, cordas de instrumentos musicais, ou do átomo.

Em se tratando de vibração, Soeiro (2011) destaca sua utilização na indústria, em testes de materiais e em processos de usinagem e soldagem. Industrialmente, cita as peneiras, as esteiras transportadoras, os compactadores, os misturadores, as máquinas de lavar e outros que utilizam a vibração na origem de operação.

Já Regazzi e Ximenes (2005) salientam que a vibração mecânica pode ser útil, quando utilizada numa linha de produção, em dispositivos alimentadores de peças numa linha de produção, em compactadores de concreto, em banhos de limpeza ultra sônicos, em britadores e bate-estacas.

Destaca-se a importância da medição da vibração transmitida a mãos e braços, por converter os movimentos oscilatórios a uma forma que se obtenha a avaliação das reações humanas, e assim possa contribuir para sua aceitabilidade (GRIFFIN, 1997).

2.2.1 Vibração ocupacional

Vendrame (2005) esclarece que a vibração é um movimento relativo aos corpos que possuem massa e elasticidade. Comenta que para ser caracterizada a exposição à vibração, é necessário o contato entre a máquina e o equipamento transmissor de vibração. Por sua vez, o corpo humano também possui vibração natural e valores de frequência, relacionadas às partes do corpo. Desta forma, quando uma frequência

externa coincide com aquela natural do sistema, resulta em ressonância, amplificando o movimento e absorção pelo corpo, através dos tecidos e órgãos. A seguir podemos observar na Figura 2 as principais frequências e partes do corpo correlatas (VENDRAME, 2005; SALIBA, 2013).

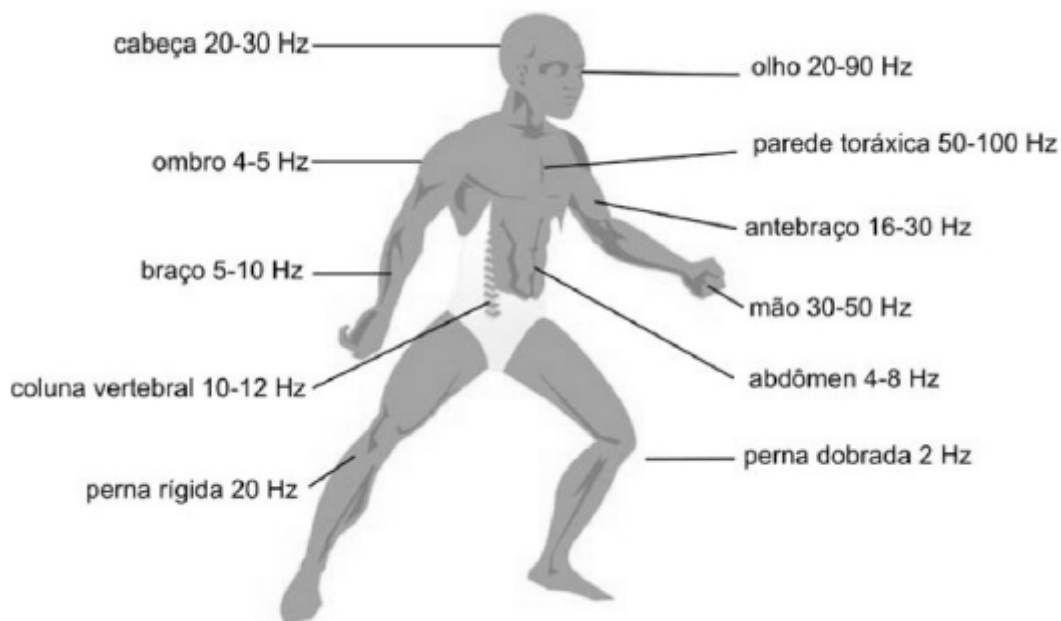


Figura 2 – Frequências de vibração do corpo
Fonte: Vendrame (2005)

As vibrações mecânicas podem ocasionar incômodos, lesões incapacitantes ou até irreversíveis, caracterizando-se como doença profissional. Podem ser percebidas através de partes de um equipamento, desequilíbrio, folgas, ou do contato da máquina que produz a vibração com a estrutura. Quando as vibrações produzidas, ainda que de pequena amplitude, são transmitidas a estruturas próximas, excitando as frequências de ressonância destas, surgirão novas fontes produtoras de vibrações de maior amplitude (BRAGA, 2007).

A vibração é de grande valia em algumas atividades industriais, testes de materiais, usinagem e soldagem. É notório, que muitas vezes o trabalhador atua como parte integrante no processo. A transmissão da vibração para qualquer parte do corpo pode resultar em desconforto ou perda de eficiência, constituindo assim, em grande risco para o operador. O qual poderá desenvolver perturbações neurológicas, musculares, vasculares e lesões osteoarticulares, provenientes das vibrações transmitidas ao sistema

mão-braço. Assim como, problemas na região lombar, e ainda, lesões na coluna vertebral, oriundas das vibrações transmitidas a todo o corpo. Alguns desses veículos são ilustrados na Figura 3 (SOEIRO, 2011).



Figura 3 – Exemplos de veículos que ocasionam vibração de corpo inteiro
Fonte: Soeiro (2011)

É perceptível ainda, que trabalhadores submetidos com frequência à vibração transmitida ao sistema mão-braço, proveniente de ferramentas elétricas manuais potentes, tem grandes chances de desenvolver doenças nos dedos, mãos ou braços, identificada como Síndrome da Vibração em Mãos e Braços (*Hand-Arm Vibration Syndrome – HAVS*) doença ocupacional relativamente comum, principalmente em alguns setores industriais (GRIFFIN, 1997; GRIFFIN e BOVENZI, 2002; YOUAKIM, 2012; AHN *et al.* (2013) YE *et al.*, 2014; YE e GRIFFIN, 2014;). Como consequência desta exposição surge o branqueamento dos dedos (*Vibration-induced White Finger – VWF*), causa de má circulação, onde o branqueamento normalmente surge quando exposto ao frio (YE *et al.*, 2014).

Outros distúrbios e severos riscos à saúde, são comumente associados à vibração transmitida a mãos e braços como os de ordem vascular, neurológica e músculo esqueléticas (ADAMO *et al.*, 2002).

Segundo Soeiro (2011), quando se faz a avaliação ocupacional da vibração em determinada atividade, e a caracterização do risco, diversos fatores devem ser considerados, como: a amplitude e frequência da vibração, a direção e o tempo a que está exposto o trabalhador.

Um levantamento realizado na Europa e reportado pelo SESI em 2007, lista atividades nas quais os trabalhadores estão especialmente expostos a vibrações ocupacionais, e com base em evidências clínicas correlaciona as atividades, as fontes de vibração e a parte do corpo afetada. O mesmo pode ser vislumbrado no Quadro 1.

Indústria / Atividade	Tipo de vibração	Principais fontes de vibração
Agricultura	corpo inteiro	operação de tratores
Fabricação de caldeiras	localizada	ferramentas pneumáticas
Construção civil	corpo inteiro localizada	operação de veículos pesados perfuratrizes e martelotes
Corte de diamantes	localizada	ferramentas manuais
Florestamento	corpo inteiro localizada	operação de tratores motosserra
Fundição	localizada	equipamentos pneumáticos
Fabricação de móveis	localizada	cinzel pneumático
Ferro e aço	localizada	ferramentas manuais
Serraria	localizada	motosserras/ ferramentas manuais
Fabricação de máquinas operatrizes	localizada	ferramentas manuais
Mineração	corpo inteiro localizada	veículos pesados/ off-road perfuratrizes
Rebitagem	localizada	ferramentas manuais
Borracha	localizada	ferramentas manuais
Trabalhos em pedra	localizada	ferramentas manuais
Têxtil	localizada	máquinas de costura/ teares
Transportes	corpo inteiro	veículos motorista e passageiro

Quadro 1 – Exposição a vibrações em atividades econômicas

Fonte: SESI (2007)

De forma semelhante a Soeiro (2011), Griffin (1997) também associou diversas variáveis físicas de importante relevância para o surgimento de efeitos gerados pela vibração transmitida ao sistema mão-braço, relacionadas na lista a seguir:

- Magnitude da vibração;
- Frequência da vibração;
- Direção da vibração;
- Duração da vibração;
- Área de contato com a vibração;
- Força de contato (força de aperto e força de empurrão);
- Dedo, mão e posição do braço; e

- Condições ambientais (ex.: temperatura).

Os efeitos provenientes da vibração nas pessoas, sofrem alterações em função das partes do corpo expostas, a ressonância e as faixas de frequência atribuídas àquela região, em relação ao tempo de exposição, à sensibilidade de cada indivíduo e outras variáveis ambientais (BALBINOT, 2001). No Quadro 2 é possível observar-se alguns efeitos e sintomas provocados pela exposição à vibração, em diferentes faixas de frequência.

Frequência Hz	Sistema atingido	Sintomas
0,1 a 0,7	Sistema nervoso	Náuseas, perda de peso, insônia, redução acuidade visual, desordens no labirinto e cólicas no cólon
1 a 10	Respiratório	Altera ventilação dos pulmões e taxa respiratória para $4,9\text{m/s}^2$
>20	Cardiovascular	Aumento da frequência cardíaca
1 a 30	Musculatura e postura	Reflexos lentos e difícil manter postura

Quadro 2 – Efeitos da exposição à vibração na saúde

Fonte: Balbinot (2001)

Thompson e Griffin (2009), ao analisarem o efeito da magnitude e da frequência da vibração no fluxo sanguíneo dos dedos, durante e após a exposição à vibração transmitida à mão, encontraram que durante a exposição, a vasoconstrição nos dedos depende tanto da frequência quanto da magnitude desta. E que a vibração produziu vasoconstrição semelhante nos dedos da mão exposta e não exposta. E ainda, que em todas as frequências investigadas, o incremento da magnitude da vibração, aumentou a vasoconstrição.

Observa-se também, que as dermatoses ocupacionais podem surgir face a presença de agentes físicos como o frio, calor, eletricidade, radiações ionizantes e não ionizantes, agentes mecânicos, vibrações, micro-ondas e laser (ALI, 2009). No Quadro 3 estão relacionados alguns equipamentos geradores de vibração de alta frequência e os tipos de atividades a que estão associados.

Equipamento	Tipo de trabalho
Furadeira elétrica manual	Indústria metalúrgica e mecânica, construção civil, instaladores
Motosserras	Indústria extrativa madeireira
Furadeira pneumática	Reparo de vias públicas, demolições, construção de túneis e estradas, extração de mármore

Quadro 3 – Equipamentos geradores de vibração de alta frequência

Fonte: Ali (2009)

2.2.2 Grandezas físicas das vibrações

Braga (2007, p.9) explica que para se avaliar a vibração, existem duas grandezas que precisam ser conhecidas:

- A Raíz Média Quadrática (RMS) ou valor Eficaz - é usualmente adotado para caracterizar a gravidade da vibração, pois representa o poder invasivo da vibração. É a medida da amplitude mais importante e utilizada, pois aponta a média da energia contida no movimento vibratório e indica o potencial destrutivo da vibração, bastante útil em análises de manutenção de máquinas (XIMENES, 2006, p.27).
- Pico_{MAX} - é a amplitude máxima da aceleração medida no intervalo que foi considerado. Reflete o nível de impacto de vibrações de curta duração.

A Norma ISO 2631 (1997) informa que independente do tipo de transdutor utilizado para descrever a intensidade de um ambiente vibratório, a quantidade primária deve ser a aceleração. Sendo usualmente expressa em metros por segundo ao quadrado (m/s^2). Contudo, alguns autores preferem utilizar escalas logarítmicas para representar a amplitude das vibrações, com valores expressos em decibéis (dB) (BRAGA, 2007, p.9).

Já segundo Soeiro (2011), os principais parâmetros relativos à amplitude da vibração são: nível de pico, nível de pico a pico e nível rms, exemplificados na Figura 4.

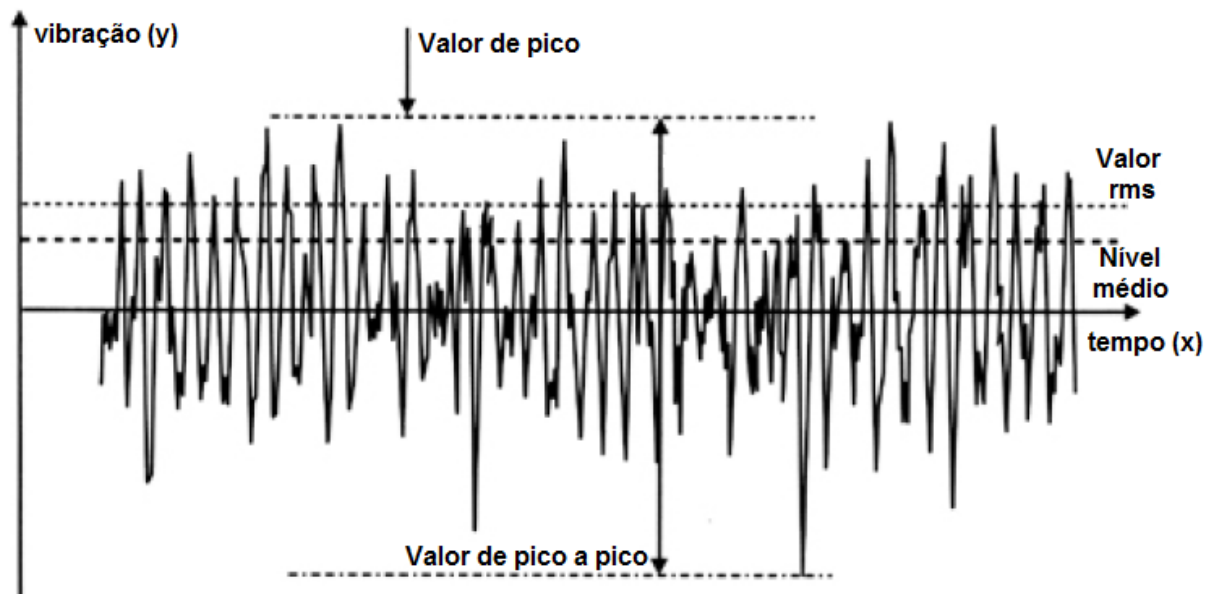


Figura 4 – Exemplo de níveis de vibração
Fonte: Adaptado de Vendrame (2005) e Soeiro (2011).

O nível rms ou valor eficaz, é considerado adequado para a avaliação da vibração e é definido pela Equação 1:

$$a_w(rms) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} a_w^2(t) dt} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

- $a_w(t)$ é a aceleração ponderada em m/s^2 no movimento vibratório de translação, ou rad/s^2 no rotacional;
- τ é o tempo de duração da medição em segundos; e
- $a(t)$ é a aceleração instantânea correspondente a um tempo t .

Ximenes (2006) ainda destaca algumas definições relacionadas a vibrações; descreve que um ciclo completo de vibração sucede quando um objeto ao deslocar-se de um ponto a outro, retorna à sua posição normal, assim sendo, o número de ciclos que um corpo vibrante completa por unidades de tempo, é denominado frequência, cuja unidade é o hertz (Hz), e sendo um hertz equivalente a um ciclo por segundo.

Mansfield (2005, p.2) explica que a maioria das ondas simples podem ser definidas matematicamente pela Equação 2:

$$a(t) = A \text{sen}(2\pi f \cdot t) \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

- $a(t)$ é a aceleração medida em m/s^2 no tempo (t);
- A é a amplitude; e
- f é a frequência medida em ciclos por segundo, com unidade hertz (Hz).

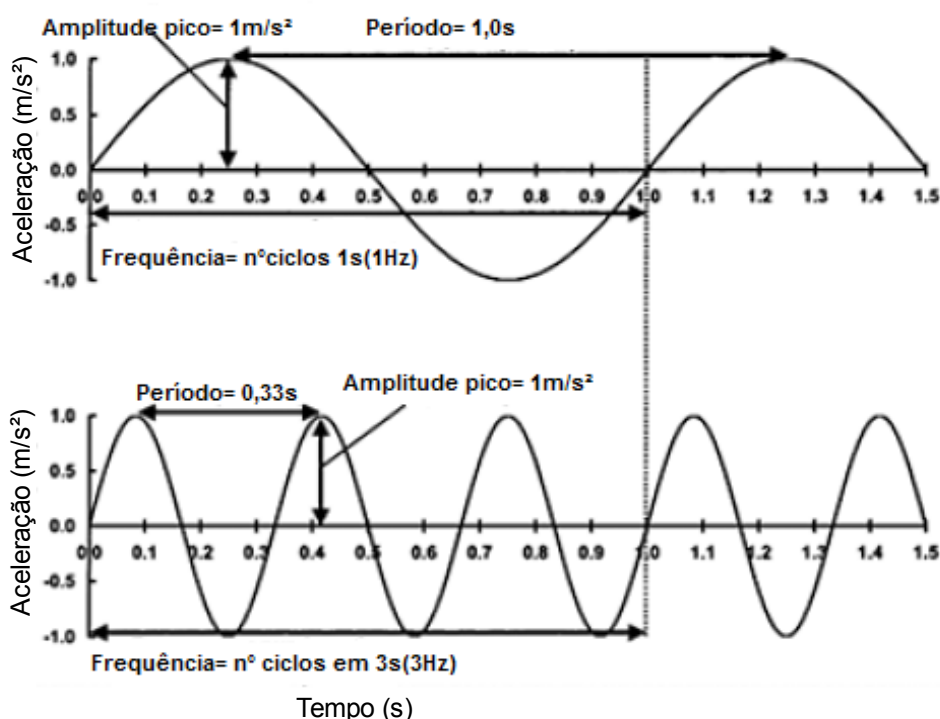


Figura 5 – Descrição básica para aceleração (a) 1Hz e (a) 3Hz e onda com amplitude de pico de 1.0m/s²
 Fonte: Mansfield (2005, p.3).

Observa-se na Figura 5, a descrição básica para aceleração (a) 1Hz e (a) 3Hz e onda com amplitude de pico de 1.0m/s², ondas senoidais, onde aumentando a frequência da onda, o período desta decrescerá. O que implica em um menor tempo de cada ciclo individual, gerar aumento de frequência. O autor comunica ainda que, é possível encontrar na literatura de engenharia, a frequência angular (ω) habitualmente em o radiano por segundo, conforme Equação 3:

$$\omega = 2\pi f \quad (\text{Eq. 3})$$

Mansfield (2005, p.3) também informa que um sinal vibratório pode ser identificado pelo deslocamento, pela velocidade e pela aceleração. Onde a amplitude de deslocamento é a distância máxima em relação à posição de equilíbrio, em qualquer um dos lados, e é medida em metros (m). A intensidade da vibração depende da amplitude e pode ser descrita pela velocidade, que salta de zero a um valor máximo em cada ciclo de vibração, e é expressa em metros por segundo (m/s); e a aceleração, que é relativa à variação da velocidade com o tempo, e é expressa em metros por segundo ao quadrado (m/s²). O que pode ser observado na Figura 6, deslocamento, velocidade e aceleração para uma onda senoidal mostrando picos assíncronos e depressões.

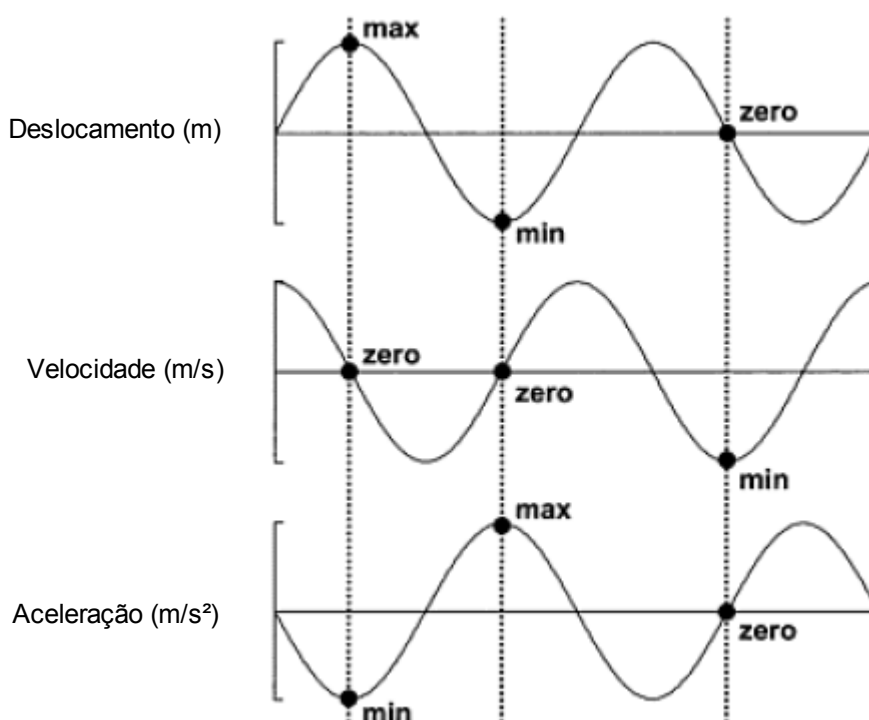


Figura 6 – Deslocamento, velocidade e aceleração para uma onda senoidal mostrando picos assíncronos e depressões.

Fonte: Mansfield (2005, p. 4).

lida (2005) relaciona três variáveis associadas à vibração. A frequência medida em ciclos por segundo e representada em Hz. A intensidade do deslocamento (ou afastamento) ou ainda aceleração máxima percebida pelo corpo, medida em g, fator gravitacional, onde 1g equivale $9,81\text{m/s}^2$. E a direção do movimento que ocorre em três eixos ortogonais, representados por: x (das costas para a frente), y (do lado direito para o esquerdo) e z (dos pés à cabeça).

2.2.3 Tipos de vibrações

A Norma ISO 2631(1997) explica que existem três tipos de exposição humana à vibração:

- 1) Vibrações transmitidas concomitantemente a todo o corpo e/ou a partes significativas do mesmo. Isto ocorre quando o corpo se encontra imerso no meio vibratório, por exemplo, quando a presença de ruídos no ar ou na água, de alta intensidade, excitam vibrações no corpo;
- 2) Vibrações transmitidas ao corpo todo através de superfícies de sustentação, como os pés de uma pessoa em pé, ou as nádegas de um homem sentado, ou mesmo a superfície de alguém recostado. Este tipo de vibração pode ser frequentemente

encontrado em veículos, em construções em movimento vibratório e nas cercanias de máquinas de trabalho; e

- 3) Vibrações percebidas por/aplicadas a partes específicas do corpo, tais como cabeça e membros. Estas vibrações ocorrem através de cabos, pedais, suportes de cabeça e inúmeras ferramentas e instrumentos manuais.

Para Peixoto e Ferreira (2012), as vibrações podem ser dos tipos:

- Localizadas – que são aquelas provenientes de ferramentas manuais gerando efeitos em partes específicas do corpo, como as articulações de mãos e braços; e
- Generalizadas – que provocam lesões de corpo inteiro. Normalmente associadas ao trabalho em grandes equipamentos, como caminhões, ônibus e tratores, ocasionando problemas na coluna vertebral e frequentemente, dores lombares.

Sugerem como medidas de controle aos efeitos provenientes das vibrações, a redução do tempo de exposição, pelo revezamento de trabalho (tarefa) e a adoção de procedimentos técnicos que minimizem intensidade das vibrações.

Os autores Vendrame (2005) e Braga (2007) informam que as vibrações transmitidas ao corpo humano ordenam-se em dois tipos, segundo a parte atingida do corpo:

- Vibrações de corpo inteiro – são de baixa frequência e alta amplitude e encontram-se na faixa de 0,5 a 80 Hz. Especificando de 1 a 20 Hz (SOEIRO, 2011). Vibrações deste tipo estão presentes em atividades de transporte; e
- Vibrações de mãos e braços, segmentais, de extremidades, ou ainda localizadas – situam-se na faixa de 6,30 a 1250 Hz e costumam ser as mais estudadas.

2.2.4 Direção das vibrações

As reações do corpo humano, relativas à percepção das vibrações, ocorrem de formas distintas em função da parte ou região do corpo que recebe a exposição. Assim sendo, são utilizados três eixos ortogonais denominados x, y e z, para a avaliação ocupacional da vibração. Onde a sensibilidade a vibrações longitudinais, que ocorre ao longo do eixo z, na coluna vertebral, é diferente da sensibilidade transversal, ao longo dos eixos x ou y, percebida através do tórax (VENDRAME, 2005; SOEIRO, 2011).

De acordo com a norma ISO 2631(1997), para a caracterização da exposição à vibração, as vibrações retilíneas devem ser medidas nas direções apropriadas de um sistema de coordenadas ortogonais, partindo da localização do coração como origem, onde as medições devem ser realizadas conforme a posição do trabalhador (altura do tórax sentado, altura da cintura sentado, em pé ou deitado, demonstrado na Figura 7, segundo os eixos x, y e z.

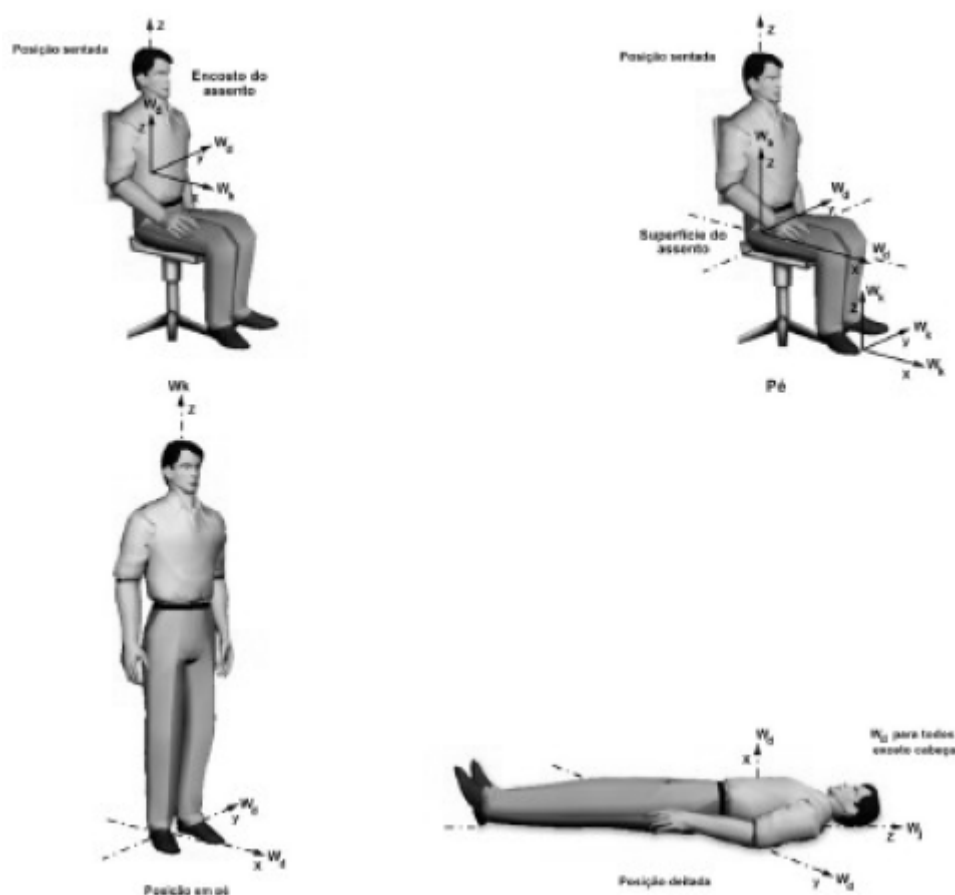


Figura 7 – Direções do sistema de coordenadas para vibrações mecânicas em seres humanos.
Fonte: Soeiro (2011).

Já em relação à exposição a vibrações em mãos e braços, a ISO 5349 (2001) e a NHO 10 (FUNDACENTRO, 2012b), determinam que as medições devem ser realizadas nos eixos x, y e z, de acordo com as posições ilustradas na Figura 8, onde observa-se a localização do sistema de coordenadas ortogonais como base para a identificação do ponto de medição pretendido.

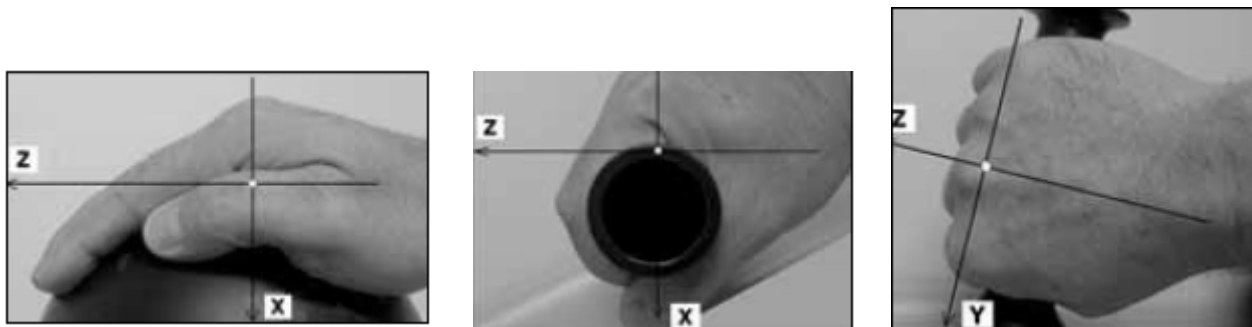


Figura 8 – Localização do sistema de coordenadas para vibração de mãos e braços
Fonte: Fundacentro, 2012b.

2.2.5 Quantificação da vibração

Saliba (2004) e Vendrame (2005) comentam que a vibração pode ser caracterizada tanto pelo deslocamento, quanto pela velocidade ou pela aceleração. Em higiene ocupacional, usualmente utiliza-se a avaliação da vibração a partir da aceleração, que tem por unidade o metro por segundo ao quadrado (m/s^2), e que também pode ser representada em decibéis (dB).

Vendrame (2005) explica ainda, que em ordem de grandeza a ser medida, a aceleração, que tem como valor de referência $10^{-6}m/s^2$, é mil vezes maior que a velocidade, com valor de referência $10^{-9}m/s^2$, e cem mil vezes maior que o deslocamento, com valor de referência $10^{-12}m$.

De forma semelhante, segundo informação do SESI (2007, p.161), em um movimento oscilatório, diversos parâmetros podem ser quantificados, entre os quais, o deslocamento, a velocidade e a aceleração. No âmbito da higiene industrial, usualmente avalia-se a aceleração, em m/s^2 , ou em decibéis (dB). Para a aceleração obtida em decibel, temos a seguinte equivalência na Equação 4:

$$dB = 20 \log \left(\frac{a}{a_0} \right) \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

- a é a aceleração avaliada (m/s^2); e
- a_0 é a aceleração de referência ($10^{-6}ms^{-2}$)

Conforme Soeiro (2011), o corpo humano tem reações diferentes ao contato com as vibrações por influência das diferentes faixas de frequência, da direção, caracterizada pelos eixos ortogonais x , y e z , e da parte ou partes afetadas, o que implica que sejam

aplicados fatores de ponderação em frequência nas avaliações de exposição à vibração de corpo inteiro e em mãos e braços.

No Quadro 4, pode-se observar os fatores de ponderação correspondentes a partes do corpo e eixos.

Ponderação nas frequências	Aplicação
W_h	Ponderação de extremidades nos eixos x,y e z – ISO 5349
W_k	Ponderação de corpo inteiro no eixo z – ISO 2631
W_d	Ponderação de corpo inteiro nos eixos x e y – ISO 2631

Quadro 4 – Fatores de ponderação e aplicações

Fonte: Gonçalves (2015).

Na Figura 9, tem-se a curva W_h , onde todas as acelerações são ponderadas em frequência para vibração transmitida a mãos e braços, ou de extremidades de acordo com a NHO 10 (FUNDACENTRO, 2012b).

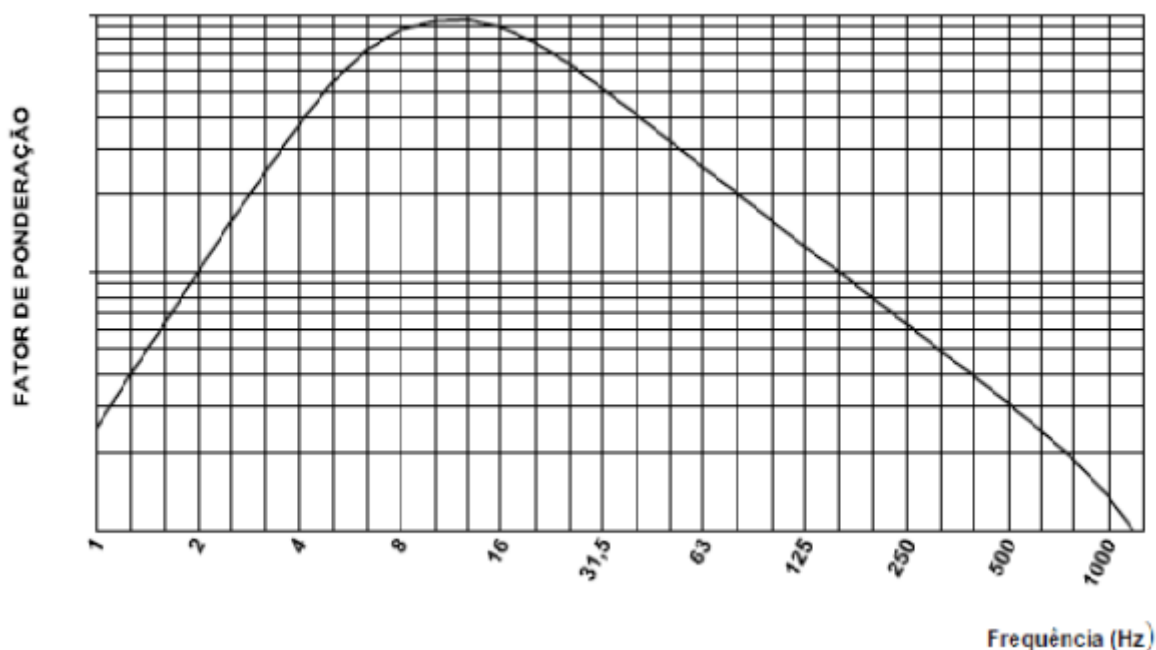


Figura 9 – Curva de ponderação em frequência para vibrações em mãos e braços W_h

Fonte: Fundacentro (2012b, p.17).

Da mesma forma, na Figura 10, observam-se as curvas W_k e W_d , onde todas as acelerações são ponderadas em frequência, sendo W_k para o eixo "z" e W_d para os eixos "x" e "y", de acordo com a NHO 09 (2012).

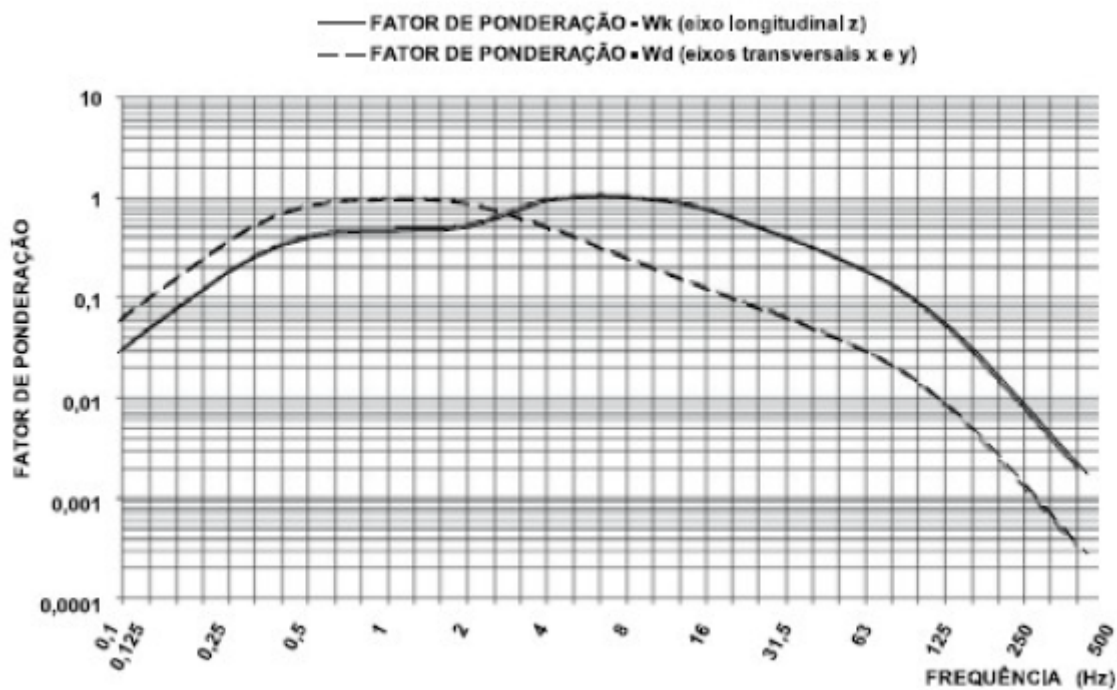


Figura 10 – Curvas de ponderação em frequência para vibrações de corpo inteiro
 Fonte: Fundacentro (2012a, p.19).

Segundo Soeiro (2011), o nível rms ou valor eficaz, é considerado o mais adequado para a avaliação da vibração e é definido pela Equação 1.

A norma ISO 5349, informa que muitas ferramentas elétricas com grande poder vibratório, podem interagir com a mão de contato de forma prejudicial, nas três direções. O que implica na medição da frequência ponderada rms em aceleração para os eixos x, y e z. O valor total de vibração a_{hv} , é definido pela raiz da soma dos quadrados dos valores dos três eixos, pela Equação 5 (ISO, 2001):

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

- a_{hv} é a aceleração resultante ou somatória dos eixos;
- a_{hwx} é a aceleração rms ponderada no eixo x;
- a_{hwy} é a aceleração rms ponderada no eixo y; e
- a_{hwz} é a aceleração rms ponderada no eixo z.

De acordo com Gonçalves (2015), a Equação 5 é também adotada pela Diretiva da Comunidade Europeia 2002/44/EU e NHO 10, ou seja, a soma vetorial dos três eixos.

Em Saliba (2004), tem-se que quando a vibração é diferente em dois ou mais períodos de jornada, deve ser considerada a aceleração equivalente, que pode ser obtida pela Equação 6.

$$A_{eq} = \sqrt{\frac{a_1^2 \cdot t_1 + a_2^2 \cdot t_2 + \dots + a_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

- A_{eq} = a aceleração equivalente ponderada; e
- a_n = valor de aceleração para o tempo de exposição t_n .

Já para o cálculo da aceleração normalizada, considerando uma jornada de trabalho padrão de 8 horas, deve-se utilizar a Equação 7 (SALIBA, 2004).

$$A(8) = A_{eq} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

- T = corresponde à duração de exposição total diária; e
- T_0 = corresponde ao tempo de duração de uma jornada de trabalho normal, ou seja, 8 horas.

2.2.6 Normas e legislação pertinentes

É possível destacar-se dentre a legislação existente, relativa a atividades ocupacionais aplicáveis no Brasil, as Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho: NR 09, NR 15 e NR 17; as Normas de Higiene Ocupacional: NHO 09 e NHO 10; as Normas ISO 2631 e ISO 5349; o conteúdo da Diretiva Europeia 2002/44/EU e as recomendações determinadas pela ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*).

A NR 09, determina a necessidade de elaboração e implementação, por todos que admitam trabalhadores como empregados, do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA). Esta norma visa preservar a saúde e integridade dos trabalhadores, por intermédio da antecipação, reconhecimento, avaliação e domínio sobre os riscos ambientais existentes ou que por ventura venham a surgir no ambiente de trabalho, e ainda focando na preservação do meio ambiente e dos recursos naturais. Em seu Anexo 01, Vibração – aprovado pela portaria nº 1.297, de 13 de agosto de 2014, expõe critérios para prevenção de doenças e distúrbios provenientes da exposição ocupacional a Vibrações em Mãos e Braços (VMB) e a Vibrações de Corpo Inteiro (VCI). Os

procedimentos para a avaliação quantitativa deverão seguir as recomendações das Normas de Higiene Ocupacional (NHO) da FUNDACENTRO (BRASIL, 2015a).

A NR 15, que trata de Atividades e Operações Insalubres, em seu Anexo 08, estabelece critérios para a caracterização e classificação de trabalho insalubre proveniente da exposição a Vibrações de Mãos e Braços (VMB) e Vibrações de Corpo Inteiro (VCI). Os fundamentos técnicos para as avaliações quantitativas de VMB e VCI, são aqueles determinados nas Normas de Higiene Ocupacional (NHO) da FUNDACENTRO, estabelecidos pela Portaria MTE nº 1.297, 13 de agosto de 2014 (BRASIL, 2015b).

A NR 17, que trata de Ergonomia, estabelece critérios para a adaptação das condições de trabalho a características dos trabalhadores, ao conforto, a segurança e eficiência no desempenho das funções (BRASIL, 2015c).

NHO 09 – Norma de Higiene Ocupacional, estabelece critérios e procedimentos para a avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro (VCI) que acarrete o aparecimento de problemas à saúde do trabalhador, tais como os relativos à coluna vertebral (FUNDACENTRO, 2012a).

NHO 10 – Norma de Higiene Ocupacional, estabelece critérios e procedimentos para a avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços (VMB) que acarrete o aparecimento de problemas à saúde do trabalhador, como a prevalência da síndrome da vibração em mãos e braços (SVMB) (FUNDACENTRO, 2012b).

ISO 2631-1 – A *International Standart Organization* (1997) - Vibração mecânica e choque – Avaliação à exposição humana à vibração de corpo inteiro – *Mechanical vibration and schock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements*, define métodos para quantificação da exposição à vibração em todo o corpo, relativa a:

- Saúde humana e conforto;
- A probabilidade da percepção à vibração; e
- A incidência do acometimento de náuseas ou enjôo.

Os autores Cunha (2000) e Vendrame (2005) comentam que apesar da norma ISO 2631-1,1997 não conter limites para a exposição à vibração, esta é importante, pois define métodos de avaliação que devem ser utilizados como base para estabelecer

limites. E ainda fornece valores de intervalos de frequências, associados ao aparecimento de efeitos da vibração, demonstrados no Quadro 5.

Frequências – Hz	Efeitos
0,1 a 0,5	Enjôo
0,5 a 80	Saúde, conforto e percepção

Quadro 5 – Intervalos de frequência para o aparecimento de efeitos possíveis

Fonte: ISO 2631-1 (1997)

ISO 5349 –1 – *International Standard Organization* (2001) – Vibração mecânica – Medidas e avaliação à exposição humana à vibração transmitida às mãos – *Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration –Part 1: General requirements*, fornece procedimentos para medir a exposição à vibração ao sistema mão-braço, nos três eixos ortogonais (x, y, z), diária ou periódica, mas não define limites de exposição segura à vibração (ISO 5349 –1, 2001).

Diretiva Europeia 2002/44/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de junho de 2002, relativa aos requisitos mínimos de segurança e saúde, face à exposição dos trabalhadores ao risco físico das vibrações mecânicas. Para a avaliação do nível de exposição ao sistema mão-braço (VMB), baseia-se no cálculo da exposição diária normalizada, numa jornada referencial de 8 horas, de acordo com as determinações da norma ISO 5349 –1(2001). E em relação a vibrações transmitidas ao corpo inteiro (VCI), baseia-se no cálculo da exposição diária, expressa como aceleração contínua equivalente para um período de 8 horas, segundo os procedimentos da norma ISO 2631-1(1997) (AGÊNCIA EUROPEIA PARA SAÚDE E SEGURANÇA NO TRABALHO, 2008).

ACGIH – *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (2013), denomina as vibrações em de corpo inteiro e mãos e braços. No que se refere a avaliações de exposições à vibração em mãos e braços, são adotados os critérios determinados pela ISO 5349, e para as avaliações de exposições à vibração de corpo inteiro, são indicados os procedimentos da ISO 2631 (ACGIH, 2013).

2.2.7 Limites de tolerância para Vibração em Mãos e Braços (VMB)

Os limites de tolerância fornecidos pela ACGIH, para vibrações localizadas, ou seja, em mãos e braços, tratam-se de níveis e períodos de exposição, para os quais estima-se

que a continuidade de repetições diárias, não evoluam para além do primeiro estágio da Classificação de Estocolmo, evitando o surgimento dos dedos brancos induzidos por vibrações (VENDRAME, 2005).

Na Tabela 3, observam-se os valores máximos de aceleração rms, ponderada em frequência, relacionados ao tempo de exposição diária.

Tabela 3 – Referência da ACGIH para VMB

Duração total da exposição diária	Valores da componente de aceleração dominante, rms, ponderada em frequência, que não devem ser excedidos	
	m/s ²	g
4 horas e menos de 8	4	0,40
2 horas e menos de 4	6	0,61
1 hora e menos de 2	8	0,81
Menos de 1 hora	12	1,22

Fonte: ACGIH (2013)

No Quadro 6, tem-se os limites de exposição à vibração adotados pela Diretiva Europeia 2002/44/CE, para mãos e braços e corpo inteiro.

Área afetada	Nível de ação	Limite de exposição
Mãos e Braços	2,5 m/s ² A(8)	5 m/s ² A(8)
Corpo inteiro	0,5 m/s ² A(8) ou 9,1 VDV	1,15 m/s ² A(8) ou 21 VDV

Quadro 6 – Limites de exposição à vibração na Comunidade Europeia

Fonte: Vendrame (2005).

A NR 09, através do Anexo 01, Vibração – aprovado pela portaria nº 1.297, de 13 de agosto de 2014, estabelece como nível de ação para a avaliação da exposição ocupacional diária à vibração em mãos e braços (VMB), o valor de 2,5m/s² e como limite de exposição ocupacional diária o valor de 5m/s². Para vibração de corpo inteiro (VCI) estabelece o nível de ação de 0,5m/s² ou o valor da dose de vibração resultante (VDVR) de 9,1m/s^{1,75}, e como limite de exposição ocupacional diária, o valor de 1,1m/s² ou o valor da dose de vibração resultante (VDVR) de 21,0m/s^{1,75}. Situações onde a exposição seja maior que o nível de ação, deverão ser adotadas medidas de caráter preventivo e caso sejam superiores ao limite de exposição ocupacional, as medidas deverão ser de caráter corretivo (BRASIL, 2015a).

A NR 15, em seu Anexo 08, determina como condição insalubre, quando superado o limite de exposição ocupacional diária à VMB, da aceleração resultante de exposição normalizada (aren) de 5m/s^2 . Já para VCI quando superados tanto o valor da aceleração resultante de exposição normalizada (aren) de $1,1\text{m/s}^2$ como o VDVR de $21,0\text{m/s}^{1,75}$.

A NHO 10 estabelece como valor de referência para o nível de ação para a exposição ocupacional diária à VMB, um valor de aceleração resultante de exposição normalizada (aren) de $2,5\text{m/s}^2$, e como limite de exposição ocupacional diária um valor de 5m/s^2 . Tomando por base estes valores, esta norma apresenta no Quadro 7, considerações técnicas, e a atuação recomendada conforme a aceleração resultante de exposição normalizada (aren), obtida a partir da exposição avaliada.

aren (m/s^2)	Consideração técnica	Atuação recomendada
0 a 2,5	Aceitável	Mín., manutenção condição existente
>2,5 a < 3,5	Acima nível de ação	Mín., adoção medidas preventivas
3,5 a 5,0	Região de incerteza	Medidas preventivas e corretivas, reduzir exposição diária
Acima de 5,0	Acima limite exposição	Adoção imediata medidas corretivas

Quadro 7 – Critério de julgamento e tomada de decisão NHO 10 – VMB

Fonte: Fundacentro (2012b, p.39).

Ferreira (2011, p.27) e Gonçalves (2014, p.39) comentam que a norma ISO 5349 – 1(2001) determina os valores de exposição diária A(8), para a ocorrência da síndrome do dedo branco em 10% das pessoas expostas em relação a um determinado número de anos (D), que ocorre de acordo com o gráfico da Figura 11.

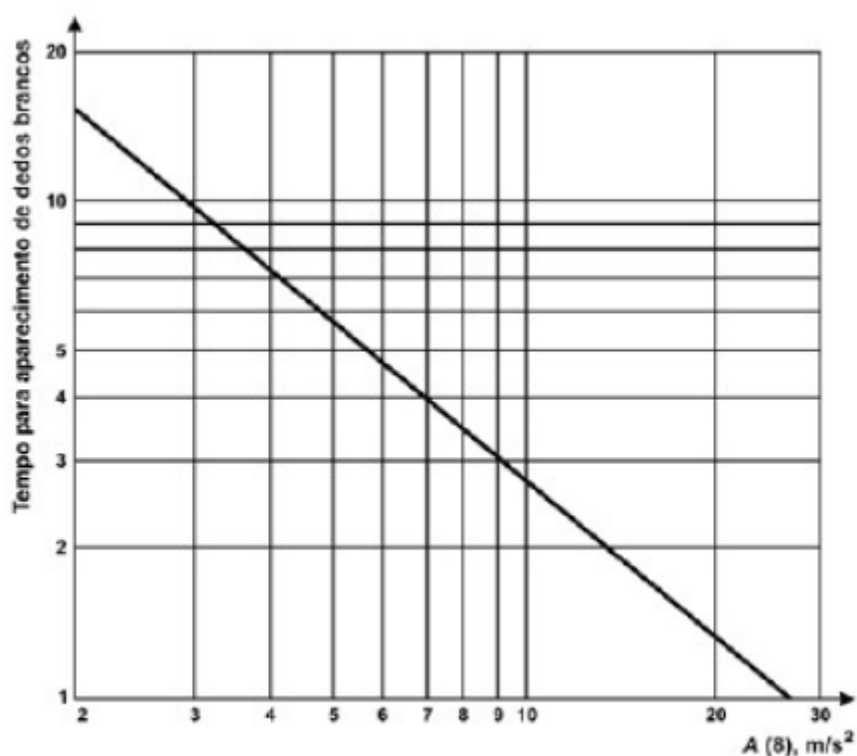


Figura 11 – Valores de exposição diária à VMB para o acometimento da Síndrome de Dedos Brancos
 Fonte: ISO 5349-1 (2001, p.17).

De acordo com Saliba (2013), com base na Equação 8, a relação $A(8)$ e D_y , pode ser melhor esclarecida através da interpolação das condições de exposição entre os valores da Tabela 4.

$$D_y = 31,8 [A(8)]^{-1,06} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

- D_y = duração total da exposição do grupo em anos, necessária para a ocorrência dos episódios de branqueamento nos dedos em 10% dos expostos; e
- $A(8)$ = exposição diária normalizada para um período de 8 horas.

Na Tabela 4, observa-se a exposição diária $A(8)$ para constatação de dedos brancos nas pessoas expostas em função dos anos, estimada para produzir branqueamento de dedos em 10% destas pessoas. Os valores são apresentados para as exposições médias do grupo de 1 a 8 anos.

Tabela 4 – Valores de exposição diária A(8) para dedos brancos em 10% das pessoas expostas em função dos anos

Dy anos	1	2	4	8
A(8) m/s ²	26	14	7	3,7

Fonte: ISO 5349-1 (2001)

A ISO 5349 (2001) informa que houve tentativas para estimar a exposição à vibração necessária para produzir diferentes prevalências de branqueamento dos dedos, em grupos de pessoas que executam trabalhos equivalentes, envolvendo ferramentas ou processos industriais similares.

2.2.8 Efeitos das vibrações no corpo humano

Quando em contato direto com a vibração transmitida por uma máquina, esta energia é transmitida ao corpo ou partes deste, e o efeito da exposição depende entre outros fatores, da maneira como esta ocorre, em qual região do corpo e da frequência da vibração, pois o corpo humano possui frequências de ressonância distintas para cada órgão, e o efeito da vibração é potencializado quando se aproxima das frequências de vibração do corpo. A severidade da exposição é determinada por fatores físicos, biomecânicos, e influenciada diretamente pela magnitude da intensidade de vibração e pelo tempo de exposição diária. Outros fatores como, a posição de mãos e braços durante a operação e as condições de manutenção e uso da ferramenta, diferentes máquinas e operadores, assim como as atividades e ambientes de trabalho, também interferem no aumento ou diminuição do risco. Monitorar todas estas variáveis não tem sido um procedimento frequente, contudo, determinante na avaliação final (GRIFFIN, 1997; LILJELIND *et al.*, 2011).

Griffin (2012), em estudos complementares sobre efeitos das vibrações transmitidas a mãos e braços, reafirma que exposições prolongadas resultam em distúrbios fisiológicos e patológicos, e relaciona com as diversas atividades e ferramentas vibratórias utilizadas. A dificuldade de estudo revela-se pela diversidade de parâmetros a serem analisados, como a variabilidade de magnitude, nível de frequência, direção em que ocorre sobre o corpo, duração da exposição, e ainda a multiplicidade de exposições ao longo do tempo. Complementa ainda, que muitas vezes, os mesmos, só aparecem após muitos anos de exposição à vibração. Reforça que é necessário reconhecer a complexidade relacionada entre as diversas causas e efeitos, que precisam ser

desvendados, mas sugere que apenas através de estudo epidemiológico, avaliando-se os profissionais expostos à vibração, é possível obter-se análises precisas.

Segundo Fantini Neto (2011), as vibrações podem ocasionar diversas desordens no organismo humano, tais como:

- Músculo esqueléticas: reumatismos (tendinite, tenossinovite, artrite, artrose), deformações na coluna vertebral, estiramentos, atrofia muscular;
- Digestivas: epigastria (dor na boca do estômago), dificuldade de digestão, apendicite, cólicas do cólon, sangramentos intestinais, náuseas;
- Mentais: reflexos lentos, diminuição ou perda de acuidade visual, insônia, perda de concentração;
- Circulatórias: Vasoconstrição periférica, edemas, síndrome dos dedos brancos, varizes, hemorroidas, aumento de frequência cardíaca; e
- Pulmonares: modificação da ventilação pulmonar.

Enquanto Braga (2007) relata alguns dos principais efeitos no organismo, provenientes da exposição à vibração sobre o sistema mão-braço:

- Falta de sensibilidade, tremor nos dedos, perda ou diminuição do tato, reflexo da Síndrome dos dedos brancos;
- Lesão das artérias e nervos das mãos;
- Danos nos tendões e músculos entre o pulso e o cotovelo;
- Elevação do acometimento de problemas no aparelho digestório, como hemorroidas, prisão de ventre e dores abdominais; e
- Alterações osteoarticulares percebidas em radiografias, como lesões no pulso e artroses.

Já Coggins *et al.* (2010) reportam que a exposição excessiva ou prolongada à vibração em mãos e braços está associada a uma vasta gama de efeitos adversos à saúde do trabalhador, que são conhecidos de forma genérica como Síndrome da Vibração em Mãos e Braços (SVMB), com manifestações nos sistemas vasculares, sensoriais e músculo esqueléticos, e em relação a exposição à vibração de corpo inteiro, os efeitos percebidos com maior frequência incluem dores nas costas, náusea, dores de

cabeça, visão turva ou embaçada, problemas circulatórios e degeneração do sistema nervoso.

Enquanto Bovenzi *et al.* (2011, p. 325) observaram que trabalhadores quando usualmente operam ferramentas vibratórias, com frequência reclamam de distúrbios sensoriais, como formigamento e entorpecimento nos dedos e nas mãos, além de apresentarem redução em sua destreza manual.

Os efeitos das vibrações transmitidas pelas mãos podem sofrer influência de outros elementos, como: a frequência (Hz) das vibrações, a amplitude, o tempo de exposição diário, a duração da tarefa a ser executada e os períodos de trabalho e descanso intercalados, a posição das mãos, braços, e postura global durante a exposição, o equipamento, peso, e o material utilizado na tarefa, e também o estado de conservação do equipamento (BRAGA, 2007). No Quadro 8, observam-se alguns efeitos sobre o organismo, de diferentes faixas de frequência de vibrações, associadas a ferramentas manuais ou veículos.

Frequência de vibração	Origem da vibração	Efeitos sobre o organismo
<1Hz	Aviões, barcos, automóveis	Estimulam o labirinto do ouvido esquerdo; Perturbação do sistema nervoso central; náuseas e vômitos
1 a 20Hz	Veículos de transporte de mercadorias e passageiros; Tratores e máquinas agrícolas; Maquinaria e veículos de obras públicas	Diversas patologias na coluna vertebral, lombalgias, hérnias; Sintomas neurológicos: dificuldade de equilíbrio, inibição de reflexos; diminuição da acuidade visual
20 a 1000Hz	Ferramentas manuais rotativas alternativas ou percussivas como polidoras, lixadoras, motosserras, martelos pneumáticos	Perturbações osteoarticulares como artroses, lesões de pulso; Síndrome de Raynaud; Afecções no aparelho digestivo, dores abdominais, obstipação, hemorroidas

Quadro 8 – Efeitos das vibrações no corpo humano segundo a frequência de vibração

Fonte: Adaptado de Ferreira (2011, p.23).

Burström *et al.* (2008) analisaram o limiar da percepção térmica relativa ao frio e calor, medidas antes e depois da exposição à vibração, em mãos e braços, com o objetivo de verificar que efeitos provoca a vibração na sensação de temperatura. O

estudo demonstrou que a vibração produz efeito agudo no limiar de sensibilidade ao frio, principalmente no dedo exposto. Em relação ao limiar ao calor e a zona neutra, não apresentaram mudanças significativas. Comumente a influência da vibração é determinada medindo-se o limiar de sensibilidade ao frio e calor (LUNDSTRÖM, 2002; PALMER e MARTIN, 2005).

Bovenzi (2010), ao investigar prospectivamente, a relação entre a indução de distúrbios vasculares provocados pela vibração e a medição da exposição diária à vibração transmitida à mão, encontrou que medir-se a exposição diária a partir da aceleração sem ponderação, acima da faixa de 6,3 a 1.250Hz, é preferível para a predição de tais distúrbios em usuários de ferramentas vibratórias, ao invés da medição obtida da aceleração com ponderação de frequência, de acordo com a ISO 5349-1.

Já Ye e Griffin (2013) perceberam que com maior área de contato com a vibração de 125Hz aplicada à eminência tênar (elevação na palma da mão formada por certos músculos do polegar), os limiares vibro tácteis reduzem, e as vasoconstricções induzidas por vibração aumentam. E ainda, que para vibrações de 125Hz aplicadas em diferentes áreas de contato, existem reduções similares no fluxo de sangue dos dedos, quando o nível de sensação é o mesmo.

De acordo com Ye *et al.* (2014, p.8), pessoas com maior redução no fluxo sanguíneo durante a exposição à vibração, também apresentam vasoconstricção mais forte e prolongada durante a recuperação subsequente.

Segundo Bovenzi *et al.* (2008, p. 622), medir a pressão arterial sistólica dos dedos, após o resfriamento local, pode ser uma prova objetiva útil, para monitorar prospectivamente, a mudança nos sintomas vasculares induzidos por vibração.

2.2.9 Doenças associadas

Algumas condições em que surgem dores nas mãos, foram associadas com exposição a fatores ocupacionais. Uma vez que as mãos são essenciais no desenvolvimento da maioria das atividades cotidianas, a dor na mão provoca excessiva ansiedade na maioria dos pacientes. As doenças ocupacionais mais preocupantes são a síndrome do túnel do carpo, a tenossinovite do flexor ou extensor do pulso, e dedo branco induzido pela vibração. A força da associação entre uma determinada síndrome e o fator patogênico ocupacional, varia em função da repetitividade da atividade em questão (ANDRÉU *et al.*, 2011).

Cunha (2000 p.31) relaciona os diferentes nomes encontrados na literatura médica, atribuídos à doença vascular periférica, caracterizada pelo embranquecimento dos dedos ou das mãos, comumente ocasionada pelo frio:

- Dedos Mortos (*Dead Fingers*);
- Mão Morta (*Dead Hand*);
- Dedo branco induzido pela vibração (*Vibration-induced White Finger – VWF*);
- Doença vasoespástica traumática (*Traumatic Vasospastic Disease*);
- Doença de Raynaud de origem ocupacional (*Raynaud Disease of Occupational Origin – RDOO*); e
- Fenômeno de Raynaud de origem ocupacional (*Raynaud Phenomenon of Occupational Origin*).

Em relação aos distúrbios neurológicos, musculares, em ossos e articulações, vasculares, e outros afetados, tal como o sistema nervoso central, costumam ser identificados como:

- Síndrome da Vibração em Mãos e Braços (*Hand-Arm Vibration Syndrome - HAVS*); e
- Síndrome da Vibração (*Vibration Syndrome*).

Bovenzi (2008, p. 401) comenta que o dedo branco induzido pela vibração (*Vibration-induced white finger – VWF*), é uma forma secundária do fenômeno de Raynaud, que ocorre com o uso profissional de ferramentas vibratórias, o qual se caracteriza por ataques de branqueamento dos dedos, potencializados pela exposição ao frio. Contudo, existem evidências clínicas e epidemiológicas de melhora nos ataques de branqueamento dos dedos, após a redução ou interrupção da exposição transmitida à mão.

De acordo com a norma ISO 5349 e NHO 10, os principais efeitos devidos à exposição à VMB, podem ser de origem vascular, neurológica, osteoarticular e muscular. Dentre esses, destacam-se as perturbações osteoarticulares, características de vibrações de frequência menores que 30 Hz e que atingem o punho, cotovelo e o ombro, e as perturbações vasculares, que são identificadas como Doença de Raynaud, também conhecida como dedos mortos, características de vibrações de frequência entre 40 e 125

Hz, e que provocam sintomas como: formigamento, entorpecimento, palidez, queimadura e gangrena.

Ali (2009) relata como características da Doença de Raynaud ou Fenômeno de Raynaud, a sensibilidade ao frio, pressão, vibração, e fatores emocionais, ocorre com prevalência nas mãos e pés, acompanhado de branqueamento, eritema, caracterizado por rubor congestivo da pele temporário, que desaparece quando pressionado pelo dedo (FERREIRA, 1975) e cianose, coloração azulada da pele, ocasionada por oxigenação insuficiente do sangue (FERREIRA, 1975). Surge como doença ocupacional em digitadores, pianistas e em trabalhadores cujas funções ou atividades os exponham a vibrações de alta frequência.

A síndrome da vibração em mãos e braços (SVMB), é o termo utilizado na NHO 10, para caracterizar os diversos sintomas de ordem vascular, neurológica, osteoarticular, muscular e outros associados, provenientes da exposição ocupacional à vibração em mãos e braços (FUNDACENTRO, 2012b).

As vibrações podem provocar uma grande diversidade de distúrbios no organismo, que podem ser músculo esqueléticos, associados a reumatismos, deformações na coluna vertebral, estiramentos e atrofia muscular. O uso contínuo e frequente de uma ou mais ferramentas geradoras de vibração, implica em graves problemas à saúde, como a síndrome dos dedos brancos, mãos mortas ou doença de Raynaud, um dos efeitos provenientes de alterações vasculares, que agravada, pode ocasionar a perda dos mesmos (CUNHA, 2000; OMS, 2001; McPHEE *et al.*, 2009).

Bovenzi *et al.* (2004) informam que a exposição ocupacional à vibração transmitida à mão, por ferramentas potentes ou por peças de trabalho vibrantes, podem aumentar ou ocasionar distúrbios vasculares, neurológicos e músculo esqueléticos, nos membros superiores. Todos os sintomas destes distúrbios são conhecidos como SVMB, sendo esta síndrome reconhecida como doença ocupacional em diversos países industrializados.

2.2.10 Formas de medição

Existem formas distintas para avaliar-se a exposição à vibração em diferentes partes do corpo, porque a VMB ocorre quando a ferramenta ou o equipamento que emite a vibração é comprimido ou segurado pela mão. E a VCI surge onde o corpo é suportado por uma superfície vibrando. Diferentes parâmetros, como a magnitude e a frequência da vibração, o tempo de exposição, a direção, e a área de contato com a vibração, influem

diretamente no nível de vibração experimentado pelo trabalhador (GRIFFIN, 1997, p.75; COGGINS *et al.*, 2010, p.905).

De acordo com Griffin (1997, p.74), a avaliação das medições relativas a respostas humanas a exposições ocupacionais, necessita de procedimentos que expressem a severidade absoluta ou relativa da vibração. Assim, não se deve assumir que todas as frequências ou direções de deslocamento possuem a mesma importância. Um procedimento de avaliação deve resultar em um ou poucos números, para que a severidade de diferentes exposições à vibração possa ser comparada. Isto requer o conhecimento das frequências, direções, durações, e a avaliação deve ser expressa tanto no intervalo, como na escala de proporções (onde as diferenças entre os intervalos na escala, possuam alguma importância quantitativa). Sendo possível, portanto, através de um único valor de vibração ponderado, que reflita os efeitos das frequências, direções e durações da vibração, representar a severidade do complexo movimento medido.

Liljelind *et al.* (2013) explicam que diversos fatores influem nas emissões de vibração (VMB), e podem implicar em variabilidades no resultado das medições. São estes, fatores físicos, biomecânicos e outros específicos, como as propriedades dos equipamentos, partes inseridas (discos de corte, serras, brocas), a estatura do operador, postura, e força de aperto ou preensão. Os determinantes de exposição também podem variar entre diferentes operadores, tarefas, locais de trabalho, máquinas e ferramentas utilizadas e até mesmo ao longo do tempo (anos, dias e horas).

2.2.11 Instrumentos para medição

A norma internacional ISO 5349 (2001) informa que os equipamentos para medição da vibração, consistem num transdutor ou acelerômetro conectado a um amplificador, e a um medidor de nível ou de amplitude. Explica que circuitos podem ser incluídos caso seja necessário limitar a amplitude de frequência dos equipamentos. É ainda possível, a utilização de um gravador para análise complementar posterior e o uso de um dispositivo de retificação de sinal (RMS), permitindo gravar ou obter os valores (RMS) diretamente.

Já Regazzi e Ximenes (2005) explicam que para a medição de vibração, geralmente são utilizadas combinações entre transdutores, amplificadores e um detector indicador de sinal, que possua características metrológicas controladas, sendo ainda parte integrante do sistema de medição, os cabos, conectores e pré-amplificadores.

2.3 Som

O som ou ondas sonoras, caracterizam-se por ondas mecânicas longitudinais que para se propagarem necessitam de um meio elástico, que pode ser líquido, sólido ou gasoso (MAIA, 2008). A propagação do som ocorre com maior rapidez nos sólidos, depois nos líquidos e por último nos gases, e inexistente no vácuo. A temperatura também pode influir na velocidade, pois em um meio quente, o som propaga-se mais rápido (MAIA, 2001).

Segundo Peixoto e Ferreira (2012), o som pode ser definido como a variação da pressão sonora do ar que pode ser percebida nos ouvidos. Entendem o ruído como um conjunto de diversos sons não coordenados, em várias frequências que ocasionam incômodo e desconforto.

O som tem natureza de onda mecânica. A onda pode ser definida como uma perturbação em um meio a partir de uma condição de equilíbrio, que se propaga em um intervalo de tempo no espaço. A base do movimento ondulatório é tratar-se de um mecanismo de transferência de energia de um ponto a outro, sem ocorrer transferência de matéria entre os pontos. Os sons de frequências entre 20Hz e 20.000Hz são considerados audíveis. Abaixo e acima deste intervalo, as oscilações denominam-se infrassom e ultrassom, respectivamente (MAIA, 2008).

2.3.1 Ruído

Segundo Ferreira (2011), o ruído constitui-se por diversas ondas sonoras e costuma estar associado ao som desagradável ou indesejável. Esta sensação de incômodo diverge com a idade, estado emocional, gostos pessoais e a percepção de cada indivíduo.

lida (2005) refere-se ao ruído como um estímulo à audição que pode influenciar de alguma maneira na execução de uma tarefa. Ou seja, alguns sons (bips, apitos) emitidos por uma máquina ou equipamento ao final de um ciclo operacional, pode ser um estímulo positivo, pois alerta para o início de um novo ciclo. Porém, para quem está de fora desse processo, pode ser bastante desagradável e até mesmo irritante, já que terá um outro significado.

O ruído é capaz de agir sobre o sistema nervoso provocando diversos sintomas desagradáveis, como: fadiga, perda de memória, irritabilidade, hipertensão e distúrbios gastrointestinais. A perda temporária ou até mesmo permanente (ou definitiva), pode

ocorrer dependendo da intensidade do ruído e tempo de exposição (PEIXOTO e FERREIRA, 2012).

A OMS (Organização Mundial de Saúde), *World Health Organization* (2001) cita como riscos físicos, os níveis excessivos de ruído, vibração, iluminação e temperatura e radiações eletromagnéticas ionizantes e não ionizantes. Menciona que o ruído é um risco bastante relevante, mas pode ser controlado adotando-se algumas medidas:

- Instalando-se equipamentos e sistemas bem planejados, projetados e construídos para operar silenciosamente;
- Cercando ou protegendo o equipamento ruidoso;
- Certificando-se que o equipamento está em boas condições de uso e manutenção e com todas as peças ou partes gastas, ou em desacordo, repostas;
- Montando equipamentos ruidosos em suportes especiais para reduzir a vibração;
- Instalando silenciadores ou abafadores;
- Substituindo métodos de trabalhos ruidosos por silenciosos, como pregar ou rebitar por soldar;
- Utilizando material acústico em pisos, paredes e tetos visando reduzir a reflexão ou reverberação do ruído;
- Isolando com barreiras de som as estações de trabalho no entorno de operações ruidosas, visando reduzir a exposição do trabalhador ao ruído proveniente destas estações adjacentes; e
- Aumentando a distância entre a fonte geradora e os receptores, seja isolando os trabalhadores em cabines acústicas, limitando o tempo de exposição ao ruído, e fornecendo EPI (Equipamento de Proteção Individual), equipamentos de proteção auricular.

As normas regulamentadoras de higiene ocupacional, exigem que trabalhadores envolvidos em tarefas ou ambientes ruidosos se submetam periodicamente a testes preventivos de perda auditiva (OMS, 2001).

Os agentes físicos dentre os agentes ocupacionais, estão normalmente presentes nas mais diversas atividades, por se tratarem de várias fontes de energia que podem ser percebidas e causar males ao corpo humano, segundo definição da NR 09. Em

atividades de construção civil, o ruído é seguramente um dos agentes físicos mais perceptíveis, com frequência rotineira e que comumente é avaliado. A avaliação deste agente e medidas básicas da atenuação deste, como protetores auriculares, são bastante conhecidas e disseminadas, apesar de não serem sempre cumpridas. A insalubridade por ruído é determinada de acordo com a NR 15, sendo habitualmente observada em trabalhadores da construção civil (MAIA, 2001).

2.3.2 Tipos de Ruído

De acordo com Peixoto e Ferreira (2012), o ruído pode ser classificado em:

- Ruído contínuo – é o tipo de ruído onde ocorre pequena variação do nível de intensidade sonora em função do tempo. Por exemplo: ventiladores, geladeiras;
- Ruído intermitente – é o tipo de ruído que manifesta grandes variações do nível de intensidade relativo ao tempo. Ruídos deste tipo ocorrem com bastante frequência. Exemplos: a fala, as furadeiras, as esmerilhadeiras; e
- Ruído impulsivo ou de impacto – Identifica-se pelos altos níveis de intensidade sonora em um curto espaço de tempo. Ruídos deste tipo são percebidos através de explosões e impactos. São característicos de equipamentos como: rebidadeiras e prensas.

Fantini Neto (2011) classifica os tipos de ruído e explica de forma simples e direta:

- Ruído contínuo – aquele que não sofre interrupções com o tempo;
- Ruído intermitente – quando sofre interrupções, que ocorrem no intervalo máximo de um segundo; e
- Ruído de impacto – o tipo onde ocorrem interrupções maiores que um segundo e apresenta picos de energia com duração inferior a um segundo. Cita com exemplos: o martelo, a prensa e o bate-estacas.

Uma única exposição a um ruído repentino e poderoso como uma explosão pode causar um dano instantâneo, mas exposições prolongadas a níveis altos de ruído, podem causar perda gradual de audição, mas permanente. O ruído excessivo pode ainda reduzir a produtividade no trabalho e contribuir para acidentes no ambiente de trabalho, pois dificulta a percepção dos sinais de alerta (OSHA, 2011).

Danos à audição podem ser prevenidos, mas uma vez que a perda auditiva tenha ocorrido, é irreversível. Geralmente a diminuição auditiva ocorre de forma gradual e quando se percebe nada mais pode ser feito. O ruído pode afetar o corpo de outras formas. Nos Estados Unidos em estudo recente descobriu-se que trabalhadores expostos a excessivo ruído ocupacional, tem duas a três vezes mais chances de desenvolverem doenças do coração do que aqueles não expostos (OSHA, 2011).

2.3.3 Decibel

De acordo com o Serviço Social da Indústria (SESI, 2007), uma vez que o ouvido humano pode captar a pressão sonora de $20\mu\text{ Pa}$ a 200 Pa , (onde $\text{Pa} = \text{Pascal}$), esta grande variação inviabilizaria a execução de instrumentos para medir a pressão sonora. Para solucionar o impedimento utiliza-se uma escala logarítmica de relação de grandeza, o decibel representado por (dB). O decibel não é considerado como uma unidade, mas como uma relação sem dimensão e definida pela Equação 9.

$$L = 20 \log(P/P_0) \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde:

- L = nível de pressão sonora;
- P = pressão sonora encontrada no ambiente (Pa) e
- P_0 = pressão sonora de referência, (por convenção) $20\mu\text{ Pa}$.

2.3.4 Intensidade sonora

Fantini Neto (2011) explica que a intensidade sonora é a potência da energia de vibração sonora ao atingir uma superfície. É expressa em W/m^2 .

2.3.5 Frequência

Fantini Neto (2011) comenta que a frequência (f) indica a capacidade de vibração temporal de uma onda, caracterizando a Tonalidade ou Altura do som. Diz ainda que frequências maiores produzem um som mais agudo ou ao contrário, menos grave. Tem como unidade de referência o Hertz (Hz) ou ciclos por segundo.

2.3.6 Pressão Sonora

A faixa de pressão sonora audível é um outro limite para a audição que compreende uma vasta faixa de valores para as variações de pressão da pressão atmosférica, valores estes entre $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ e $20.000.000 \times 10^{-5}$, o que dificulta sua utilização em escala linear. Assim sendo, usualmente adotam-se níveis de pressão sonora (em decibel, dB)

em vez de pressão sonora. Por exemplo, quando se tem uma determinada pressão sonora, o dobro equivale a um aumento de 6dB no nível de pressão sonora anterior (MAIA, 2008).

Para Fantini Neto (2011), pressão sonora é a pressão que a energia produzida pela vibração do som, exerce no ouvido humano, sendo a grandeza mais utilizada para avaliar a exposição acústica, pois é considerada mais prática do que a Intensidade Sonora. Tem como unidade N/m² e segue a relação na Equação 10.

$$I = k \cdot p^2 \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

- I = Intensidade sonora;
- k = constante do meio, devido à sua densidade e
- p = Pressão sonora.

2.3.7 Nível de pressão sonora

Maia (2008) explica que a faixa de magnitudes de pressão sonora audível é tão ampla que é traduzida em uma escala logarítmica, representada na Equação 11, onde define-se o nível de pressão sonora (L_p), em decibéis, correspondente a uma pressão sonora p, na Equação 11.

$$L_p = 10 \cdot \log(p^2 / p_0^2) = 20 \cdot \log(p / p_0) \text{ dB} \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde:

- p = Pressão sonora.
- p_0 = Pressão de referência igual a 0,00002N/m²

2.3.8 Compensação do nível de pressão sonora

De acordo com Fantini Neto (2011), um som apresenta diversos níveis de compensação sonora, conforme a faixa de frequência em que é captado. A capacidade de percepção do ouvido humano a frequências encontra-se entre 16Hz e 20.000Hz, e resultando numa sensação auditiva diferente para cada uma das frequências. A maior sensibilidade do ouvido humano está entre 1000 e 7000Hz, sendo os sons mais graves menores que 100Hz e os mais agudos acima de 7000Hz.

Ainda segundo Fantini Neto (2011), a partir de pesquisas foi possível obter-se duas curvas de integração próximas da sensação humana, as Curvas de Compensação ou de Ponderação. O que observa-se na Figura 12, as Curvas de ponderação A e C, sendo a

Curva A utilizada para ruídos contínuos ou intermitentes e a Curva C, para ruídos de impacto.

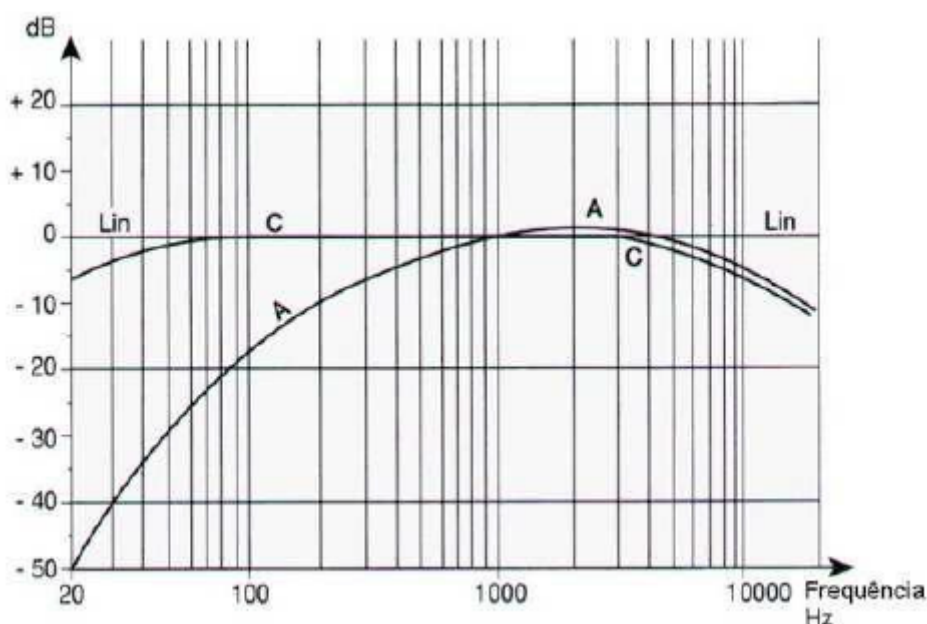


Figura 12 – Curvas de compensação ou ponderação A e C
Fonte: Ferreira (2011, p.13).

2.3.9 Normas pertinentes

É possível destacar-se dentre a legislação existente relativa a atividades ocupacionais referentes ao agente físico ruído, aplicáveis no Brasil, as Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho: NR 09, NR 15 e NR 17 e a Norma de Higiene Ocupacional: NHO 01, da FUNDACENTRO.

A Norma Regulamentadora NR 09, Programa de Prevenção de Riscos Ambientais - PPRA, que estabelece a obrigatoriedade da avaliação e controle de possíveis riscos ambientais, visando a preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, sem agredir o meio ambiente e extinguir recursos naturais, estabelece como nível de ação para ruído a dose de 0,5 (dose superior a 50%), de acordo com o estabelecido na NR 15, Anexo 1, item 6 (BRASIL, 2015a).

A NR 15, Atividades e Operações Insalubres, determina o tempo máximo de exposição aos níveis de ruído e através dos seus Anexos 01, Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente e 02, Limites de tolerância para ruídos de impacto, estabelece limites para os níveis de ruído visando a caracterização de insalubridade e garantir adicional ao salário do trabalhador exposto (BRASIL, 2015b).

A NR 17, Ergonomia, que visa estabelecer parâmetros que possibilitem a adaptação das condições de trabalho a características psicofisiológicas dos trabalhadores objetivando conforto, segurança e eficiência no desempenho de suas funções (BRASIL, 2015c).

A NHO 01, Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído – Procedimento Técnico – estabelece critérios e procedimentos para a avaliação da exposição ocupacional ao ruído, que acarrete risco potencial de surdez ocupacional. Aplica-se à exposição ocupacional ao ruído contínuo ou intermitente e ao ruído de impacto, em qualquer tipo ou situação de trabalho, contudo não abrange a caracterização das condições de conforto acústico (FUNDACENTRO, 2001).

2.3.10 Limites de tolerância relativos ao nível de pressão sonora

A NR 15 estabelece limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente em seu Anexo 01, conforme a Tabela 5, onde é possível observar-se os níveis de ruído tolerados e os tempos máximos de exposição diária correspondentes.

Tabela 5 – Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente

Nível de Ruído dB(A)	Exposição máxima permissível por dia
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Fonte: Brasil (2015b)

Já para ruídos de impacto, é estabelecido no Anexo 02, da NR 15, o limite de tolerância de 130dB(linear), ou quando a leitura for percebida no circuito de resposta rápida (FAST), e circuito de compensação C, o limite será de 120dB(C).

A NR 17 determina para locais de trabalho como laboratórios, escritórios, salas de controle, de desenvolvimento ou análise de projetos, e outros que exijam concentração e atenção constante e trabalho intelectual, que os níveis de ruído devem seguir o estabelecido na NBR 10152, Níveis de ruído para conforto acústico, norma brasileira registrada no INMETRO, sendo o nível de ruído aceitável para efeito de conforto de até 65dB(A) e a curva de avaliação de ruído a ser utilizada (NC) com valor não superior a 60 dB (BRASIL, 2015c).

2.3.11 Tempo de exposição

A NR 15 estabelece como limite máximo de exposição permitido para ruído contínuo, em uma jornada de 8 horas de trabalho 85dB(A) (BRASIL, 2015b).

A NHO 01 determina como critério de referência para limites de exposição diária para ruído contínuo ou intermitente correspondente a uma dose de 100% para exposição de 8 horas ao nível de 85dB(A), o mesmo praticado pela NR 15. Apresenta ainda o incremento de duplicação de dose (q) igual a 3 e o nível de integração igual a 80dB(A) (FUNDACENTRO, 2001).

2.3.12 Formas de medição

De acordo com o estabelecido no Anexo 01 da NR 15, os níveis de ruído contínuo ou intermitente devem ser medidos em decibéis (dB) com instrumento de nível de pressão sonora operando no circuito de compensação A e circuito de resposta lenta (SLOW). Enfatiza-se que as leituras devem ser obtidas próximas ao ouvido do trabalhador (BRASIL, 2015b).

Sempre que ocorrerem durante a jornada de trabalho duas ou mais exposições ao ruído de diferentes níveis, os efeitos combinados devem ser computados e através da soma das frações conforme a Equação 12, a dose pode ser obtida (BRASIL, 2015b).

$$D = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_3}{T_3} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde:

- C_n = tempo total de exposição a um nível de ruído específico; e

- T_n = máxima exposição diária permitida a este nível de acordo com o estabelecido no Anexo 01 da NR 15, demonstrado na Tabela 5.

2.3.13 Instrumentos para medição

Segundo Fantini Neto (2011), o instrumento habitualmente utilizado para avaliar-se o ruído é o Medidor de Nível de Pressão Sonora, mais conhecido como Decibelímetro.

Já a recomendação da NHO 01, para a avaliação da exposição do trabalhador ao ruído contínuo ou intermitente por meio de dose diária, deve ser feita preferencialmente, por meio de medidores integradores de uso pessoal, ou dosímetros de ruído. Sendo neste caso o limite de exposição ocupacional diário correspondente a dose diária igual a 100%, e o nível de ação igual a 50%.

2.3.14 Surdez provocada pelo ruído

A perda auditiva induzida pelo ruído (PAIR) ocorre como consequência de exposição prolongada ao ruído, mas com dependência da intensidade, frequência, tempo de exposição e tipo de ruído, levando-se em consideração ainda o sexo, a idade, e a existência ou ocorrência de doenças do ouvido (FERREIRA, 2011, p.15).

Maia (2008, p. 45) comenta que a perda auditiva induzida pelo ruído, é conhecida também como disacusia neuro sensorial ocupacional por ruído, sendo doença bastante frequente em países industrializados. Nos Estados Unidos e Europa, desde 1940 realizam-se estudos visando a prevenção do dano à audição, períodos limites de exposição diária e níveis de pressão sonora seguros, para evitar a lesão auditiva. Os estudos surgiram para diminuir os altos custos sociais e econômicos provenientes de processos judiciais e indenizatórios.

Silva e Mendes (2005, p.11,15) comentam que a PAIR ocorre geralmente após três anos de exposição ao ruído, mas com tendência de estabilização após decorridos 15 anos. Informam ainda que os casos de PAIR são classificados em cinco grupos conforme a gravidade, como hipoacusia de primeiro, segundo, terceiro, quarto e quinto grau respectivamente, e que existem três fatores de risco que podem contribuir para a ocorrência da PAIR: a idade, o nível de imissão de ruído e o histórico de diabetes.

2.4 Bibliometria

A análise bibliométrica se fez com o auxílio da base de dados do *Scopus*[®], pois este é o maior banco de dados de resumos e citações de literatura do tipo: revistas científicas, livros e anais de conferências. Cumprindo uma visão abrangente da produção de pesquisa do mundo nas áreas de ciência, tecnologia, medicina, ciências sociais e artes e humanidades (ELSEVIER, 2017).

Neste tipo de ferramenta internacional é usual a busca no idioma inglês, então foi elencada a busca aditiva das palavras-chave que deveriam conter exatamente os termos: engenharia e ocupacional e vibração. Utilizando o idioma inglês e ordenados na forma de alimentação do banco de dados usou-se a chave de pesquisa: *"engineering" AND "occupational" AND "vibration"*; Com busca (sem limites) nos campos: *Article title, Abstract, Keywords*.

Como resultado desta busca, desde o ano de 1968, foram obtidos 447 documentos pertinentes. Sendo as informações mais concernentes desta busca, analisadas e apresentadas de forma gráfica a seguir.

Ao analisar-se a Figura 13 é possível ver a cronologia quantitativa de publicações de vibração ocupacional ligada à engenharia, contemplando praticamente os últimos 50 anos de publicações.

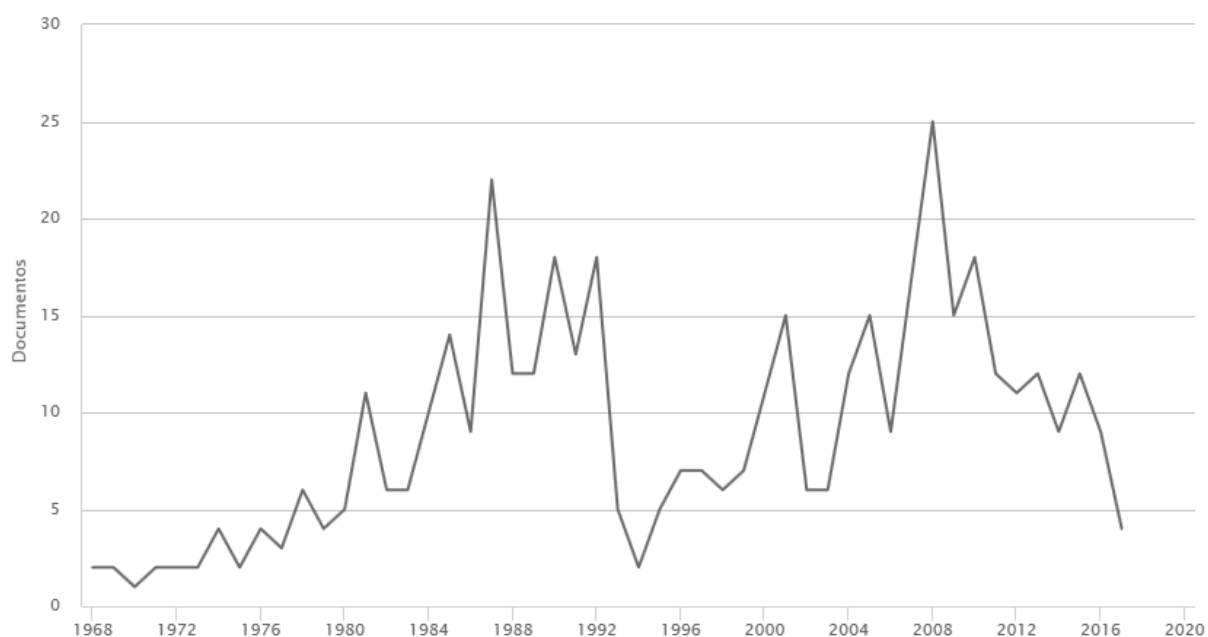


Figura 13 – Bibliometria: Número de documentos por ano

Fonte: Scopus (2017).

São apresentados na Figura 14 os 5 periódicos que mais publicaram artigos sobre o tema da vibração ocupacional.

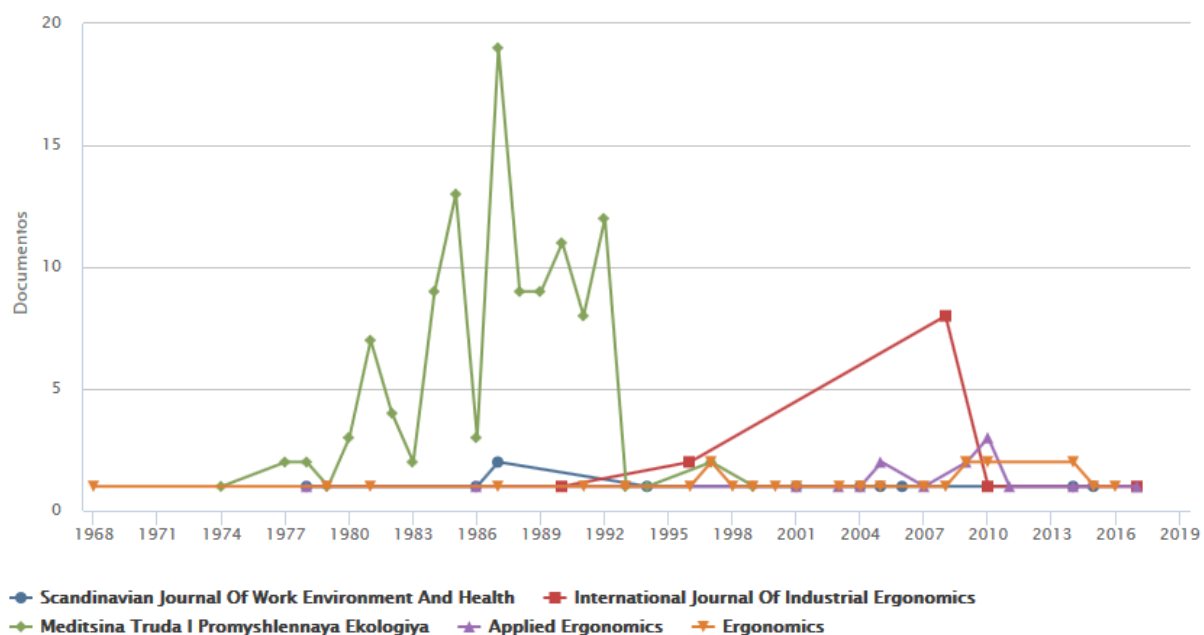


Figura 14 – Bibliometria: 5 periódicos que mais publicaram
Fonte: Scopus (2017).

Na Figura 15, ilustra-se que os Estados Unidos lideram em número de publicações, dentre os países definidos, com 92 publicações em contraste com o Brasil, que tem apenas 2. Cabe ressaltar, que dos 447 documentos, 164 não tem sua origem claramente definida neste banco de dados.

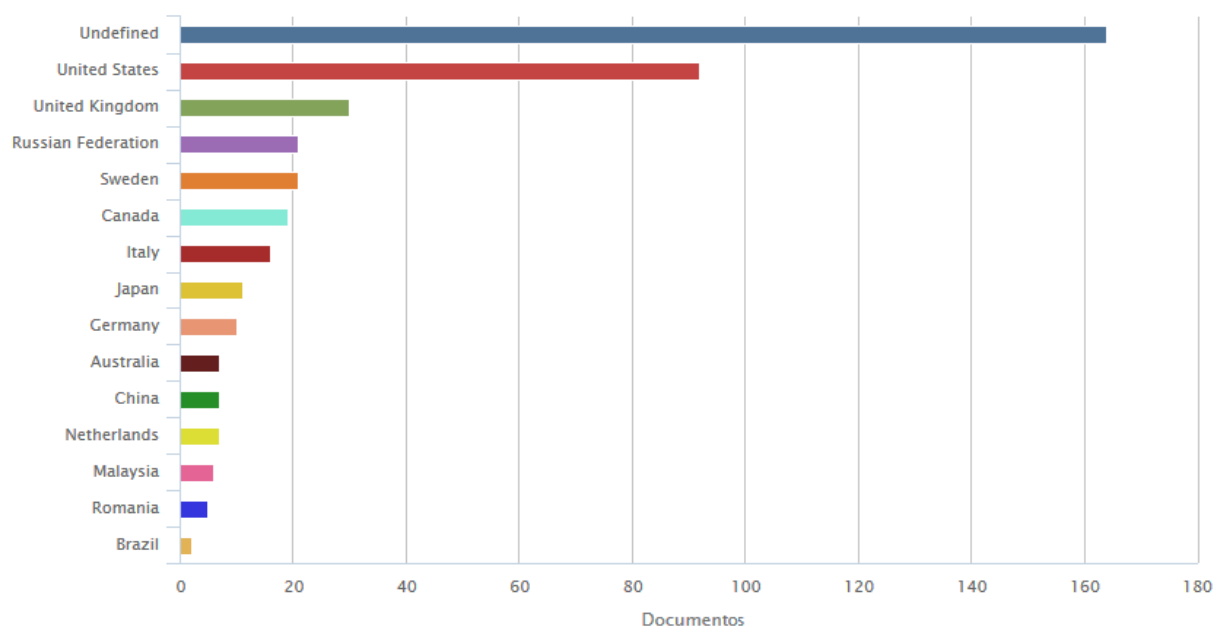


Figura 15 – Bibliometria: 14 países com maior número de publicações e o Brasil
Fonte: Scopus (2017).

A NIOSH lidera em publicações, como pode ser percebido na Figura 16, seguida de forma bastante equilibrada pelos demais 14 centros de pesquisa.

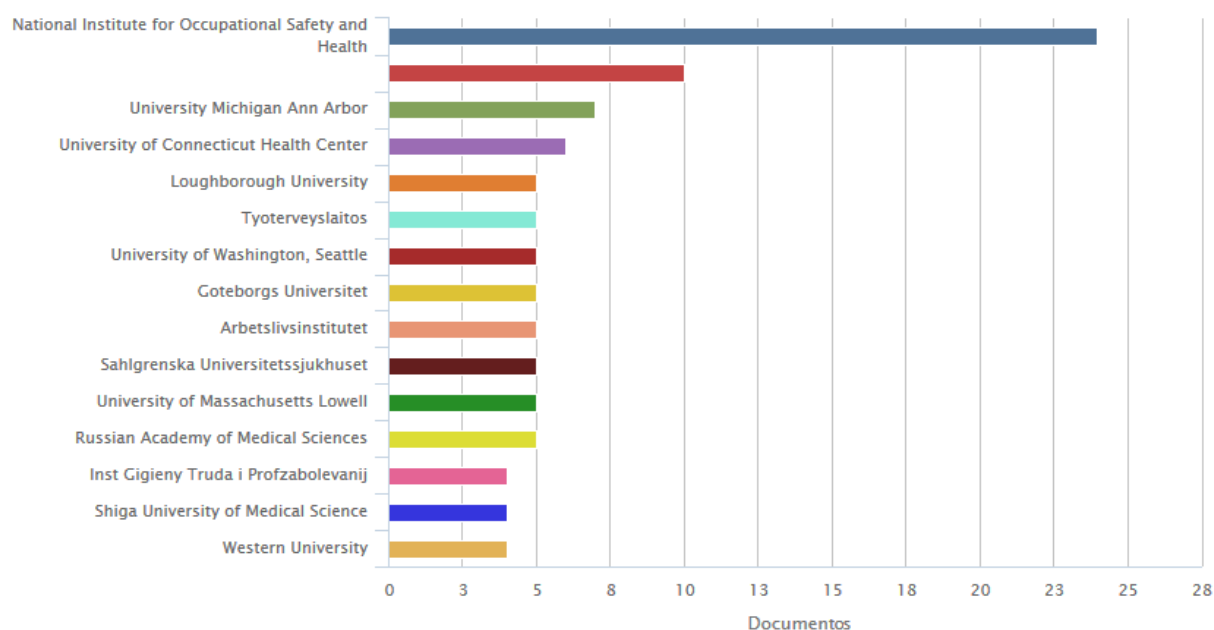


Figura 16 – Bibliometria: 15 instituições com maior número de publicações
Fonte: Scopus (2017).

Observando a Figura 17, é possível constatar alguns dos autores mais relevantes do ponto de vista da vibração ocupacional.

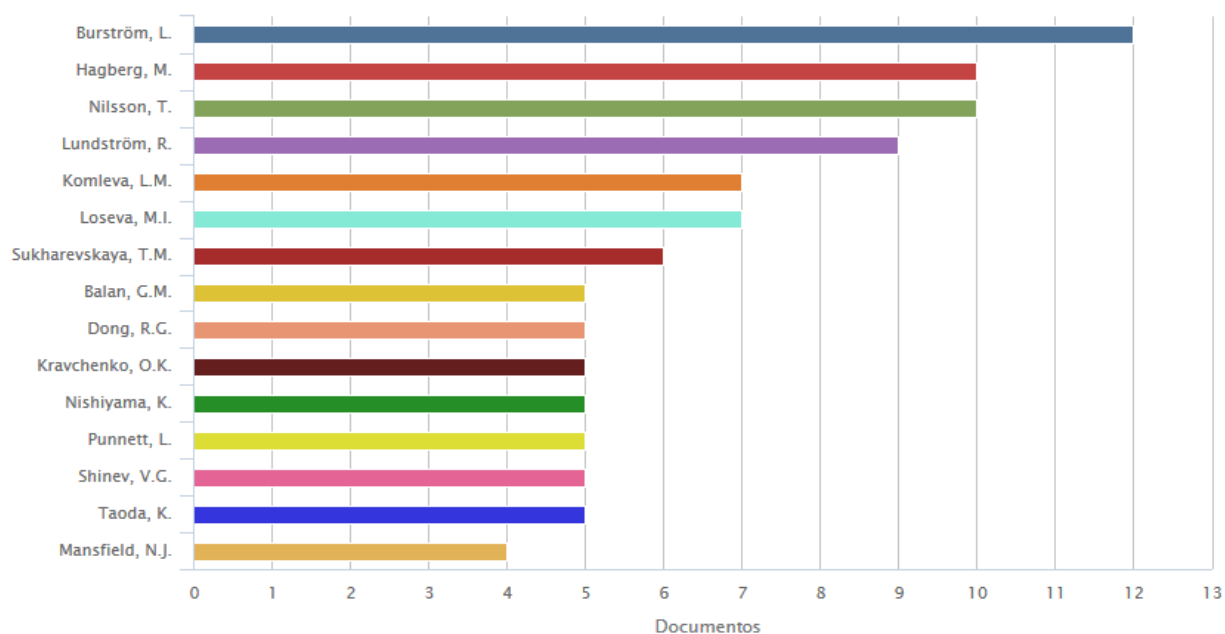


Figura 17 – Bibliometria: 15 dos autores com maior número de publicações
Fonte: Scopus (2017).

2.5 Estado da Arte

A consolidação básica do estado da arte do tema central abordado nessa dissertação pode ser visto no Quadro 9.

GRIFFIN, 1997 Inglaterra	Artigo que fez um estudo das normas tanto nacionais quanto internacionais vigentes naquele momento e avaliou as implicações metodológicas das mesmas
CUNHA, 2000 Brasil	Dissertação: avalia a exposição ocupacional à vibração MS; níveis de vibração e ruído gerados por motosserras em condições reais
ADAMO et al., 2002 Estados Unidos	Estudo do LFF, fadiga muscular resultante de tarefas de baixa frequência (10HZ) e implicações músculo esqueléticas
BOVENZI et al., 2004 Itália	Compara a resposta severa na circulação dos dedos submetidos à exposição de vibração contínua e intermitente
CUNHA, 2006 Brasil	Tese Doutorado: avalia a exposição ocupacional à VMB, trabalhadores marmorarias em SP, posturas, forças e posições durante execução das atividades
BRAGA, 2007 Portugal	Dissertação: Caracterização da exposição à vibração do sistema mão-braço em operadores de martelo rompedor no setor da construção
BOVENZI, 2008 Itália	Investiga a ocorrência de dedos brancos induzidos pela vibração e resposta ao frio nas artérias digitais, em trabalhadores florestais
BOVENZI et al., 2008 Itália	Analisa a ocorrência de dedos brancos induzidos por vibração, a exposição de VTM e a resposta ao frio nas artérias dos dedos em usuários de ferramentas vibratórias
BOVENZI, 2010 Itália	Investiga a possibilidade entre desordens vasculares induzidas pela vibração e exposição diária à vibração transmitida à mão
BOVENZI et al., 2011 Itália	Compara a disfunção sensorial induzida pela vibração e exposição diária à vibração transmitida à mão
LILJELIND et al., 2011 Suécia	Investiga fatores que podem influir na exposição à vibração na operação de esmerilhadeira, troca de operador, máquina e postura
YOUAKIM, 2012 Canadá	Caracterização da busca por compensação dos trabalhadores submetidos à SVMB baseado na população, ocupação e doenças características
LILJELIND et al., 2013 Suécia	Investiga quais os fatores determinam as variabilidades entre as emissões de vibração transmitidas a MB em duas diferentes tarefas com esmerilhadeira

Quadro 9 – Consolidação do estado da arte de VMB

Fonte: Autora (2017).

Griffin (1997) apresenta os métodos de medição, avaliação e cálculo defendidas nas normas e outras orientações oficiais, objetivando a medição da severidade das exposições à vibração transmitida à mão e mostrar as consequências desse método.

Para isto, foi necessária uma consideração inicial das variáveis físicas (magnitude, frequência, direção e duração da vibração, área de contato com a vibração, força de contato, dedo, mão, posição do braço e condições ambientais) que influenciam a severidade das vibrações, antes de resumir o método defendido nas normas nacionais (Inglaterra) e internacionais. O autor apresenta ainda, as consequências das hipóteses implícitas nas normas e as implicações para o futuro progresso das mesmas. O autor conclui, que da análise das vibrações em vinte ferramentas manuais de diversos tipos, sugere que quando realizada a ponderação de frequência W_h (*frequency-weighting*), provavelmente seria suficiente restringir a faixa de medição abaixo de 250Hz. Conclui ainda, que desconsiderando a frequência de ponderação W_h , muitas ferramentas apresentam vibração significativa em frequências acima de 250Hz, porém, poucas seriam superestimadas com um limite superior de 500Hz ao invés do limite atual de 1000Hz. Finaliza, demonstrando que a incerteza dos efeitos em algumas variáveis pode influir diretamente na condução de procedimentos preventivos, como por exemplo, a utilização de luvas antivibratórias, que devem atenuar altas frequências de vibração, mas não atenuam as baixas frequências.

Cunha (2000) avaliou os níveis de vibração e ruído gerado por motosserras, sendo três diferentes modelos do mesmo fabricante, na avaliação ocupacional do operador à vibração. Utilizou as normas internacionais, ISO 7505 (Motosserras – Medição da vibração transmitida às mãos), ISO 7182 (Acústica – Medição do ruído emitido por motosserras na posição do operador) e ISO 5349 (Guia para medição e análise da exposição humana à vibração transmitida à mão). O autor optou por realizar as medições em dB e ao final convertê-las em m/s^2 . As medições foram realizadas nas duas empunhaduras, e em condições específicas de operação: em marcha lenta (vazio), acelerado e em corte. Foram utilizados equipamentos e acessórios da marca Brüel & Kjaer na determinação das acelerações nos eixos (x, y e z). As acelerações obtidas foram $4,3m/s^2$ na empunhadura frontal e $7,4m/s^2$ na empunhadura traseira. Na conclusão, sugere que seja incluído um nível de ação de $2,5m/s^2$, na Norma Regulamentadora NR-9 e o desenvolvimento de um Programa de Prevenção da Síndrome da Vibração em mãos e braços.

Liljelind *et al.* (2011) avaliaram a exposição à vibração em mãos e braços durante diferentes operações de esmerilhamento, para obter estimativas da variação dos componentes e avaliar o efeito de posturas de trabalho. Dez operadores experientes usaram duas esmerilhadeiras angulares movidas a ar comprimido, do mesmo fabricante, em simulação de trabalho executada em duas posições diferentes. Em bancada, com altura de 105cm, e na parede com os braços elevados, com altura ajustada para cada um dos operadores. Cada um dos trabalhadores repetiu três vezes a tarefa. Em outra etapa, investigando o desgaste do disco, para cada esmerilhadeira, os operadores usaram dois discos novos e executaram duas operações de 1 minuto cada. Ambas as operações de lixamento foram executadas em cordões de solda em peças de aço soldado. As medições foram feitas de acordo com a ISO 5349-1, aferidas em m/s^2 . As acelerações em mãos e braços obtidas na bancada e na parede foram de $3,2m/s^2$ e $3,3m/s^2$, respectivamente. No modelo de efeitos de trabalho diferente, a postura de execução não foi uma variável significativa. As variáveis operador e esmerilhadeira significaram apenas 12% da variação de exposição, e o disco da esmerilhadeira explicou 47%, os 41% restantes ficaram sem explicação. Quando o efeito do uso do disco foi investigado no modelo de efeitos aleatórios, 37% da variação foram associados com o disco, enquanto que uma variabilidade mínima foi associada com o operador ou a ferramenta, e 37% ficaram inexplicados. O efeito interativo do operador e o equipamento explicaram 18% da variação. No teste de uso do disco, as acelerações equivalentes medidas em mãos e braços para a esmerilhadeira (1), durante o 1º e o 2º minutos de esmerilhamento, foram $3,4$ e $2,9m/s^2$, respectivamente, e para a esmerilhadeira (2), $3,1$ e $2,9m/s^2$, respectivamente, durante o 1º e 2º minutos na tarefa de esmerilhar. Os autores concluem, que a postura de trabalho não parece ter afetado o nível de VMB. Os discos das esmerilhadeiras explicam muito da variação no estudo, mas 40% continuam inexplicados.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo tem-se a descrição dos instrumentos utilizados para a capacitação das brocas, a avaliação da exposição à vibração ocupacional e ruído associado, bem como os equipamentos necessários para analisar outros agentes ambientais que venham a influir no desempenho da operação de furadeira elétrica.

Descreve-se ainda, as furadeiras utilizadas na execução dos ensaios realizados com intuito de obter-se os níveis de vibração. Da mesma forma, descreve-se os diferentes materiais empregados no corpos de prova desta pesquisa, os procedimentos necessários para a execução dos testes e os métodos aplicados para chegar-se ao objetivo do estudo.

De acordo com Lakatos e Marconi (2007), este estudo teve como base o método científico hipotético-dedutivo, que utiliza a formulação de hipóteses (propostas provisórias que requerem verificação), em resposta a um problema proposto, que são testadas ou falseadas, visando eliminar erros através de resultados confirmados ou refutados. Classifica-se como estudo de caso quanto aos procedimentos, de acordo com Yin (2001), quando se trata de um estudo profundo e minucioso de um ou poucos objetos de forma a permitir seu amplo e detalhado conhecimento (GIL, 2010, p.37).

Foi desenvolvida com abordagem quantitativa, segundo Gerhardt e Silveira (2009), enfatiza o raciocínio dedutivo, se utiliza de amostras grandes e consideradas representativas, onde se recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, e as relações entre as variáveis.

Uma visão geral do experimento, tanto nos testes preliminares de descarte de empunhadura, bem como nos definitivos de análise comparativa da exposição à vibração ocupacional na operação de diferentes furadeiras, pode ser vislumbrado na Figura 18.

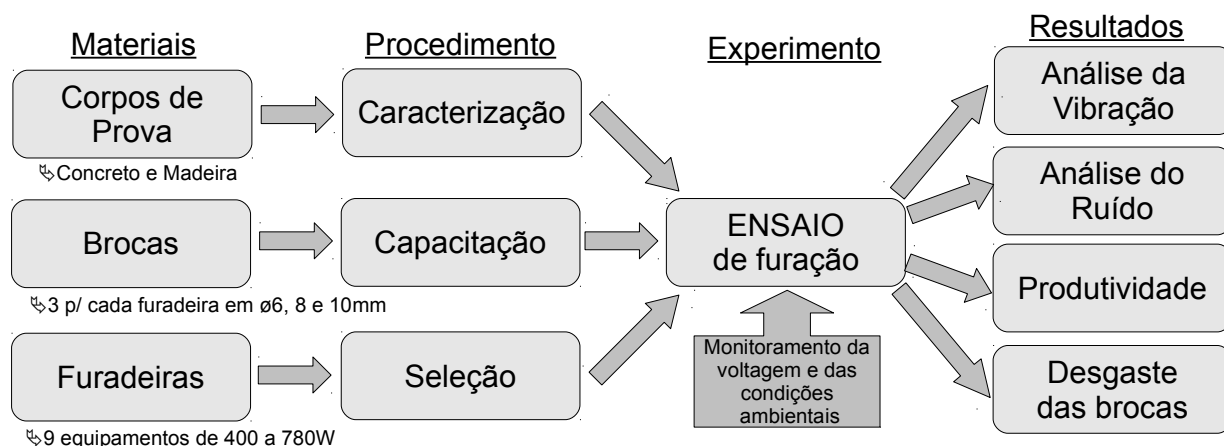


Figura 18 – Diagrama de blocos das etapas gerais do experimento

Fonte: Autora (2017).

Sendo:

- **Materiais:** Corpos de prova de concreto e madeira (MDF); Brocas adequadas para cada corpo de prova e em 3 diferentes diâmetros; e 9 furadeiras de potências entre 400 e 780W.
- **Procedimentos:** Caracterização das dimensões e densidade dos corpos de prova; Capacitação dimensional, mássica e microscopia das brocas; Seleção das furadeiras adequadas para cada ensaio.
- **Experimento:** Ensaios preliminares para descarte de empunhadura; Ensaios definitivos de vibração ocupacional. Foram monitoradas as voltagens de 127V e 220V conforme cada máquina a fim de assegurar a potência nominal máxima de operação, bem como as condições ambientais de temperatura e umidade relativa do ar.
- **Resultados:** Análise de vibração ocupacional conforme NHO 10; Análise de nível máximo de ruído; a produtividade de cada operação e o desgaste das brocas.

3.1 Materiais

3.1.1 Materiais utilizados nos corpos de prova

O fato de materiais como a madeira e o concreto, bem como seus derivados, serem dentre muitos, amplamente utilizados em obras de construção civil, motivou sua escolha para obter-se os níveis de vibração ocupacional, na realização de ensaios em operação de furadeiras manuais.

Para tanto, buscou-se um material derivado da madeira que possuísse homogeneidade possibilitando várias repetições, sem apresentar barreiras físicas divergentes no momento da perfuração, fosse amplamente utilizado, de fácil aquisição e fixação simples. Utilizou-se por isso, o MDF (*Medium Density Fiberboard*), em substituição à madeira por ser dentre as placas com derivados de madeira a que mais se enquadra nestas características.

Portanto, foi utilizada a placa com dimensões nominais de 275x183x1,8cm, densidade nominal de $730\text{kg/m}^3 \pm 30\text{kg/m}^3$, seccionada posteriormente em quatro (04) partes de 68x90cm, para fins de manuseio, fixação e experimento.

De acordo com Iwakiri (2005, p.199), os painéis de MDF, oferecem vantagens significativas em sua usinabilidade, igualmente nas faces e nas bordas, devido a sua estrutura homogênea e isotrópica. Sua superfície lisa apresenta excelentes condições de acabamento e quanto às propriedades de resistência, o MDF possui maior ligação interna, o que propicia resistência ao arranque de parafusos.

A Figura 19 ilustra a fixação de um dos apoios do quadro do painel, sendo à esquerda detalhe do posicionamento, no meio, detalhe do chanfro para encaixe da peça horizontal em vista isométrica, e à direita vista lateral e interna da peça com detalhe do parafuso. Cabe ressaltar, que nas 3 fotos é possível visualizar a borracha de isolamento de 3mm de espessura e 50mm de largura, fixada entre todas as peças do quadro e a parede, para evitar a transmissão da vibração.



Figura 19 – Detalhe do apoio lateral do quadro do painel de MDF
Fonte: Autora (2017).

A Figura 20 ilustra à esquerda o quadro para fixação finalizado, e à direita o painel de MDF, devidamente posicionado e fixado no quadro. Ressalta-se, que o quadro assegurou um distanciamento do fundo do painel até a parede de 75mm, para garantir que ao transpassar o painel por completo, a ponta da broca de madeira não atingiria a parede de alvenaria, o que seria indevido, e desgastaria muito precocemente a broca.



Figura 20 – Finalização do quadro e painel de MDF
Fonte: Autora (2017).

A Figura 21 ilustra na foto da esquerda, os elementos utilizados para a fixação dos apoios do quadro de madeira na parede, sendo buchas de 10mm de diâmetro e 50mm de comprimento e parafusos de aço de 100mm de comprimento, para buchas de 10mm de diâmetro. Na foto da direita é possível verificar a aferição de nível do painel fixado.



Figura 21 – Elementos de fixação e nivelamento
Fonte: Autora (2017).

Para os ensaios em concreto foram utilizadas três lajotas com as seguintes características nominais: dimensões de 45cmx45cmx5cm, massa de 21kg e densidade de 2074,1kg/m³.

Na Tabela 6, são apresentados os cálculos de caracterização dos corpos de prova de concreto, avaliando-se em especial sua similaridade quanto à massa específica dos mesmos, os quais apresentam 99,75% de similaridade neste quesito.

O cálculo da massa específica foi pela elemental, Equação 13.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde:

- ρ = massa específica em kg/m³,
- m = massa em kg, e
- V = volume em m³.

Tabela 6 – Caracterização dos corpos de prova – Lajotas de Concreto

Características teóricas do corpo de prova (CP _T)		
Comprimento ^T	45 cm	0,45 m
Largura ^T	45 cm	0,45 m
Espessura ^T	5 cm	0,05 m
Massa ^T (m _T)	21 kg	V _T = 0,010125 m ³
$\rho_T = 2074,1 \text{ kg/m}^3$		
Características do corpo de prova A (CP _A)		
Comprimento ^A	45,16 cm	0,451625 m
Largura ^A	45,13 cm	0,45125 m
Espessura ^A	5,04 cm	0,050375 m
Massa ^A (m _A)	24 kg	V _T = 0,0102662 m ³
$\rho_A = 2337,8 \text{ kg/m}^3$		
Características do corpo de prova B (CP _B)		
Comprimento ^B	45,10 cm	0,451 m
Largura ^B	45,15 cm	0,4515 m
Espessura ^B	5,45 cm	0,054455 m
Massa ^B (m _B)	26 kg	V _T = 0,0110885 m ³
$\rho_B = 2344,8 \text{ kg/m}^3$		
Características do corpo de prova C (CP _C)		
Comprimento ^C	45,21 cm	0,452125 m
Largura ^C	45,10 cm	0,451 m
Espessura ^C	5,57 cm	0,0557033 m
Massa ^C (m _C)	26,5 kg	V _T = 0,0113584 m ³
$\rho_C = 2333,1 \text{ kg/m}^3$		
Comparação dos 3 CP		
$\rho_{\text{méd}} = 2338,5 \text{ kg/m}^3$		
Desv. Pad. $\rho = 5,8862 \text{ kg/m}^3$		
Conformidade $\rho = 99,75\%$ Similaridade dos CP		

Fonte: Autora (2017).

A Figura 22 ilustra os corpos de prova fixados na parede, sendo à esquerda a placa de MDF e à direita a lajota de concreto. Observa-se ainda entre os corpos de prova, o multímetro e termo higrômetro fixados na parede, e o decibelímetro em tripé. Informa-se, que o corpo de prova de concreto, foi fixado diretamente na parede, sem a necessidade de um quadro de afastamento, porém, com a utilização das mesmas tiras de borracha, para isolamento de vibração, e com elementos de fixação tais quais o quadro de madeira para o painel de MDF, e anteriormente já citados.



Figura 22 – Canteiro de obras com corpos de prova fixados na parede
Fonte: Autora (2017).

3.1.2 Furadeiras

A execução dos ensaios ocorreu por meio do uso de nove furadeiras com características diversas, e o detalhamento destas pode ser visto no Quadro 10.

Equipamento	Potência (W)	Voltagem (V)	Massa (g)		RPM	IPM	Profundidade de perfuração (mm)				Observações
			Nominal	Real			Madeira	Concreto	Alvenaria	Aço	
Furadeira 1	400	127	1600	1673	1400	NA	23	NI	10	14	Furadeira/ Parafusadeira
Furadeira 2	400	127	1500	1333	2800	44800	20	16	16	10	Furadeira impacto
Furadeira 3	500	220	NI	1595	2800	NI	16	16	NI	13	Furadeira impacto
Furadeira 4	550	127	NI	1541	3000	44800	20	10	NI	10	Furadeira impacto
Furadeira 5	680	127	2000	2182	2800	44800	30	16	NI	16	Furadeira impacto
Furadeira 6	700	127	1800	2071	3000	48000	30	16	NI	13	Furadeira impacto
Furadeira 7	650	220	2300	3167	2030	6150	30	20	68	13	SDS plus
Furadeira 8	650	220	NI	3188	1550	4550	30	NI	22	13	SDS plus
Furadeira 9	780	220	3000	3375	1100	4500	32	24-65	NI	13	SDS plus

NI = Não informado / RPM = Rotações por minuto / IPM = Impactos por minuto

Quadro 10 – Quadro com o detalhamento das furadeiras

Fonte: Autora (2017).

Os dados de massa foram extraídos de informação direta dos fabricantes e registrados no campo de massa nominal; sendo que os mesmos foram aferidos e registrados no campo massa real. Cabe destacar, que na massa real, todas as furadeiras foram pesadas, com sua respectiva manopla dianteira, com exceção de F1 que não possibilita sua fixação. E nos equipamentos F7, F8 e F9 foram pesadas ainda com adaptador de mandril (*Slotted Drive System* - Sistema de engate rápido) SDS plus, pois essa massa é a real, da operação durante os ensaios, e este sozinho tem uma massa aferida de 348g.

Na Figura 23, estão as nove furadeiras de diferentes categorias, utilizadas e descritas no Quadro 10. Sendo F1 a primeira, superior e à esquerda, F2 à direita de F1 e assim de forma subsequente até F9 que está abaixo e à direita.



Figura 23 – Foto das nove furadeiras utilizadas
Fonte: Autora (2017).

3.1.3 Equipamentos utilizados para avaliação de vibração, ruído e outros agentes ambientais

Para a medição de vibração foi utilizado um acelerômetro ou transdutor de vibrações, 01dB-Metravib, modelo Vib008, calibrado. Decibelímetro ICEL, modelo DL-1000, para a avaliação de nível máximo de ruído. Multímetro analógico ICEL, modelo IK-180 – número de série IK-181.0050, para monitorar a voltagem.

Na Figura 24, estão os principais equipamentos de medição empregados, sendo visualizado logo abaixo da empunhadura das furadeiras, tripé recolhido e deitado, com o decibelímetro, nele fixado. Abaixo e à esquerda, computador portátil, já com antena (azul) emissora de sinal Bluetooth®, responsável por emitir os comandos para o *pocket PC*. Localizado à direita e acima da antena, que é o equipamento acoplado ao sensor triaxial de aceleração, conjunto este chamado de acelerômetro. Logo abaixo deste, o adaptador de mandril, de encaixe SDS plus para broca regular, utilizado nas F7, F8 e F9 e sua respectiva chave de mandril ao lado. No canto inferior direito e acima de um caderno, o



Figura 25 – Foto do acelerômetro 01dB-Metravib
Fonte: Autora (2017).

Na Figura 26, ilustram-se os principais tipos de adaptadores possíveis, para a fixação de um sensor de vibração a um equipamento de medição.



Figura 26 – Foto de adaptadores para acelerômetro
Fonte: Cunha (2006).

3.1.4 Brocas

Foram utilizadas brocas novas para os dois (02) materiais que constituíram os corpos de prova; madeira (MDF) e concreto, buscando observar a variação dos níveis de vibração em função de diferentes materiais usuais, em especial quanto à densidade e propriedades mecânicas dos mesmos. Foram utilizadas brocas de três (03) diferentes diâmetros; 6, 8 e 10mm, para cada um dos materiais, visando perceber a variação dos níveis de vibração associada a diferentes diâmetros usuais, conforme levantamento realizado em entrevistas com lojistas deste ramo. Com o intuito de ilustrar as diferenças das brocas para uso nos diferentes materiais, apresenta-se a Figura 27.

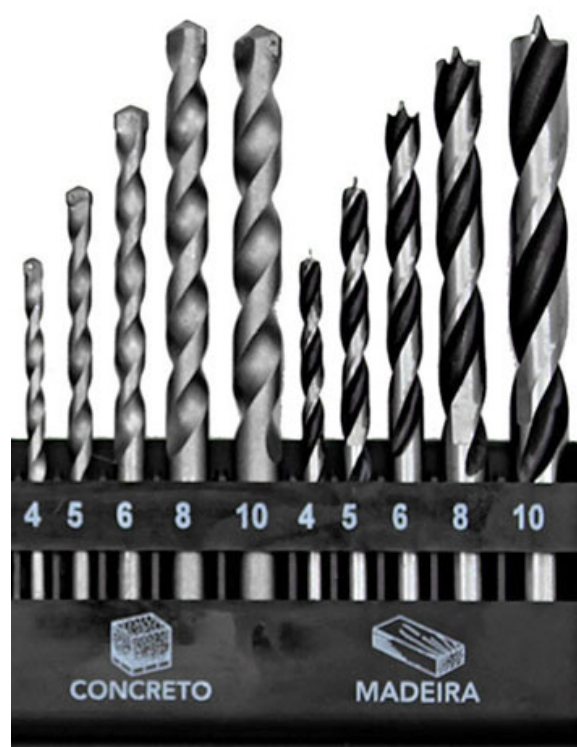


Figura 27 – Exemplos de brocas para diferentes materiais
Fonte: Adaptado de Magazine Luiza (2015).

Cabe ressaltar, que foram utilizadas três (03) brocas novas de cada diâmetro $\varnothing 6$, $\varnothing 8$ e $\varnothing 10$ mm, (R, S e T) assim denominadas para melhor identificação e avaliação de capacitação, e para cada material, triplicata esta realizada para descartar hipóteses de defeito das brocas, e ainda para cada furadeira utilizada foram empregadas brocas novas; totalizando um uso de 81 brocas para madeira e 63 brocas para concreto, sendo todas as brocas para mesmo material de um só fabricante.

A Figura 28 ilustra as 9 brocas para madeira, utilizadas na furadeira 6, sendo os 3 diâmetros testados, 6, 8 e 10mm bem como as 3 séries (de brocas) R, S e T.



Figura 28 – As nove brocas para madeira da furadeira 6.
Fonte: Autora (2017).

3.1.5 Equipamentos utilizados para a capacitação das brocas

Para aferir a massa, utilizou-se balança digital portátil com capacidade de 0,1g a 500g. As dimensões relativas ao diâmetro e comprimento foram realizadas com paquímetro digital da marca Digimess, com capacidade de 15mm/6” e resolução de 0,01mm/005”, equipamentos já ilustrados na Figura 24. Fez-se ainda uso do Microscópio ótico INSTRUTHEM modelo MDV-100 com câmera CCD Sony e *display* LCD.

3.2 Procedimentos

Os procedimentos para a avaliação da exposição ocupacional dos níveis de vibração em mãos e braços na operação de furadeiras elétricas, foram executados segundo o estabelecido na norma NHO 10, Norma de Higiene Ocupacional, NHO VIB/VMB da Fundacentro, com vigência desde 2012. A Norma Regulamentadora NR 15, Atividades e operações insalubres de 13 de agosto de 2014, no Anexo N°8, indica os procedimentos técnicos para avaliação quantitativa das VCI e VMB estabelecidos nas Normas de Higiene Ocupacional da Fundacentro. Da mesma forma a NR 09, Programa de Prevenção de Riscos Ambientais de 24 de setembro de 2014, no Anexo 01,

igualmente indica os procedimentos técnicos para avaliação quantitativa das VCI e VMB estabelecidos nas Normas de Higiene Ocupacional da Fundacentro.

Todos os testes foram realizados por um único operador com objetivo de não acrescentar outro parâmetro que dificultasse a real apuração dos dados. O que auxilia a comunicação pela familiaridade dos procedimentos a serem adotados e empregados nas medições. Contudo, para não estafar ou provocar algum tipo de lesão, os intervalos, por diversas vezes precisaram ser espaçados, devido a exposições frequentes.

3.2.1 Descritivo dos experimentos

Para os ensaios em MDF, foram demarcadas grades de furação com uma distância de 2,5cm entre os centros, dispostos em toda a superfície útil de cada placa com dimensões 90cmx68cm e com delimitação nas bordas de 5cm. O MDF, assim como a madeira não necessitam de punção, a broca já possui a ponta com este fim. Os painéis foram fixados em uma parede de um canteiro de obras. Cabe destacar, que sempre que os ensaios foram realizados, nenhum outro equipamento que pudesse intervir ou mascarar os resultados, estava em uso.

A delimitação das alturas e zonas de furo, foi estabelecida considerando posição de uso frequente, mas que fosse ergonômica, minimizando o esforço e cansaço prematuro do operador. A faixa foi determinada entre a posição do cotovelo em 90° e a mão do gatilho na altura do ombro, sendo a última linha de furos situada a 0,92m (limite inferior) e 1,47m (limite superior) do piso, com a altura definida para conforto do operador com 1,71m de altura. Optou-se pela operacionalidade de execução dos furos, e o tempo de perfuração resultou da sequência de 3 furos para cada teste, por diâmetro de broca, sendo executados em triplicata e igualmente para cada uma das furadeiras listadas anteriormente.

Já para os ensaios em concreto, foram demarcadas grades de furação também com distância de 2,5cm entre os centros, dispostos em toda a superfície útil de cada lajota com dimensões nominais de 45cmx45cmx5cm, já caracterizadas na Tabela 6 e com bordas delimitadas também de 5cm. Para o concreto foi necessária a punção em todos os furos. Cada lajota foi fixada com o topo (limite superior) a 150cm do piso, na parede do canteiro de obras. Cabe ressaltar, que sempre que os ensaios foram realizados, nenhum outro equipamento que pudesse intervir ou mascarar os resultados, estava em uso.

Os tempos relativos à preparação do acelerômetro, bem como os tempos de troca de brocas e posicionamento para furação, não foram computados para fim de cálculos de dose de vibração. São relatados apenas os tempos efetivos de furação, assim como as doses relativas a estes. Foi efetuada a calibração do acelerômetro a cada início de uma bateria de ensaios. As medições foram realizadas nos eixos "x", "y" e "z", sendo obtidos os valores individuais para cada eixo, e a aceleração equivalente normalizada $A(8)$, em m/s^2 .

As medições de vibração em MDF e em concreto, foram aferidas com o sensor posicionado na mão do operador, pois verificou-se ser a melhor maneira de adaptá-lo a todas as furadeiras e sem intervir na execução da tarefa. A norma NHO 10, permite esta possibilidade por facilitar mudanças de posturas e ou posições das mãos em relação aos punhos e ao corpo da ferramenta, ou quando o operador utiliza duas ou mais ferramentas em sua rotina de trabalho.

Os eixos que foram orientados em relação à mão do operador ocorreram conforme Figura 8. No entanto, de acordo com a NHO 10, para vibração em mãos e braços, por trabalhar-se com o resultado da somatória vetorial dos eixos, e o fato dos três eixos, neste caso, terem fator de ponderação igual, e de valor 1,0, não haveria interferência na rotação dos eixos conforme Equação 5.

Griffin (1997, p.75) explica que a orientação dos eixos pode ser definida em relação à mão ou à ferramenta. Isto porque a posição e orientação da mão na ferramenta pode variar, e que pode ser mais conveniente cotar as magnitudes relativas aos três eixos da ferramenta ou aos eixos da mão.

A fim de uma melhor distribuição operacional, as atividades experimentais deste trabalho foram divididas em 2 grandes etapas, sendo elas denominadas ensaios preliminares e definitivos, contendo cada uma delas, um coletivo de vários testes ou subtestes, conforme apresenta-se:

- Ensaios Preliminares de Capacitação das brocas;
- Ensaios Preliminares de Descarte de empunhadura; e
- Ensaios Definitivos da Análise global da operação.

Os primeiros ensaios preliminares têm por finalidade a capacitação, caracterização ou aferição das brocas, que são importantes para detectar a variabilidade encontrada,

ainda que em produtos da mesma marca, com a mesma especificação, e não simplesmente reprová-las, como se faria em uma análise química de precisão ou pesquisa social. Assim, de posse das variabilidades das variáveis envolvidas neste projeto, é possível analisar e ponderar os fatores de segurança a serem incluídos na análise final de tempo, visando uma operação segura por cenário possível.

Já com a segunda fase dos ensaios preliminares buscou-se a redução de uma das variáveis da operação; a empunhadura a ser medida durante a realização dos testes, que caso não fosse efetuada, dobraria o número de furos realizados no ensaio definitivo, além de dificultar a análise global dos dados. A cada furo foi monitorada a voltagem fornecida para a operação antes, durante e após. Para estes testes foram elencadas 3 furadeiras, sendo a F2 por apresentar a menor potência (400W), mas capacidade de furar concreto; a F9 por apresentar a maior potência (780W) e F4 por apresentar a potência (550W) mais próxima da potência média teórica (590W) de todas as furadeiras utilizadas neste trabalho.

O operador usou todos os EPI cabíveis, bem como foi indagado no início de cada teste, com relação à fadiga, estresse, dores ou outras condições adversas, visando minimizar a variação da produtividade. Estes ensaios contemplaram 162 furos em madeira (MDF) e 52 furos em concreto. As condições ambientais de temperatura ambiental e umidade relativa do ar, foram aferidas a cada dia de operação, para posterior análise. Toda a operação foi monitorada pelo acelerômetro e todos registrados em planilha conforme Apêndice A.

Os ensaios definitivos buscaram consolidar e comparar as diferentes condições de operações testadas, a fim de concluir quais os cenários menos favoráveis do ponto de vista ocupacional para operadores de furadeiras. A cada furo foi monitorada a voltagem fornecida para a operação antes, durante e após. O operador usou todos os EPI cabíveis, bem como foi indagado no início de cada teste, com relação à fadiga, estresse, dores ou outras condições adversas, para minimizar a variação da produtividade. As condições ambientais de temperatura ambiental e umidade relativa do ar, foram aferidas a cada dia de operação, para posterior análise. Toda a operação foi monitorada pelo acelerômetro e decibelímetro e todos registrados em planilha conforme Apêndice B.

O número de furos efetuados nos ensaios definitivos foi de 918 (considerando 9 máquinas (400 a 780W), 2 materiais (MDF e Concreto), 3 bitolas (\varnothing 6, 8 e 10mm), 3 brocas (triplicata das brocas: R, S, T), 3 repetições (triplicata de uma mesma condição:

máquina, material, bitola e broca). Sendo que o número de furos em MDF foi 3x maior do que em concreto, pois a cada teste foram efetuados 3 furos de 18mm, visando totalizar 54mm, que foi a profundidade de cada furo efetuado em concreto; foram portanto, 729 furos em madeira (MDF) e 189 furos em concreto.

3.2.2 Planejamento dos experimentos preliminares de capacitação das brocas

Com o uso dos equipamentos listados em 3.1.5, foram rotuladas e identificadas todas as brocas. Os dados obtidos da capacitação foram armazenados para posterior tratamento e análise.

Para realizar a análise microscópica das brocas quando novas e melhor identificação destas, cada broca foi dividida em dois hemisférios de observação, denominados norte e sul, sendo assim possível visualizar 180° da circunferência do corte cilíndrico de cada broca. Foi utilizada iluminação superior e externa, pois não se tratava de uma lâmina translúcida. Foi desenvolvido um suporte que possibilitasse o posicionamento das brocas na mesa do microscópio e foi utilizada a objetiva com ampliação (4x). As imagens foram focalizadas, alinhadas e observadas na própria tela de visualização do equipamento, e capturadas por software próprio em computador, conectado via USB ao microscópio.

A Figura 29 ilustra exemplos das imagens obtidas na microscopia das brocas para concreto da série R e utilizadas na F6, sendo a broca de 6mm de diâmetro acima. A imagem da esquerda refere-se à face denominada Norte e a da direita à face Sul, e abaixo a de diâmetro de 8mm, e mais abaixo a de 10mm de diâmetro, sempre Norte à esquerda e Sul à direita.

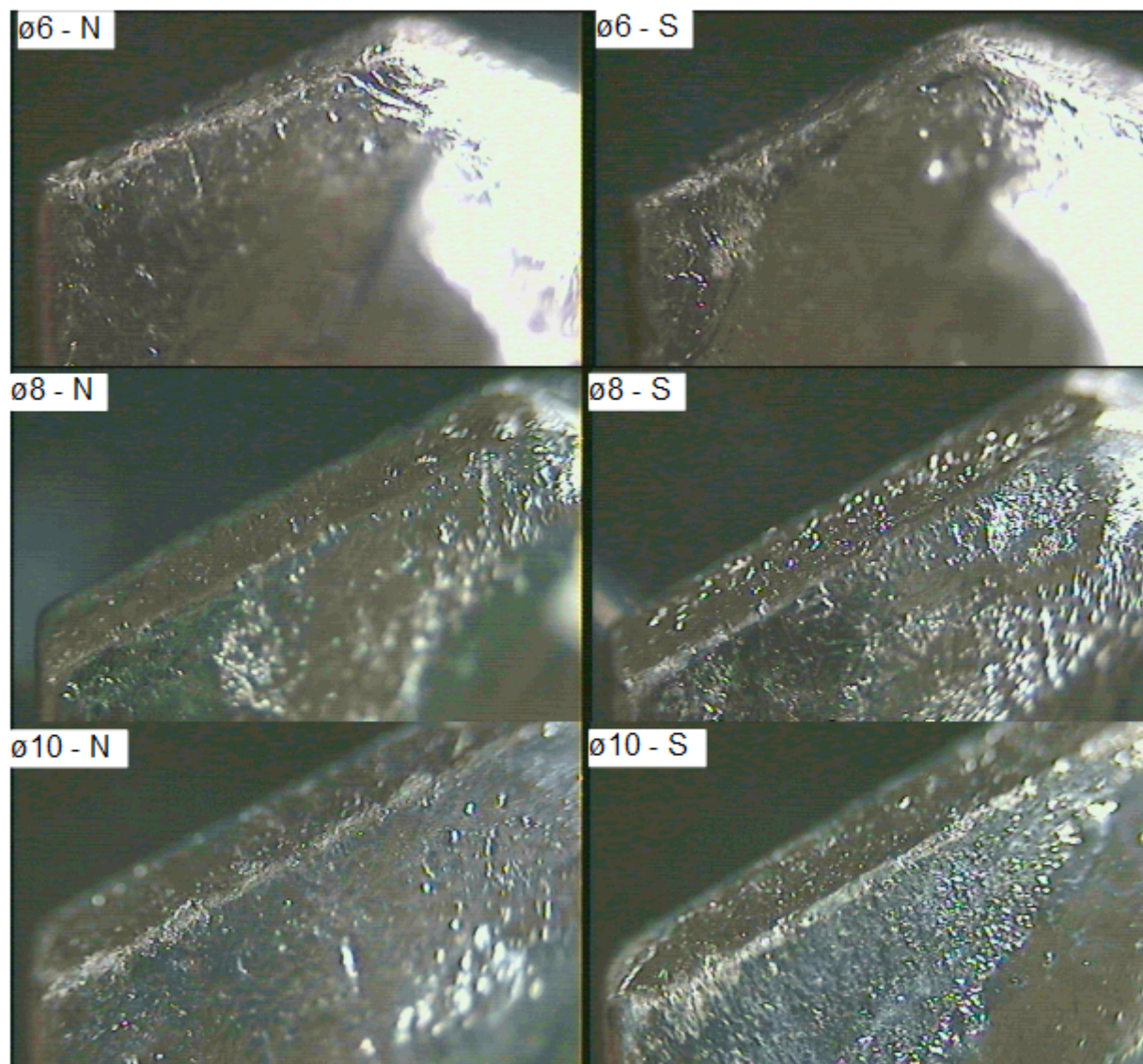


Figura 29 – Exemplo de Microscopia das brocas para concreto
Fonte: Autora (2017).

A Figura 30 ilustra exemplos das imagens obtidas na microscopia das brocas para madeira da série R e utilizadas na F6, sendo a broca de 6mm de diâmetro acima. A imagem da esquerda refere-se à face denominada Norte e a da direita à face Sul, e abaixo a de diâmetro de 8mm, e mais abaixo a de 10mm de diâmetro, sempre Norte à esquerda e Sul à direita.

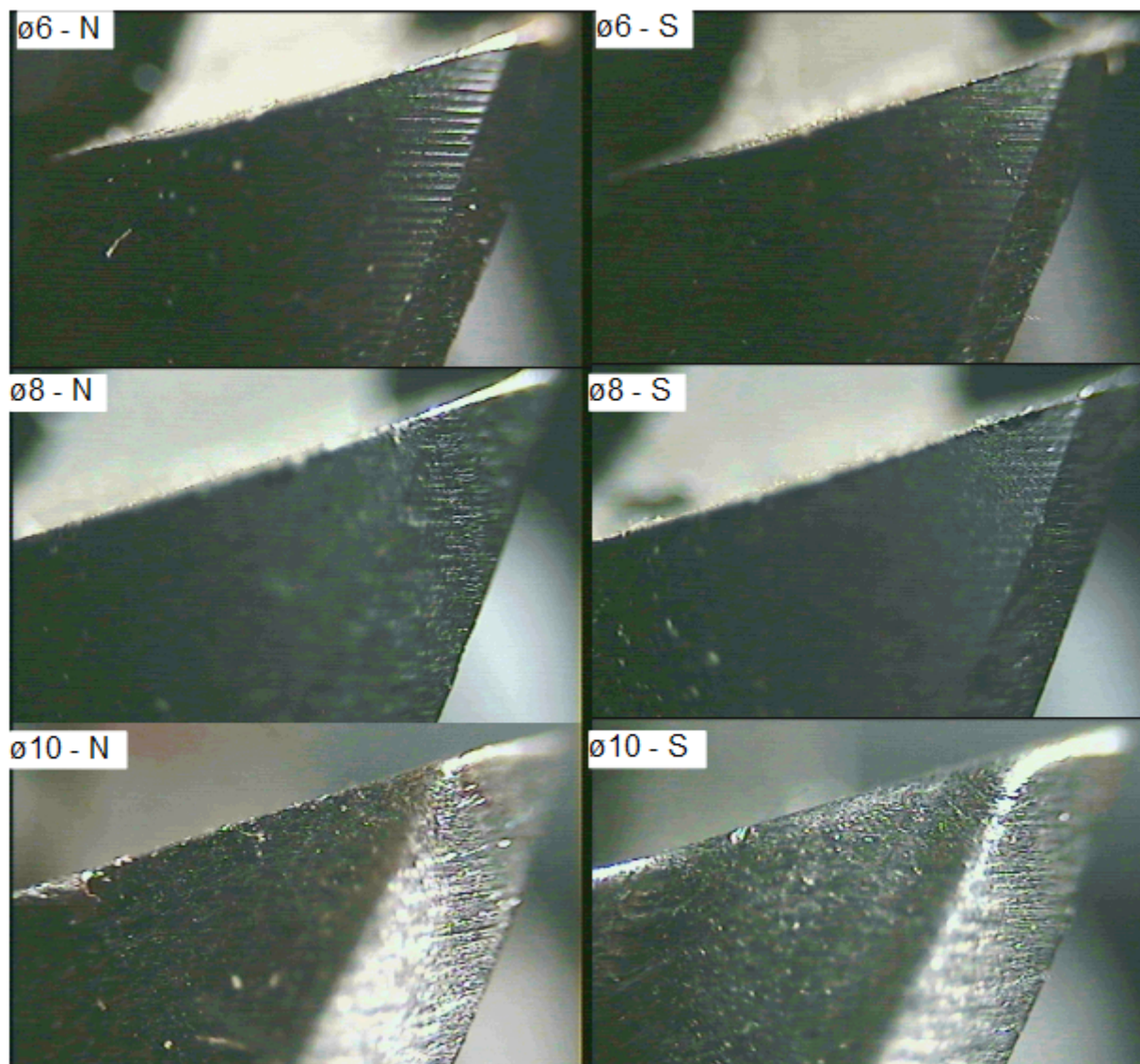


Figura 30 – Exemplo de Microscopia das brocas para madeira
Fonte: Autora (2017).

3.2.3 Planejamento dos experimentos preliminares de descarte de empunhadura

O primeiro passo para a realização dos testes foi determinar qual das empunhaduras apresentava a maior transmissão de VMB para o operador. Portanto, foi necessário realizar uma bateria de ensaios preliminares com o intuito de determinar o maior nível de vibração. A Norma de Higiene Ocupacional NHO 10 recomenda a realização das medições na mão exposta ao maior nível de aceleração, com isso, faz-se necessária a extensão dos testes até que a amostragem tenha convicção técnica suficiente para que seja realmente representativa.

Na Figura 31, apresenta-se o fluxograma da realização dos ensaios de descarte de empunhadura, com cada furadeira, material e diâmetro de brocas utilizados.

Fluxograma de realização do descarte de empunhadura

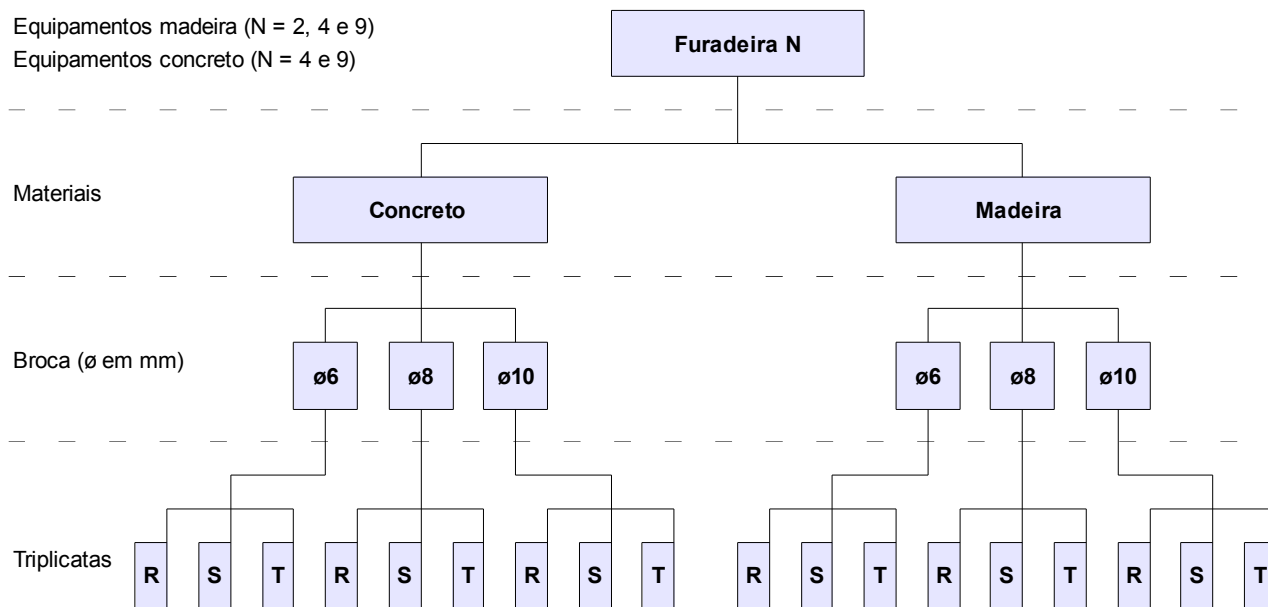


Figura 31 – Fluxograma de realização dos ensaios de descarte de empunhadura

Fonte: Autora (2017).

3.2.3 Planejamento dos experimentos definitivos

Os passos a serem seguidos para os experimentos definitivos são similares aos dos ensaios preliminares de descarte de empunhadura, no entanto, uma vez determinada a empunhadura a ser medida, não há a necessidade de realizar a troca de mão que segura o sensor triaxial durante os testes. Buscou-se a troca contínua de equipamentos, ou seja, os furos eram feitos em rodízio visando a não aquecer demais nenhum equipamento. Na troca de brocas de uma série de testes para a outra, fez-se também uma pausa ergonômica para não sobrecarregar o operador.

Na Figura 32, apresenta-se o fluxograma da realização dos ensaios definitivos, com cada furadeira, material e diâmetro de brocas utilizados.

Fluxograma de realização do ensaio definitivo

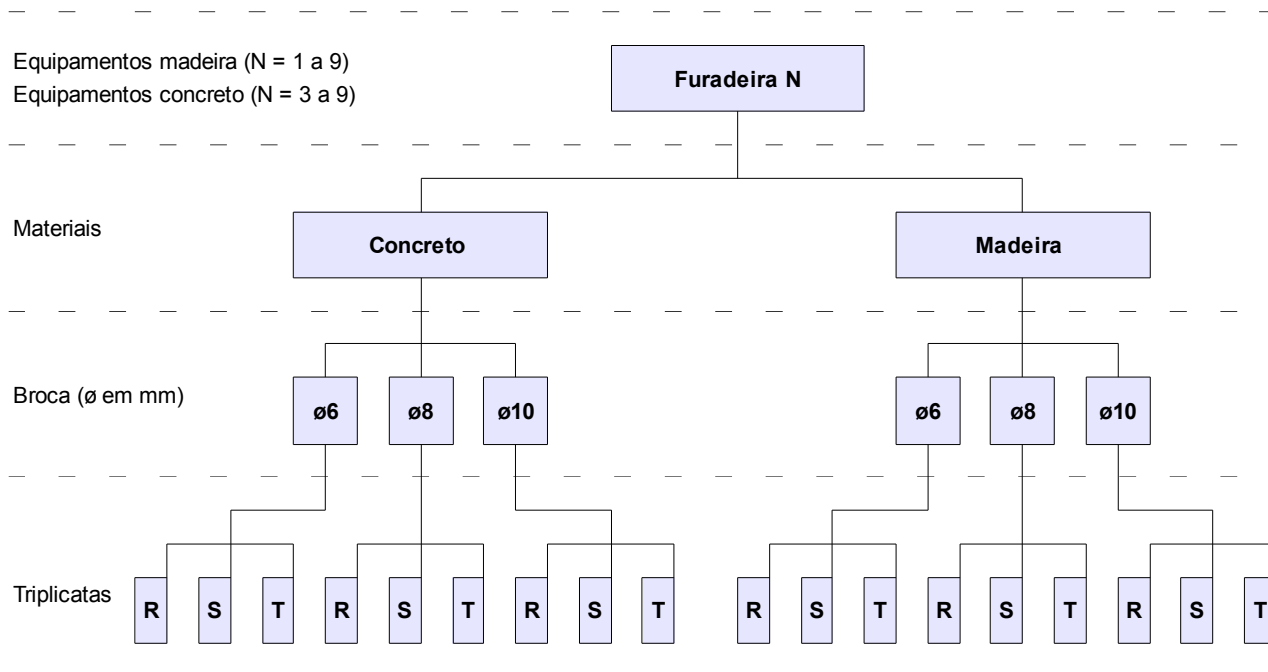


Figura 32 – Fluxograma de realização dos ensaios definitivos

Fonte: Autora (2017).

3.2.4 Tratamento de dados

Todos os dados obtidos, foram registrados, lançados em planilhas eletrônicas para a realização dos cálculos de médias, bem como quaisquer trabalhos estatísticos necessários. Por fim, foram formatados em tabelas para melhor agrupamento dos dados já organizados, assim como para a demonstração de cálculos efetuados. Quando cabível, foram gerados gráficos para a melhor visualização dos resultados mais significativos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo encontram-se os resultados dos testes preliminares de capacitação das brocas bem como os testes de exclusão de empunhadura; encontram-se ainda os resultados consolidados dos testes de vibração em mãos e braços para os diferentes cenários de operação de furadeira, e análises ocupacionais acessórias de ruído e produtividade, e a discussão destes.

4.1 Ensaio preliminares de capacitação das brocas

4.1.1 Capacitação das brocas para os ensaios de descarte de empunhadura

Conforme se observa na Tabela 7, na qual estão os resultados da capacitação de brocas para os ensaios de descarte de empunhadura, a variação mássica e das características dimensionais das brocas como um todo é muito pequena.

Na análise das brocas de 10mm de diâmetro, nota-se que a maior variação de massa, foi detectada nas brocas para madeira, apresentando um valor de 94,63% de conformidade, bem como na média que é de 96,42%.

Ao observar-se os valores encontrados para os diâmetros de 8mm, verifica-se que a menor conformidade de massa foi de 95,05% nas brocas para madeira. Ainda sobre as massas, as brocas de menor bitola (6mm) aferidas, apresentaram 97,41% como menor índice de conformidade.

As características dimensionais apresentaram conformidade ainda maior de uma forma geral, e se for considerada ainda a incerteza da técnica de medição empregada, é possível afirmar que a variação é desprezível.

Tabela 7 – Resultados da capacitação de brocas para os ensaios de descarte de empunhadura

	Massa (g)	Conformidade massa	Dimensões			
			Comprimento (mm)	Conformidade comprimento	Diâmetro (mm)	Conformidade diâmetro
Madeira						
Média ø6mm Madeira	12,87	98,27%	90,82	99,53%	5,95	98,88%
Desvio Padrão ø6mm Madeira	0,31	Menor = 97,41%	0,58	Menor = 99,29%	0,10	Menor = 98,32%
Média ø8mm Madeira	26,93	96,70%	109,22	99,43%	7,96	99,66%
Desvio Padrão ø8mm Madeira	1,17	Menor = 95,05%	0,91	Menor = 99,14%	0,04	Menor = 99,50%
Média ø10mm Madeira	44,07	96,42%	119,62	99,66%	9,96	99,78%
Desvio Padrão ø10mm Madeira	2,06	Menor = 94,63%	0,53	Menor = 99,48%	0,03	Menor = 99,67%
Concreto						
Média ø6mm Concreto	11,37	99,61%	98,29	99,84%	6,18	98,56%
Desvio Padrão ø6mm Concreto	0,06	Menor = 99,41%	0,20	Menor = 99,77%	0,12	Menor = 97,84%
Média ø8mm Concreto	22,73	99,61%	118,05	99,27%	8,23	99,62%
Desvio Padrão ø8mm Concreto	0,12	Menor = 99,41%	1,12	Menor = 98,91%	0,05	Menor = 99,43%
Média ø10mm Concreto	46,50	99,43%	119,94	99,58%	10,23	99,50%
Desvio Padrão ø10mm Concreto	0,36	Menor = 99,14%	0,65	Menor = 99,38%	0,07	Menor = 99,25%

Fonte: Autora (2017).

Na Figura 33, tem-se o gráfico dos resultados da capacitação das brocas para os ensaios de descarte de empunhadura, e é possível observar que a variação dos parâmetros medidos foi baixa, sendo as maiores variações nas brocas para madeira de 8 e 10mm e todas as demais variações menores do que 2,0%. Para as brocas de concreto todas as variações foram menores do que 1,5%, parâmetros estes já demonstrados anteriormente, na Tabela 7.

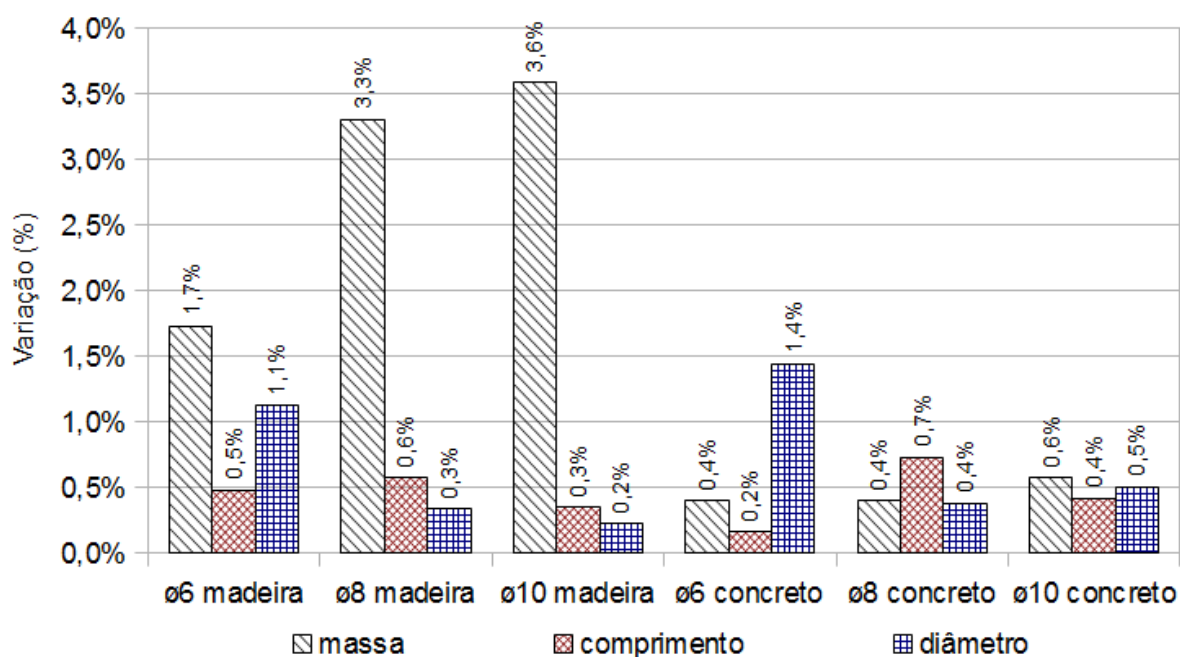


Figura 33 – Gráfico dos resultados da capacitação das brocas para os ensaios de descarte de empunhadura

Fonte: Autora (2017).

4.1.2 Capacitação das brocas para os ensaios definitivos

Conforme observa-se na Tabela 8, na qual estão os resultados da capacitação de brocas, para os ensaios definitivos, a variação mássica e das características dimensionais das brocas como um todo é muito pequena.

Na análise das brocas de 6mm, nota-se que a maior variação mássica foi detectada nas brocas para concreto, apresentando um valor de 95,96% de conformidade bem como na média que é de 98,18%.

Ao observarem-se os valores encontrados para os diâmetros de 8mm, verifica-se que a menor conformidade de massa foi de 96,78% nas brocas para concreto.

Ainda sobre as massas, as brocas de maior bitola (10mm) aferidas com conformidade inferior de 97,57%, foram também as para concreto. As características dimensionais apresentaram conformidade ainda maior de uma forma geral, e se considerarmos ainda a incerteza da técnica de medição empregada, é possível afirmar que a variação é desprezível.

Tabela 8 – Resultados da capacitação de brocas para os ensaios definitivos

	Massa (g)	Conformidade massa	Dimensões			
			Comprimento (mm)	Conformidade comprimento	Diâmetro (mm)	Conformidade diâmetro
Madeira						
Média ø6mm Madeira	13,76	99,23%	89,02	99,67%	6,00	99,54%
Desvio Padrão ø6mm Madeira	0,14	Menor = 97,50%	0,38	Menor = 99,05%	0,03	Menor = 99,07%
Média ø8mm Madeira	29,01	99,32%	109,31	99,75%	7,96	99,62%
Desvio Padrão ø8mm Madeira	0,25	Menor = 98,24%	0,35	Menor = 99,22%	0,04	Menor = 98,90%
Média ø10mm Madeira	44,32	99,31%	120,22	99,46%	9,95	99,48%
Desvio Padrão ø10mm Madeira	0,40	Menor = 97,79%	0,84	Menor = 98,43%	0,06	Menor = 98,57%
Concreto						
Média ø6mm Concreto	11,36	98,18%	100,05	99,58%	6,19	99,62%
Desvio Padrão ø6mm Concreto	0,29	Menor = 95,96%	0,50	Menor = 99,08%	0,04	Menor = 99,18%
Média ø8mm Concreto	24,59	98,40%	119,98	99,77%	8,26	99,22%
Desvio Padrão ø8mm Concreto	0,48	Menor = 96,78%	0,34	Menor = 99,54%	0,08	Menor = 97,79%
Média ø10mm Concreto	49,69	99,21%	120,24	99,61%	10,30	99,53%
Desvio Padrão ø10mm Concreto	0,84	Menor = 97,57%	0,62	Menor = 99,40%	0,08	Menor = 98,77%

Fonte: Autora (2017).

Na Figura 34, tem-se o gráfico dos resultados da capacitação das brocas para os ensaios definitivos, nesta é possível observar que a variação foi ainda menor do que a encontrada nas brocas dos ensaios de descarte de empunhadura, sendo todos os valores abaixo de 2,0% de variação. As duas maiores variações foram nas massas das brocas 6 e 8mm para concreto e todas as demais variações de parâmetros foram

inferiores a 1,0%, ou seja, variações muito pequenas, quase imperceptíveis, como já demonstrado, na Tabela 8.

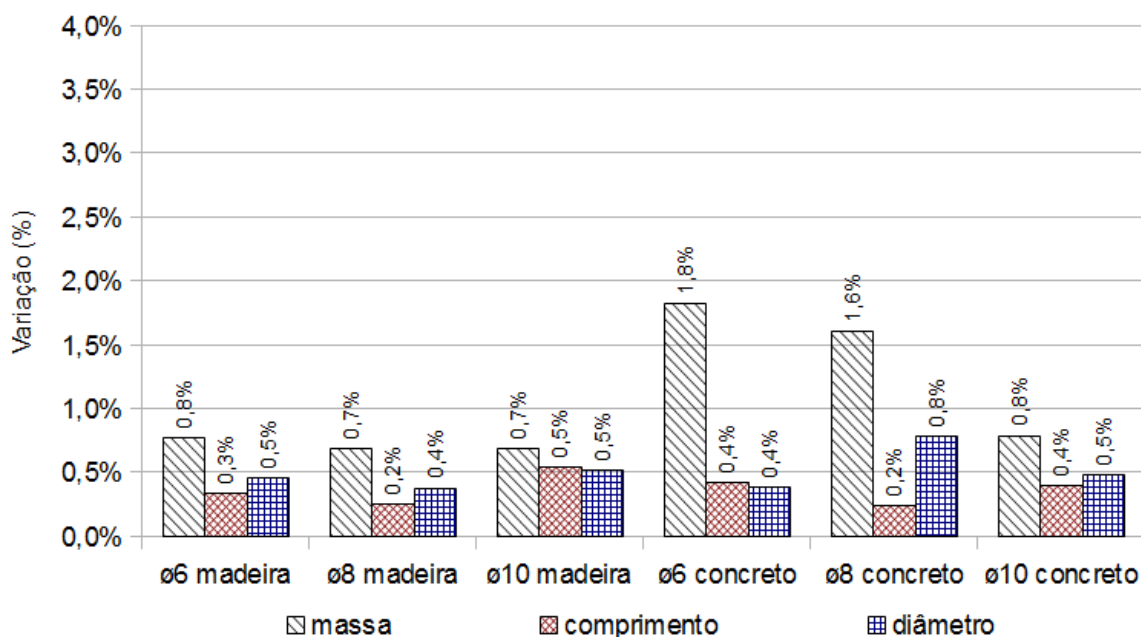


Figura 34 – Gráfico dos resultados da capacitação das brocas para os ensaios definitivos
Fonte: Autora (2017).

4.2 Ensaio preliminares de descarte de empunhadura

4.2.1 Descarte de empunhadura em madeira (MDF)

Na Tabela 9, tem-se o resultado das acelerações nos 3 eixos, bem como a somatória vetorial (ahw) destes. Cabe ressaltar, que para representar a vibração, a análise deve ser efetuada pela aceleração resultante e não eixo a eixo, até porque as componentes "x" e "y" podem sofrer grande variação entre si com um simples movimento de mão do operador, sendo em um cenário esta componente parcial registrada em "x", e em outro, em "y". No entanto, como a resultante soma vetorialmente as três componentes, elimina qualquer análise dúbia neste sentido.

Cada resultado representa a aceleração resultante de 3 furos com uma mesma broca. É possível observar os diferentes resultados de vibração e tempo de operação obtidos em cada teste com as 3 furadeiras, F2, F4 e F9, bem como as variações de diâmetro de broca (ø6, 8 e 10mm), e ainda se esta foi medida na empunhadura dianteira ou no gatilho.

Tabela 9 – Registros de vibração por eixo do descarte de empunhadura em madeira (MDF)

Empunhaduras:	Broca de ø6 mm		Broca de ø8 mm		Broca de ø10 mm	
	dianteira	gatilho	dianteira	gatilho	dianteira	gatilho
ax (m/s ²)	3,68	3,94	5,63	8,77	12,72	16,01
ay (m/s ²)	1,88	1,06	4,16	3,49	8,49	5,43
az (m/s ²)	1,63	2,15	2,02	5,28	3,91	10,15
F2 ahw (m/s²)	4,44	4,61	7,29	10,81	15,79	19,92
tempo(s)	21	21	39	34	59	57
ax (m/s ²)	1,70	3,81	8,26	12,28	4,56	4,13
ay (m/s ²)	1,95	1,69	4,51	3,15	1,94	2,12
az (m/s ²)	1,38	2,93	2,70	7,54	2,02	3,15
F4 ahw (m/s²)	2,94	5,09	9,79	14,75	5,35	5,61
tempo(s)	14	12	17	15	17	19
ax (m/s ²)	2,02	2,83	1,91	3,45	4,17	5,84
ay (m/s ²)	2,56	1,38	3,19	1,87	4,96	2,82
az (m/s ²)	2,01	2,31	1,85	2,30	2,74	2,97
F9 ahw (m/s²)	3,83	3,91	4,15	4,55	7,04	7,13
tempo(s)	14	12	20	14	19	17

Fonte: Autora (2017).

Na Tabela 10 observa-se mais claramente a diferença percentual da vibração da empunhadura dianteira (D) e de gatilho (G). Observa-se ainda, que houve pouca variação de tempo entre um ensaio e outro, de mesmo diâmetro de broca e mesma máquina, e que nos 9 cenários, a empunhadura de gatilho apresentou maior vibração transmitida à mão do operador, podendo ser até 73% maior do que a dianteira, mesmo que em uma condição de tempo 14% mais rápida, na qual esperar-se-ia menor vibração.

Tabela 10 – Comparativo da vibração de cada empunhadura para madeira (MDF)

Empunhaduras:	Broca de ø6 mm			Broca de ø8 mm			Broca de ø10 mm		
	dianteira	gatilho	% de G/D	dianteira	gatilho	% de G/D	dianteira	gatilho	% de G/D
ahw (m/s ²)	4,44	4,61	3,83%	7,29	10,81	48,29%	15,79	19,92	26,16%
tempo(s)	21	21	-	39	34	-	59	57	-
F2 ahw _{média} (m/s ²)	4,53±0,08	-	-	9,05±1,76	-	-	17,86±2,07	-	-
tempo _{médio} (s)	21,0±0,0	-	-	36,5±2,5	-	-	58,0±1,0	-	-
ahw (m/s ²)	2,94	5,09	73,13%	9,79	14,75	50,66%	5,35	5,61	4,86%
tempo(s)	14	12	-	17	15	-	17	19	-
F4 ahw _{média} (m/s ²)	4,02±1,08	-	-	12,27±2,48	-	-	5,48±0,13	-	-
tempo _{médio} (s)	13,0±1,0	-	-	16,0±1,0	-	-	18,0±1,0	-	-
ahw (m/s ²)	3,83	3,91	2,09%	4,15	4,55	9,64%	7,04	7,13	1,28%
tempo(s)	14	12	-	20	14	-	19	17	-
F9 ahw _{média} (m/s ²)	3,87±0,04	-	-	4,35±0,20	-	-	7,09±0,04	-	-
tempo _{médio} (s)	13,0±1,0	-	-	17,0±3,0	-	-	18,0±1,0	-	-

Fonte: Autora (2017).

Conforme observa-se na Tabela 10, ao analisar-se tão somente a empunhadura de gatilho, a qual foi determinada como de maior interesse quanto à exposição de VMB do operador, considerando os diferentes diâmetros de broca, percebe-se que a broca de

10mm tende a apresentar maior vibração para o operador e maior tempo de exposição por furo efetuado. Bem como a broca de 6mm em todos os testes apresentou menor vibração e menor tempo.

Quando analisam-se as 3 diferentes furadeiras, percebe-se que a de maior potência (F9 – 780W), apresentou em todos os testes, independentemente dos diâmetros de brocas, quando comparadas entre si, uma menor vibração para o operador, bem como menor tempo de exposição por furo. Já com a menor furadeira deste ensaio (F2 – 400W), houve uma tendência de apresentar maior vibração e maior tempo de operação por furo.

4.2.2 Descarte de empunhadura em concreto

Na Tabela 11, para representar a vibração, tem-se o resultado das acelerações nos 3 eixos, bem como a somatória vetorial (ahw) destes. Cabe ressaltar, que a análise deve ser efetuada pela aceleração resultante e não eixo a eixo, até porque as componentes "x" e "y" podem sofrer grande variação entre si com um simples movimento de mão do operador, sendo em um cenário esta componente parcial registrada em "x" e em outro em "y". No entanto, a resultante como soma vetorialmente as três componentes, elimina qualquer análise dúbia neste sentido.

Entre as três furadeiras selecionadas para realizar os testes, apenas a F4 e F9, foram capazes de efetivamente realizar o ensaio, sendo que F2 foi incapaz de furar este corpo de prova. Portanto, é possível observar os diferentes resultados de vibração e tempo de operação obtidos em cada teste com as furadeiras, F4 e F9, bem como as variações de diâmetro de broca (ø6, 8 e 10mm) e ainda se esta foi medida na empunhadura dianteira ou no gatilho.

Tabela 11 – Registros de vibração por eixo do descarte de empunhadura em concreto

Empunhaduras:	Broca de ø6 mm		Broca de ø8 mm		Broca de ø10 mm	
	dianteira	gatilho	dianteira	gatilho	dianteira	gatilho
ax (m/s ²)	4,36	5,95	10,14	5,69	14,58	8,83
ay (m/s ²)	6,55	5,06	11,10	6,41	14,85	10,13
az (m/s ²)	2,56	5,51	4,69	5,87	8,19	7,81
F4 ahw (m/s²)	8,34	9,59	15,93	10,40	22,38	15,61
tempo(s)	13	13	20	30	19	18
ax (m/s ²)	6,23	8,06	7,02	8,19	10,09	8,38
ay (m/s ²)	7,54	5,81	8,66	6,55	9,88	6,81
az (m/s ²)	5,89	7,06	6,05	7,24	7,24	7,25
F9 ahw (m/s²)	11,48	12,20	12,74	12,80	15,89	13,02
tempo(s)	10	10	14	10	11	12

Fonte: Autora (2017).

Na Tabela 12, para representar a vibração, tem-se a somatória vetorial (ahw) dos eixos "x", "y" e "z". Cada resultado representa a média da aceleração resultante de 3 a 5 furos com uma mesma broca. Observam-se os diferentes resultados de vibração e tempo de operação obtidos em cada teste com as 2 furadeiras, F4 e F9, bem como as variações de diâmetro de broca ($\varnothing 6$, 8 e 10mm) e ainda se esta foi medida na empunhadura dianteira ou no gatilho.

Tabela 12 – Comparativo da vibração de cada empunhadura para concreto

Empunhaduras:	Broca de $\varnothing 6$ mm			Broca de $\varnothing 8$ mm			Broca de $\varnothing 10$ mm				
	diantei.	gatilho		comparação	diantei.	gatilho		comparação	diantei.	gatilho	
			G/D				G/D				G/D
F4	ahw (m/s^2)	8,34	9,59	ahw em gatilho	15,93	10,40	ahw em dianteira	22,38	15,61	ahw em dianteira	
	tempo(s)	13	13	15,1% maior do que em dianteira	20,3	29,7	34,7% maior do que em gatilho	19	18	30,3% maior do que em gatilho	
	ahw _{média} (m/s^2)	8,97 \pm 0,63			13,17 \pm 2,76			18,99 \pm 3,39			
	tempo _{médio} (s)	12,8 \pm 0,2			25,0 \pm 4,7			18,5 \pm 0,5			
F9	ahw (m/s^2)	11,48	12,20	ahw em gatilho	12,74	12,80	ahw em gatilho	15,89	13,02	ahw em dianteira	
	tempo(s)	10	10	6,2% maior do que em dianteira	14	10	0,4% maior do que em dianteira	11	12	18,1% maior do que em gatilho	
	ahw _{média} (m/s^2)	11,84 \pm 0,36			12,77 \pm 0,03			14,46 \pm 1,44			
	tempo _{médio} (s)	9,8 \pm 0,2			12,0 \pm 1,8			11,8 \pm 0,5			

Fonte: Autora (2017).

Ainda na Tabela 12, considerando que a maior incidência de diferenças significativas de vibração entre as empunhaduras, ocorreram para a dianteira, F4 em $\varnothing 8$ mm e $\varnothing 10$ mm e F9 em $\varnothing 10$ mm, assim como os resultados máximos absolutos ocorreram em empunhadura dianteira, elencou-se esta para as medições dos testes definitivos e descartou-se a medição em empunhadura de gatilho.

4.3 Ensaios definitivos

4.3.1 Resultados dos ensaios em madeira (MDF)

Na Tabela 13, encontram-se os dados dos ensaios definitivos em madeira (MDF), para os três diâmetros de brocas e os valores médios das triplicatas dos testes em R, em S e em T (nomes dados as 3 diferentes brocas utilizadas em uma mesma furadeira), e respectivos tempos de operação, realizados com cada uma das furadeiras selecionadas. É perceptível consistência nos dados de um mesmo diâmetro e máquina.

Tabela 13 – Dados dos ensaios definitivos em madeira (MDF)

Ensaio de vibração em Madeira	Broca de ø6 mm				Broca de ø8 mm				Broca de ø10 mm			
	R	S	T	Média	R	S	T	Média	R	S	T	Média
ax (m/s ²)	1,74	1,10	1,21	1,35	1,59	1,09	0,65	1,11	2,40	2,32	2,00	2,24
ay (m/s ²)	1,73	1,02	1,17	1,31	1,44	0,46	1,10	1,00	1,87	2,04	1,58	1,83
az (m/s ²)	1,75	1,76	1,35	1,62	1,63	1,72	2,33	1,89	2,04	2,29	1,49	1,94
F1 ahw (m/s²)	3,02	2,29	2,16	2,49	2,69	1,88	2,65	2,41	3,66	3,82	2,95	3,48
Ruído em dB(A)	81,1	80,7	81,2	81,0	81,8	81,6	82,0	81,8	82,3	82,8	81,9	82,3
tempo(s)	8	11	8	9	14	13	15	14	14	15	15	15
ax (m/s ²)	2,15	1,68	2,26	2,03	2,49	2,79	3,18	2,82	3,29	3,83	3,43	3,52
ay (m/s ²)	2,38	1,28	2,38	2,01	1,22	1,49	1,42	1,38	3,61	3,99	4,25	3,95
az (m/s ²)	1,97	1,65	1,75	1,79	1,61	2,03	2,45	2,03	2,25	2,60	2,77	2,54
F2 ahw (m/s²)	3,76	2,64	3,71	3,37	3,21	3,75	4,26	3,74	5,38	6,10	6,12	5,87
Ruído em dB(A)	82,2	82,6	81,8	82,2	81,3	81,9	81,6	81,6	83,3	83,2	82,7	83,1
tempo(s)	9	10	8	9	9	8	9	9	13	13	13	13
ax (m/s ²)	2,64	3,40	2,42	2,82	6,58	7,02	7,01	6,87	4,15	4,17	3,98	4,10
ay (m/s ²)	2,28	1,94	1,60	1,94	2,96	3,07	2,31	2,78	2,52	2,53	3,17	2,74
az (m/s ²)	2,19	2,23	2,07	2,16	5,34	5,31	5,70	5,45	4,81	4,43	5,16	4,80
F3 ahw (m/s²)	4,12	4,47	3,56	4,05	8,97	9,30	9,33	9,20	6,83	6,56	7,24	6,88
Ruído em dB(A)	79,9	80,2	80,6	80,2	84,8	84,8	85,4	85,0	85,7	85,3	84,9	85,3
tempo(s)	15	16	15	15	13	13	13	13	10	10	10	10
ax (m/s ²)	4,56	3,45	4,44	4,15	2,81	1,85	2,59	2,42	2,49	1,70	2,15	2,11
ay (m/s ²)	2,75	2,93	2,81	2,83	1,92	2,22	2,43	2,19	2,49	1,55	2,11	2,05
az (m/s ²)	2,92	3,59	2,94	3,15	1,54	2,79	1,61	1,98	2,14	1,79	2,43	2,12
F4 ahw (m/s²)	6,07	5,70	6,02	5,93	3,74	3,82	3,90	3,82	4,12	2,90	3,87	3,63
Ruído em dB(A)	81,2	81,9	81,1	81,4	86,3	85,2	86,1	85,9	84,8	84,1	84,9	84,6
tempo(s)	9	9	9	9	11	11	11	11	12	12	12	12
ax (m/s ²)	1,49	1,31	1,94	1,58	3,47	2,63	2,87	2,99	2,89	1,90	2,48	2,42
ay (m/s ²)	1,24	2,00	1,97	1,74	2,31	1,47	1,74	1,84	2,08	0,99	1,82	1,63
az (m/s ²)	2,26	1,45	1,79	1,83	2,08	1,77	2,18	2,01	1,87	2,06	1,44	1,79
F5 ahw (m/s²)	2,98	2,67	3,30	2,98	4,66	3,49	4,00	4,05	4,02	2,84	3,40	3,42
Ruído em dB(A)	82,5	82,1	82,3	82,3	84,3	84,4	84,8	84,5	80,1	80,5	80,5	80,4
tempo(s)	9	10	11	10	10	10	10	10	9	9	9	9
ax (m/s ²)	3,09	1,95	2,76	2,60	2,40	3,31	2,72	2,81	3,06	2,94	3,21	3,07
ay (m/s ²)	2,21	1,26	2,23	1,90	2,22	3,23	2,08	2,51	1,84	3,01	1,81	2,22
az (m/s ²)	2,11	1,88	2,59	2,19	1,75	2,99	1,80	2,18	2,00	3,29	2,00	2,43
F6 ahw (m/s²)	4,34	2,96	4,39	3,90	3,71	5,47	3,87	4,35	4,09	5,22	4,19	4,50
Ruído em dB(A)	78,0	78,0	78,6	78,2	83,6	85,0	83,7	84,1	84,5	83,8	84,6	84,3
tempo(s)	7	8	9	8	10	10	10	10	12	12	12	12
ax (m/s ²)	1,84	0,90	1,94	1,56	1,78	2,30	2,70	2,26	1,87	1,89	2,00	1,92
ay (m/s ²)	1,67	1,27	1,44	1,46	1,79	2,64	1,96	2,13	2,14	2,38	2,14	2,22
az (m/s ²)	1,74	1,76	1,40	1,63	2,62	1,82	2,88	2,44	2,30	2,24	1,76	2,10
F7 ahw (m/s²)	3,03	2,22	2,79	2,68	3,64	3,81	4,40	3,95	3,66	3,76	3,42	3,61
Ruído em dB(A)	79,2	79,0	79,4	79,2	85,4	86,5	85,2	85,7	85,3	85,9	85,3	85,5
tempo(s)	9	10	8	9	11	11	11	11	13	12	13	13
ax (m/s ²)	1,70	2,31	1,83	1,95	1,26	1,92	1,65	1,61	2,27	1,67	2,35	2,10
ay (m/s ²)	1,03	1,59	1,85	1,49	1,85	2,35	1,92	2,04	2,33	2,76	1,90	2,33
az (m/s ²)	1,67	1,68	2,33	1,89	2,17	2,40	1,64	2,07	2,63	1,94	2,69	2,42
F8 ahw (m/s²)	2,60	3,21	3,49	3,10	3,12	3,82	3,02	3,32	4,19	3,64	4,05	3,96
Ruído em dB(A)	75,4	76,1	75,1	75,5	79,9	79,4	80,1	79,8	79,4	79,8	78,9	79,4
tempo(s)	9	9	9	9	11	10	11	11	11	11	11	11
ax (m/s ²)	3,02	2,13	2,77	2,64	2,73	2,94	2,13	2,60	2,36	2,87	2,21	2,48
ay (m/s ²)	1,64	1,69	1,86	1,73	1,63	2,51	1,65	1,93	1,54	2,27	1,68	1,83
az (m/s ²)	2,36	2,20	2,94	2,50	3,02	1,99	2,62	2,54	2,55	1,78	2,63	2,32
F9 ahw (m/s²)	4,17	3,48	4,44	4,03	4,38	4,19	3,76	4,11	3,80	3,96	3,82	3,86
Ruído em dB(A)	80,3	79,4	79,7	79,8	83,5	82,5	83,3	83,1	84,3	83,5	84,5	84,1
tempo(s)	10	12	11	11	10	10	10	10	11	11	11	11

Fonte: Autora (2017).

Na Tabela 14, na análise dos dados para madeira (MDF), é possível observar que a maior aceleração foi de 9,20m/s² com a F3 e broca de ø8mm. O maior nível de ruído percebido foi de 85,9dB(A), com a F4 e broca 8mm, e o maior tempo de furação foi de 15 segundos, percebido nas furadeiras F1, com a broca ø10mm e F3, com a ø6mm.

Tabela 14 – Análise dos dados para madeira (MDF)

Ensaio de vibração em Madeira		Broca de ø6 mm	Broca de ø8 mm	Broca de ø10 mm	Maior		Menor	
F1	ahw (m/s ²)	2,49	2,41	3,48	ø10:	3,48	ø8:	2,41
	Ruído em dB(A)	81,0	81,8	82,3	ø10:	82,3	ø6:	81,0
	tempo(s)	9	14	15	ø10:	15	ø6:	9
F2	ahw (m/s ²)	3,37	3,74	5,87	ø10:	5,87	ø6:	3,37
	Ruído em dB(A)	82,2	81,6	83,1	ø10:	83,1	ø8:	81,6
	tempo(s)	9	9	13	ø10:	13	ø6:	9
F3	ahw (m/s ²)	4,05	9,20	6,88	ø8:	9,20	ø6:	4,05
	Ruído em dB(A)	80,2	85,0	85,3	ø10:	85,3	ø6:	80,2
	tempo(s)	15	13	10	ø6:	15	ø10:	10
F4	ahw (m/s ²)	5,93	3,82	3,63	ø6:	5,93	ø10:	3,63
	Ruído em dB(A)	81,4	85,9	84,6	ø8:	85,9	ø6:	81,4
	tempo(s)	9	11	12	ø10:	12	ø6:	9
F5	ahw (m/s ²)	2,98	4,05	3,42	ø8:	4,05	ø6:	2,98
	Ruído em dB(A)	82,3	84,5	80,4	ø8:	84,5	ø10:	80,4
	tempo(s)	10	10	9	ø8:	10	ø10:	9
F6	ahw (m/s ²)	3,90	4,35	4,50	ø10:	4,50	ø6:	3,90
	Ruído em dB(A)	78,2	84,1	84,3	ø10:	84,3	ø6:	78,2
	tempo(s)	8	10	12	ø10:	12	ø6:	8
F7	ahw (m/s ²)	2,68	3,95	3,61	ø8:	3,95	ø6:	2,68
	Ruído em dB(A)	79,2	85,7	85,5	ø8:	85,7	ø6:	79,2
	tempo(s)	9	11	13	ø10:	13	ø6:	9
F8	ahw (m/s ²)	3,10	3,32	3,96	ø10:	3,96	ø6:	3,10
	Ruído em dB(A)	75,5	79,8	79,4	ø8:	79,8	ø6:	75,5
	tempo(s)	9	11	11	ø10:	11	ø6:	9
F9	ahw (m/s ²)	4,03	4,11	3,86	ø8:	4,11	ø10:	3,86
	Ruído em dB(A)	79,8	83,1	84,1	ø10:	84,1	ø6:	79,8
	tempo(s)	11	10	11	ø10:	11	ø8:	10
	Maior ahw (m/s²)	9,20	em F3 ø8mm					
	Maior Ruído em dB(A)	85,9	em F4 ø8mm					
	Maior tempo(s)	15,0	em F1 ø10mm e F3 ø6mm					
	Menor ahw (m/s ²)	2,41	em F1 ø8mm					
	Menor Ruído em dB(A)	75,5	em F8 ø6mm					
	Menor tempo(s)	8	em F6 ø6mm					

Fonte: Autora (2017).

Ao analisar-se a tendência de vibração por diâmetro de broca em madeira (MDF), com base na tabela 15, é possível afirmar que a broca ø6mm tende a gerar menos ruído, ter menor tempo de operação e menor vibração para qualquer máquina. Já as brocas ø10 e ø8mm, tendem a apresentar maior vibração e ruído na furação em madeira (MDF), sem apresentar grande discrepância entre si. Contudo, a broca ø10mm, tende a gastar maior tempo de operação quase sempre.

Tabela 15 – Análise de tendência de vibração e ruído por diâmetro de broca em madeira (MDF)

Ensaio de vibração em Madeira	Broca de ø6 mm	Broca de ø8 mm	Broca de ø10 mm
Maior ahw (m/s²)	1 ou 11,1%	4 ou 44,4%	4 ou 44,4%
Maior Ruído em dB(A)	0 ou 0,0%	4 ou 44,4%	5 ou 55,6%
Maior tempo(s)	1 ou 11,1%	1 ou 11,1%	7 ou 77,8%
Menor ahw (m/s ²)	6 ou 66,7%	1 ou 11,1%	2 ou 22,2%
Menor Ruído em dB(A)	7 ou 77,8%	1 ou 11,1%	1 ou 11,1%
Menor tempo(s)	6 ou 66,7%	1 ou 11,1%	2 ou 22,2%

Fonte: Autora (2017).

Na Figura 35, percebe-se melhor as vibrações por furadeira e broca, já demonstradas na Tabela 14, onde é visível a maior vibração acima de de 9,0 m/s², com a F3 e broca \varnothing 8mm e as menores com a F1 e as brocas \varnothing 8 e \varnothing 6mm. E ainda uma zona de estabilidade que ocorre nos três diâmetros de broca de F5 até F9.

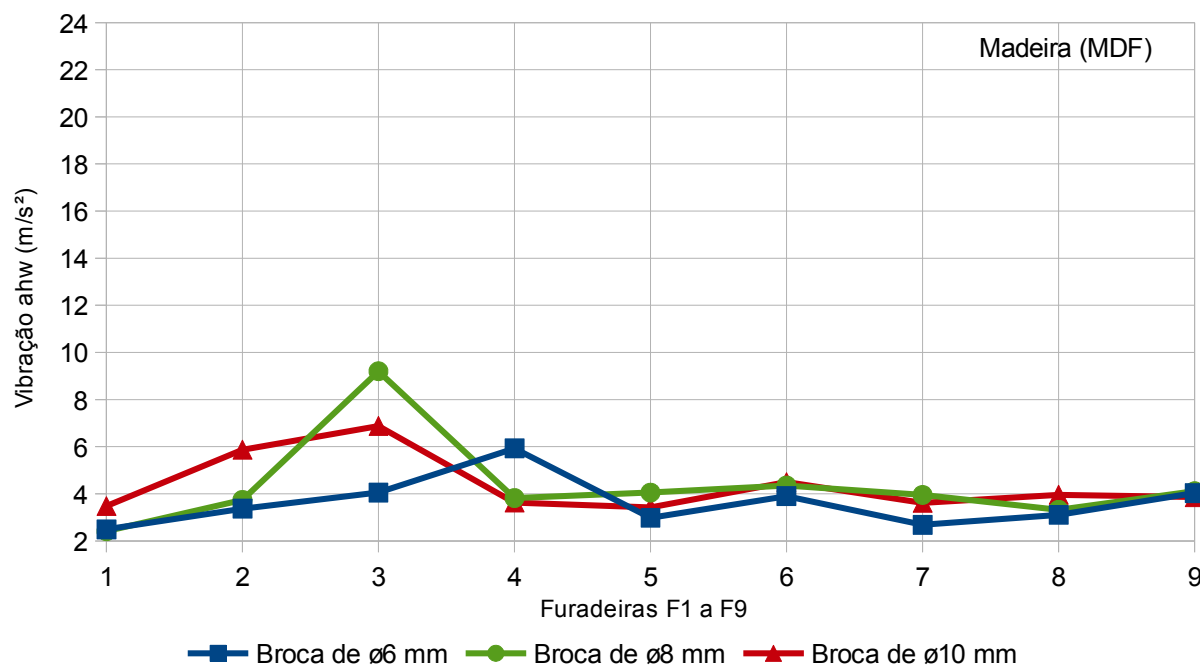


Figura 35 – Gráfico das vibrações por furadeira para cada broca em madeira (MDF)
Fonte: Autora (2017).

Na Figura 36, observa-se o menor valor de ruído com a furadeira F8 e com uma broca \varnothing 6mm, e os mais elevados com a F4 e com uma broca \varnothing 8mm, e F7 com brocas \varnothing 8 e \varnothing 10mm, conforme demonstrado na Tabela 14. Reforça-se ainda, um perfil geral de menor ruído para a broca \varnothing 6mm, bem como um comportamento similar das brocas \varnothing 8 e \varnothing 10mm, com exceção da furadeira F5.

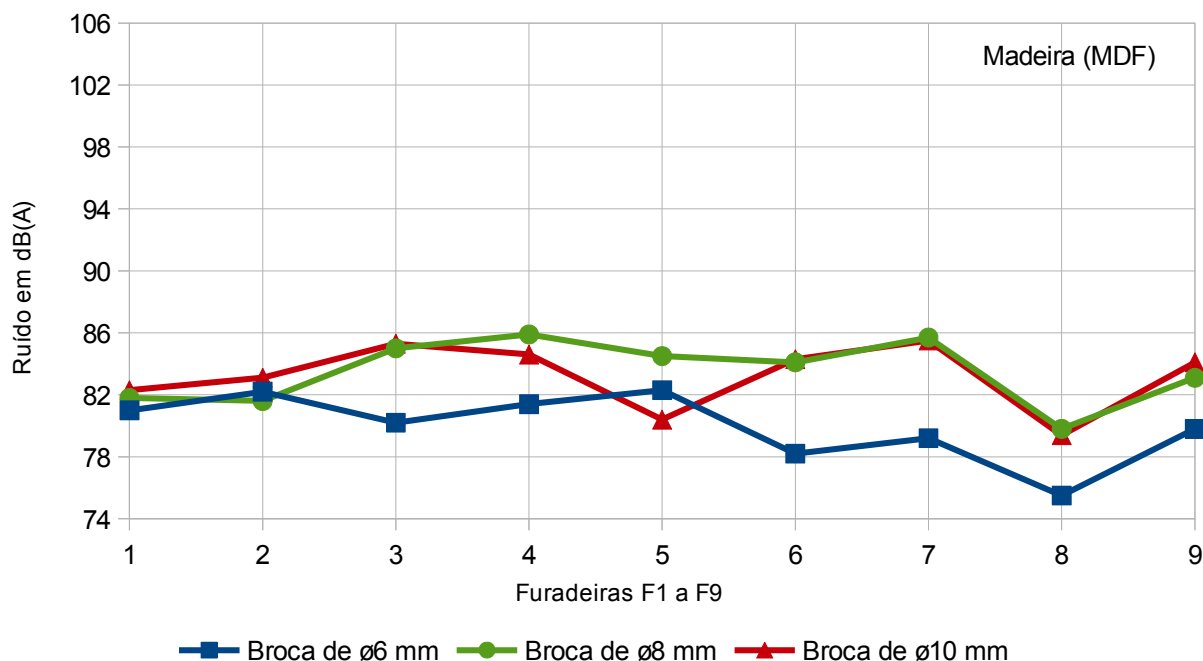


Figura 36 – Gráfico do ruído por furadeira para cada broca em madeira (MDF)
Fonte: Autora (2017).

Com base na Figura 37, pode-se afirmar que a maior produtividade ocorreu com a furadeira F6 com a broca ø6mm. Nesta configuração, em média realizaram-se os 3 furos em 8s, ou seja, um furo a cada 2,67s, enquanto os maiores tempos foram de 5s por furo com as furadeiras F1 com broca ø10mm e F3 com broca ø6mm. Cabe ressaltar, que em madeira (MDF), os tempos informados no gráfico, referem-se a três furos, conforme descrito no item 3.2.1. O parâmetro produtividade, aqui discutido, refere-se à capacidade de uma determinada configuração, de furadeira mais broca, realizar a perfuração em determinado tempo; ou seja, em quanto tempo (segundos) faz-se a profundidade (centímetros) de furação proposta em cada teste. Como a profundidade de furação foi constante ao longo de todos os testes, optou-se por fazer a análise apenas pelo tempo de perfuração, e não como velocidade em m/s ou cm/s, como poderia alternativamente ser expressa.

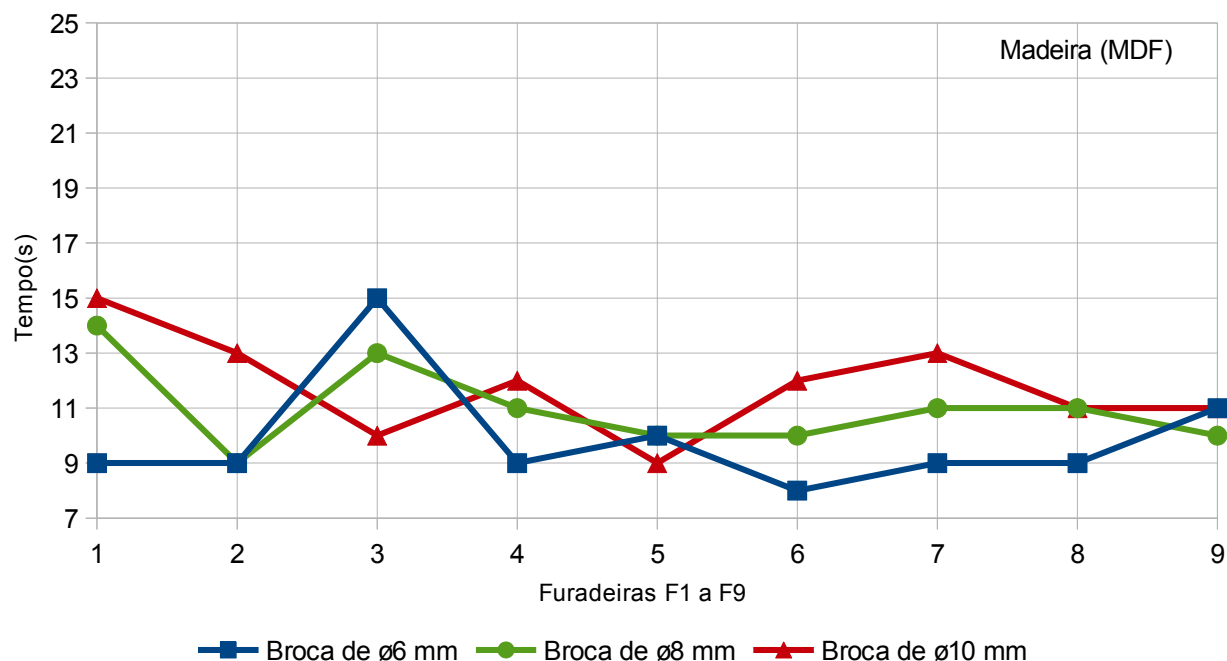


Figura 37 – Gráfico dos tempos por furadeira para cada broca em madeira (MDF)
Fonte: Autora (2017).

4.3.2 Resultados dos ensaios em concreto

Na Tabela 16, encontram-se os dados dos ensaios definitivos em concreto, para os três diâmetros de brocas, e os valores médios das triplicatas dos testes em R, em S e em T, e respectivos tempos de operação, realizados com cada uma das furadeiras selecionadas. Assim como em madeira (MDF), nota-se consistência numa mesma bitola de broca e máquina. No entanto, é perceptível que de forma geral houve incremento nos parâmetros medidos, bem como na diferença entre os extremos máximos e mínimos obtidos.

Tabela 16 – Dados dos ensaios definitivos em concreto

Ensaio de vibração em Concreto	Broca de ø6 mm				Broca de ø8 mm				Broca de ø10 mm			
	R	S	T	Média	R	S	T	Média	R	S	T	Média
ax (m/s ²)	18,41	19,00	19,02	18,81	17,38	17,14	16,53	17,02	16,18	16,00	15,97	16,05
ay (m/s ²)	11,21	11,91	11,84	11,65	8,63	7,96	8,46	8,35	8,48	9,40	8,85	8,91
az (m/s ²)	8,10	7,18	8,12	7,80	7,74	7,88	7,45	7,69	6,70	6,83	7,26	6,93
F3 ahw (m/s²)	23,02	23,53	23,83	23,46	20,89	20,47	20,01	20,46	19,46	19,75	19,65	19,62
Ruído em dB(A)	97,7	98,3	98,3	98,1	98,8	98,9	98,1	98,6	102,6	102,4	102,8	102,6
tempo(s)	23	25	24	24	19	19	19	19	19	18	19	19
ax (m/s ²)	5,11	4,89	4,63	4,88	12,18	11,62	11,78	11,86	5,61	5,65	5,48	5,58
ay (m/s ²)	7,35	7,31	7,75	7,47	9,87	10,24	9,62	9,91	10,30	10,55	10,31	10,39
az (m/s ²)	3,31	2,25	3,50	3,02	7,16	6,37	7,07	6,87	3,11	4,40	3,27	3,59
F4 ahw (m/s²)	9,55	9,00	9,68	9,41	17,23	16,72	16,78	16,91	12,14	12,73	12,13	12,33
Ruído em dB(A)	92,6	92,9	92,4	92,6	100,2	100,9	100,4	100,5	97,0	96,5	96,7	96,7
tempo(s)	15	14	16	15	17	16	17	17	17	18	17	17
ax (m/s ²)	7,14	6,20	6,70	6,68	7,91	8,16	7,45	7,84	6,30	6,46	6,56	6,44
ay (m/s ²)	10,34	10,51	10,35	10,40	7,85	6,90	8,02	7,59	12,27	11,61	11,46	11,78
az (m/s ²)	5,24	5,15	5,73	5,37	4,97	4,83	5,53	5,11	4,73	4,76	4,43	4,64
F5 ahw (m/s²)	13,61	13,23	13,60	13,48	12,20	11,68	12,26	12,05	14,58	14,12	13,93	14,21
Ruído em dB(A)	95,8	97,1	96,0	96,3	101,5	101,5	101,2	101,4	100,6	100,9	100,4	100,6
tempo(s)	11	10	11	11	14	13	14	14	15	15	15	15
ax (m/s ²)	10,97	9,91	10,68	10,52	8,92	8,38	9,27	8,86	11,72	10,55	11,75	11,34
ay (m/s ²)	7,99	8,07	8,21	8,09	8,03	6,78	8,14	7,65	10,06	10,90	10,30	10,42
az (m/s ²)	5,81	5,77	6,33	5,97	6,61	6,26	7,03	6,63	8,00	9,10	8,31	8,47
F6 ahw (m/s²)	14,76	14,00	14,89	14,55	13,71	12,45	14,20	13,45	17,39	17,62	17,70	17,57
Ruído em dB(A)	103,9	104,8	103,8	104,2	98,1	98,1	98,5	98,2	100,5	99,9	99,9	100,1
tempo(s)	12	14	13	13	11	11	11	11	18	18	18	18
ax (m/s ²)	7,23	7,15	6,92	7,10	7,67	8,16	8,62	8,15	9,62	9,51	10,06	9,73
ay (m/s ²)	3,42	3,80	4,12	3,78	6,18	6,21	5,70	6,03	6,89	5,90	7,01	6,60
az (m/s ²)	4,97	4,93	4,35	4,75	4,67	4,27	4,52	4,49	5,13	5,84	4,81	5,26
F7 ahw (m/s²)	9,42	9,45	9,15	9,34	10,90	11,09	11,28	11,09	12,90	12,57	13,17	12,88
Ruído em dB(A)	93,3	92,3	92,8	92,8	92,9	94,1	93,2	93,4	94,3	95,4	94,6	94,8
tempo(s)	21	21	21	21	22	22	22	22	16	17	16	16
ax (m/s ²)	6,13	6,07	5,47	5,89	9,01	10,06	9,43	9,50	11,51	10,44	11,36	11,10
ay (m/s ²)	4,41	4,75	4,82	4,66	4,90	5,15	4,80	4,95	6,09	5,10	5,75	5,65
az (m/s ²)	3,57	3,09	3,09	3,25	4,51	5,08	4,54	4,71	6,72	6,25	6,58	6,52
F8 ahw (m/s²)	8,35	8,27	7,92	8,18	11,20	12,39	11,52	11,70	14,65	13,20	14,33	14,06
Ruído em dB(A)	97,7	97,8	97,2	97,6	95,7	95,5	95,0	95,4	97,8	97,9	97,7	97,8
tempo(s)	24	24	24	24	17	18	17	17	22	22	22	22
ax (m/s ²)	6,63	6,41	7,06	6,70	6,95	7,02	7,60	7,19	10,15	9,61	10,06	9,94
ay (m/s ²)	8,82	8,36	8,23	8,47	9,07	8,78	8,67	8,84	8,32	8,09	8,73	8,38
az (m/s ²)	5,27	4,15	5,12	4,85	5,50	4,87	5,65	5,34	7,22	7,15	7,11	7,16
F9 ahw (m/s²)	12,23	11,30	11,99	11,84	12,68	12,25	12,84	12,59	14,98	14,44	15,10	14,84
Ruído em dB(A)	104,0	104,4	104,2	104,2	105,1	104,6	105,3	105,0	105,6	105,9	106,3	105,9
tempo(s)	11	12	10	11	13	13	13	13	11	12	11	11

Fonte: Autora (2017).

Na análise dos dados para concreto na Tabela 17, é possível perceber que a maior vibração foi de 23,46m/s², como em madeira (MDF), com a furadeira F3, mas com a broca ø6mm. O maior nível de ruído percebido foi de 105,9dB(A), com a F9 e broca 10mm, e o maior tempo de furação foi de 24s, percebido na furadeira F3 e com a broca ø6mm.

Tabela 17 – Análise dos dados para concreto

Ensaio de vibração em Concreto		Broca de ø6 mm	Broca de ø8 mm	Broca de ø10 mm	Maior		Menor	
F3	ahw (m/s ²)	23,46	20,46	19,62	ø6:	23,46	ø10:	19,62
	Ruído em dB(A)	98,1	98,6	102,6	ø10:	102,6	ø6:	98,1
	tempo(s)	24	19	19	ø6:	24	ø8:	19
F4	ahw (m/s ²)	9,41	16,91	12,33	ø8:	16,91	ø6:	9,41
	Ruído em dB(A)	92,6	100,5	96,7	ø8:	100,5	ø6:	92,6
	tempo(s)	15	17	17	ø10:	17	ø6:	15
F5	ahw (m/s ²)	13,48	12,05	14,21	ø10:	14,21	ø8:	12,05
	Ruído em dB(A)	96,3	101,4	100,6	ø8:	101,4	ø6:	96,3
	tempo(s)	11	14	15	ø10:	15	ø6:	11
F6	ahw (m/s ²)	14,55	13,45	17,57	ø10:	17,57	ø8:	13,45
	Ruído em dB(A)	104,2	98,2	100,1	ø6:	104,2	ø8:	98,2
	tempo(s)	13	11	18	ø10:	18	ø8:	11
F7	ahw (m/s ²)	9,34	11,09	12,88	ø10:	12,88	ø6:	9,34
	Ruído em dB(A)	92,8	93,4	94,8	ø10:	94,8	ø6:	92,8
	tempo(s)	21	22	16	ø8:	22	ø10:	16
F8	ahw (m/s ²)	8,18	11,70	14,06	ø10:	14,06	ø6:	8,18
	Ruído em dB(A)	97,6	95,4	97,8	ø10:	97,8	ø8:	95,4
	tempo(s)	24	17	22	ø6:	24	ø8:	17
F9	ahw (m/s ²)	11,84	12,59	14,84	ø10:	14,84	ø6:	11,84
	Ruído em dB(A)	104,2	105,0	105,9	ø10:	105,9	ø6:	104,2
	tempo(s)	11	13	11	ø8:	13	ø6:	11
	Maior ahw (m/s²)	23,46	em F3 ø6mm					
	Maior Ruído em dB(A)	105,9	em F9 ø10mm					
	Maior tempo(s)	24,0	em F3 ø6mm					
	Menor ahw (m/s ²)	8,18	em F8 ø6mm					
	Menor Ruído em dB(A)	92,6	em F4 ø6mm					
	Menor tempo(s)	11	em F5 ø6mm, F6 ø8mm, F9 ø6mm e ø10mm					

Fonte: Autora (2017).

Ao analisar-se a tendência de vibração por diâmetro de broca em concreto, com base na Tabela 18, é possível afirmar que a broca de ø6mm tende a gerar menos ruído, com menos tempo de operação e menor vibração para a maioria das máquinas. Já as brocas de ø10 e ø8mm, tendem a apresentar maior vibração e ruído, também na furação em concreto, sem apresentar grande discrepância entre si. Contudo, a broca de ø10mm, tende a gastar maior tempo de operação quase sempre.

Tabela 18 – Análise de tendência de vibração e ruído por diâmetro de broca em concreto

Ensaio de vibração em Concreto	Broca de ø6 mm	Broca de ø8 mm	Broca de ø10 mm
Maior ahw (m/s²)	1 ou 14,3%	4 ou 57,1%	4 ou 57,1%
Maior Ruído em dB(A)	0 ou 0,0%	4 ou 57,1%	5 ou 71,4%
Maior tempo(s)	1 ou 0,0%	1 ou 0,0%	7 ou 0,0%
Menor ahw (m/s ²)	6 ou 85,7%	1 ou 14,3%	2 ou 28,6%
Menor Ruído em dB(A)	7 ou 100,0%	1 ou 14,3%	1 ou 14,3%
Menor tempo(s)	6 ou 85,7%	1 ou 14,3%	2 ou 28,6%

Fonte: Autora (2017).

Na Figura 38, percebe-se melhor as vibrações por furadeira e broca, já demonstradas na Tabela 14, onde é visível a maior vibração próximo de 24,0 m/s², com a F3 e broca ø6mm e as menores com as F8, F7 e F4 e a broca ø6mm. E ainda uma zona de estabilidade que ocorre nos diâmetros de broca ø8 e ø10mm de F5 até F9.

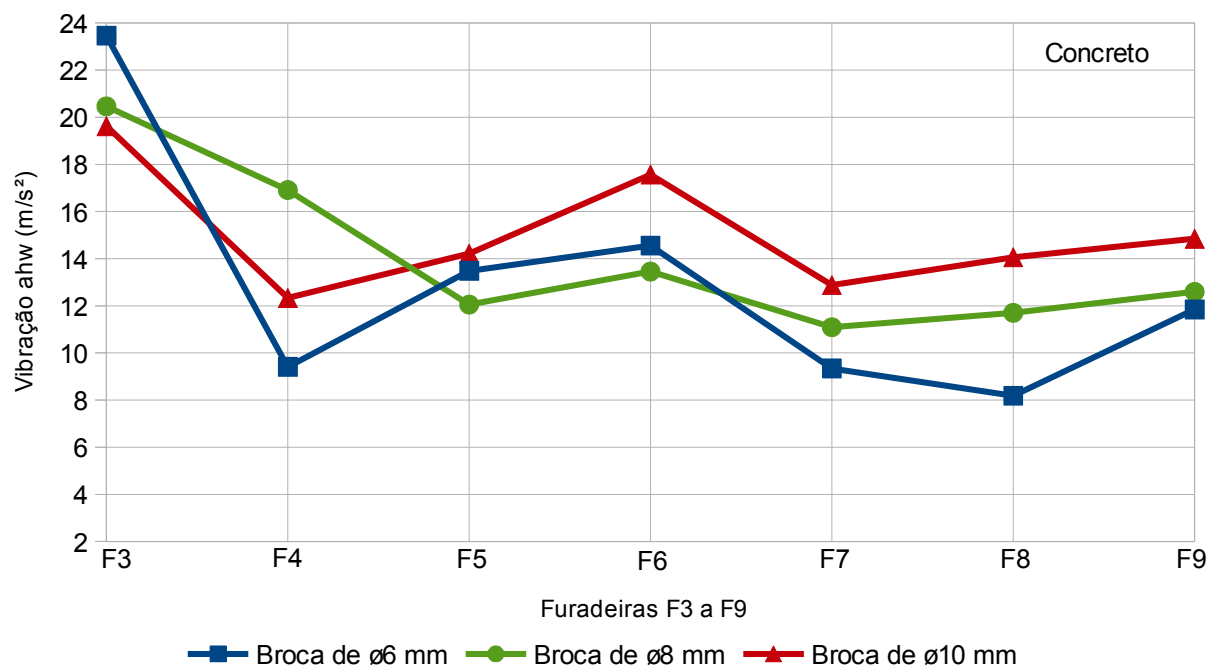


Figura 38– Gráfico das vibrações por furadeira para cada broca em concreto
Fonte: Autora (2017).

Na Figura 39, tem-se os menores ruídos com a F4 e F7 e broca ø6mm e o mais elevado em F6 com a broca ø6mm, com base na Tabela 17. Reforça-se ainda, um perfil geral de menor ruído para a broca ø6mm, exceto em F6, bem como um comportamento similar nas 3 brocas em F7, F8 e F9.

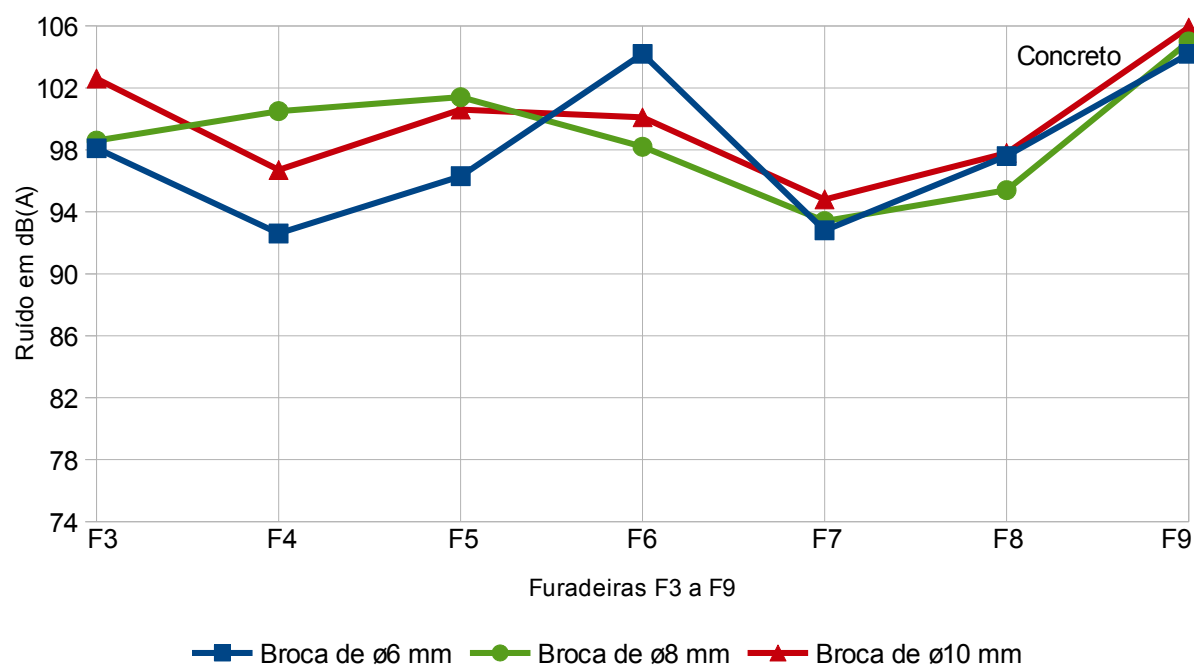


Figura 39 – Gráfico do ruído por furadeira para cada broca em concreto
Fonte: Autora (2017).

Na Figura 40, percebe-se que as maiores produtividades, parâmetro este previamente descrito na análise de testes de madeira (MDF) em 4.3.1, foram observadas em F5 e F9 com broca $\varnothing 6\text{mm}$ e em F6 com broca $\varnothing 8\text{mm}$, com destaque para F9 por se mostrar a produtiva nas três bitolas.

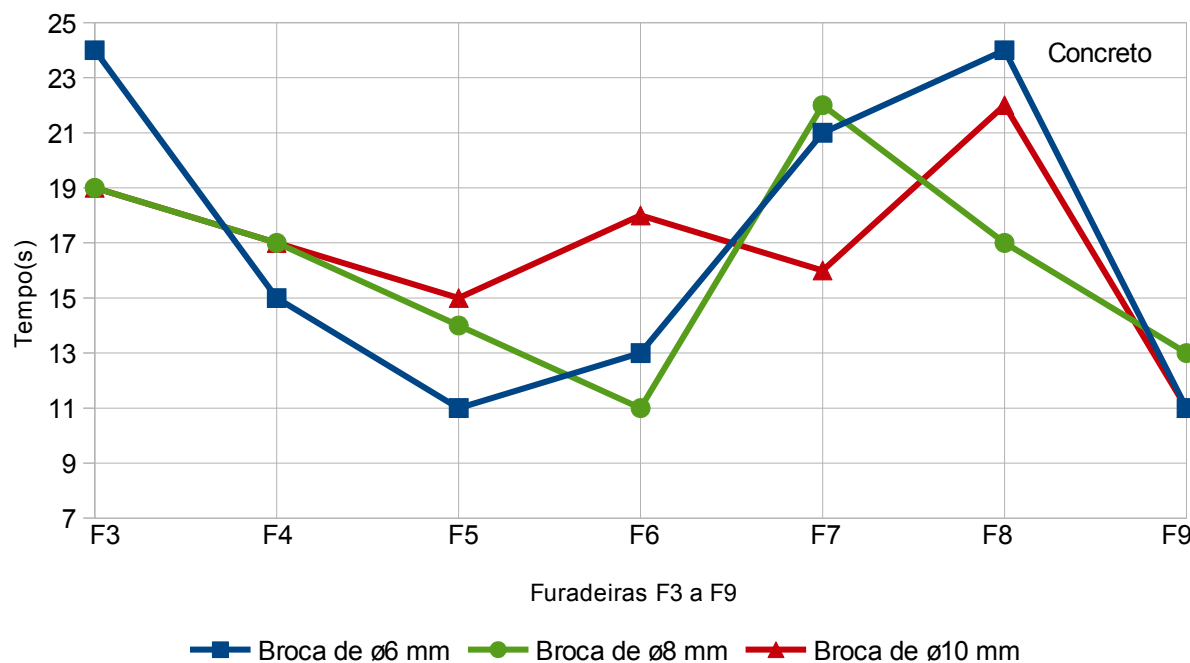


Figura 40 – Gráfico dos tempos por furadeira para cada broca em concreto
Fonte: Autora (2017).

4.3.3 Análise global dos resultados

Com base na Tabela 19, é possível identificar o tempo limite de operação, por material, potência, diâmetro de brocas e a exposição ao nível de ruído, facilitando em rápida consulta, realizar análise preditiva de operação análoga.

Tabela 19 – Referencial para limites de tempo em operação de furadeira

Tabela referencial de limites de tempo de operação		Material	ø6	Tempo limite de operação efetiva ø6	ø8	Tempo limite de operação efetiva ø8	ø10	Tempo limite de operação efetiva ø10
(F1) 127V 400W	ahw (m/s ²)	madeira	2,49	480,0 min	2,41	480,0 min	3,48	344,8 min
	ahw (m/s ²)	concreto	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Ruído em dB(A)	madeira	81,0	480,0 min	81,8	480,0 min	82,3	448,0 min
	Ruído em dB(A)	concreto	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
(F2) 127V 400W	ahw (m/s ²)	madeira	3,37	356,1 min	3,74	320,9 min	5,87	204,4 min
	ahw (m/s ²)	concreto	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Ruído em dB(A)	madeira	82,2	458,4 min	81,6	480,0 min	83,1	372,6 min
	Ruído em dB(A)	concreto	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
(F3) 220V 500W	ahw (m/s ²)	madeira	4,05	296,3 min	9,20	130,4 min	6,88	174,4 min
	ahw (m/s ²)	concreto	23,46	51,2 min	20,46	58,7 min	19,62	61,2 min
	Ruído em dB(A)	madeira	80,2	480,0 min	85,0	240,6 min	85,3	224,5 min
	Ruído em dB(A)	concreto	98,1	11,8 min	98,6	10,5 min	102,6	4,2 min
(F4) 127V 550W	ahw (m/s ²)	madeira	5,93	202,4 min	3,82	314,1 min	3,63	330,6 min
	ahw (m/s ²)	concreto	9,41	127,5 min	16,91	71,0 min	12,33	97,3 min
	Ruído em dB(A)	madeira	81,4	480,0 min	85,9	195,5 min	84,6	263,8 min
	Ruído em dB(A)	concreto	92,6	41,8 min	100,5	6,8 min	96,7	16,3 min
(F7) 220V 650W	ahw (m/s ²)	madeira	2,68	447,8 min	3,95	303,8 min	3,61	332,4 min
	ahw (m/s ²)	concreto	9,34	128,5 min	11,09	108,2 min	12,88	93,2 min
	Ruído em dB(A)	madeira	79,2	480,0 min	85,7	204,8 min	85,5	214,4 min
	Ruído em dB(A)	concreto	92,8	39,9 min	93,4	34,8 min	94,8	25,2 min
(F8) 220V 650W	ahw (m/s ²)	madeira	3,10	387,1 min	3,32	361,4 min	3,96	303,0 min
	ahw (m/s ²)	concreto	8,18	146,7 min	11,70	102,6 min	14,06	85,3 min
	Ruído em dB(A)	madeira	75,5	480,0 min	79,8	480,0 min	79,4	480,0 min
	Ruído em dB(A)	concreto	97,6	13,2 min	95,4	21,9 min	97,8	12,6 min
(F5) 127V 680W	ahw (m/s ²)	madeira	2,98	402,7 min	4,05	296,3 min	3,42	350,9 min
	ahw (m/s ²)	concreto	13,48	89,0 min	12,05	99,6 min	14,21	84,4 min
	Ruído em dB(A)	madeira	82,3	448,0 min	84,5	269,9 min	80,4	480,0 min
	Ruído em dB(A)	concreto	96,3	17,8 min	101,4	5,5 min	100,6	6,6 min
(F6) 127V 700W	ahw (m/s ²)	madeira	3,90	307,7 min	4,35	275,9 min	4,50	266,7 min
	ahw (m/s ²)	concreto	14,55	82,5 min	13,45	89,2 min	17,57	68,3 min
	Ruído em dB(A)	madeira	78,2	480,0 min	84,1	296,0 min	84,3	282,6 min
	Ruído em dB(A)	concreto	104,2	2,9 min	98,2	11,5 min	100,1	7,4 min
(F9) 220V 780W	ahw (m/s ²)	madeira	4,03	297,8 min	4,11	292,0 min	3,86	310,9 min
	ahw (m/s ²)	concreto	11,84	101,4 min	12,59	95,3 min	14,84	80,9 min
	Ruído em dB(A)	madeira	79,8	480,0 min	83,1	372,6 min	84,1	296,0 min
	Ruído em dB(A)	concreto	104,2	2,9 min	105,0	2,4 min	105,9	2,0 min

Fonte: Autora (2017).

Cabe ressaltar, que para a composição dos cálculos de tempo de limite de operação efetiva na Tabela 19, foram considerados os níveis de ação, ou meia dose, como preconiza o princípio de prevenção da NR 09, instituindo-se então o nível de vibração corrigido da NHO 10 de 2,5m/s², como limiar seguro de operação. Analogamente foi estipulado o limiar de ruído corrigido da NHO 01, também de meia dose e no valor de 82dB(A). Com base nesses limites, foi calculado o tempo limítrofe de operação para cada um destes parâmetros considerando uma jornada de trabalho de 8 horas diárias (480 minutos), para tanto, mesmo que matematicamente se obtenha um tempo superior a

este, os 480 minutos serão mantidos como tempo limítrofe de operação. Ressalta-se ainda, que como tempo de operação real, considera-se o tempo efetivo de rotação do motor em potência nominal máxima e furando o material.

As furadeiras foram reorganizadas por potência, sendo a série crescente F1, F2, F3, F4, F7, F8, F5, F6 e F9. Originalmente a numeração ocorreu considerando a progressão por potência de furadeiras de mandril regular F1 a F6, e sequencialmente das três de mandril tipo SDS plus, F7 a F9.

Na Figura 41, tem-se os gráficos dos limites de tempo por furadeira para operação em madeira (MDF) e concreto relativas aos níveis de vibração e ruído, com base na Tabela 19. Sendo assim dispostas: na primeira linha à esquerda F1, em seguida F2 e F3; na segunda linha, à esquerda F4, na sequência, F7 e F8; por fim, F5, F6 e F9.

Desta forma, tem-se por exemplo para F4 (550W), para furação em madeira (MDF) com a broca de $\varnothing 6\text{mm}$, 202,4min como limite, para $5,93\text{m/s}^2$ de vibração e 480min, para 81,4dB(A) de operação. Ainda para F4, para furar em concreto com a broca de $\varnothing 6\text{mm}$, 127,5min como limite, para $9,41\text{m/s}^2$ de vibração e 41min, para 92,6dB(A), sendo os tempos limites relativos à meia dose.

Já para a F6 (700W), com a broca de $\varnothing 6\text{mm}$, para furar madeira (MDF) e vibração de $3,90\text{m/s}^2$, o limite de tempo é de 307,7min de operação, e para furar concreto com a broca de $\varnothing 6\text{mm}$ e vibração de $14,55\text{m/s}^2$, o tempo limite é de 82,5min.

Ainda na Figura 41, percebe-se que o valor de ruído na operação em madeira (MDF) é sempre menor que em concreto, para qualquer furadeira, pois os tempos limítrofes para operação são sempre muito superiores e mesmo nos piores casos, permitem tempos de operação direta, maiores do que três horas; sendo no mínimo duas vezes menor para os três diâmetros de brocas, o que possibilita, operar em toda a jornada de trabalho sem prejuízo à saúde. Já os tempos na operação em concreto são visivelmente mais limitantes, como de 2,0min, para a F9, com broca de $\varnothing 10\text{mm}$, com nível de ruído de 105,9dB(A).

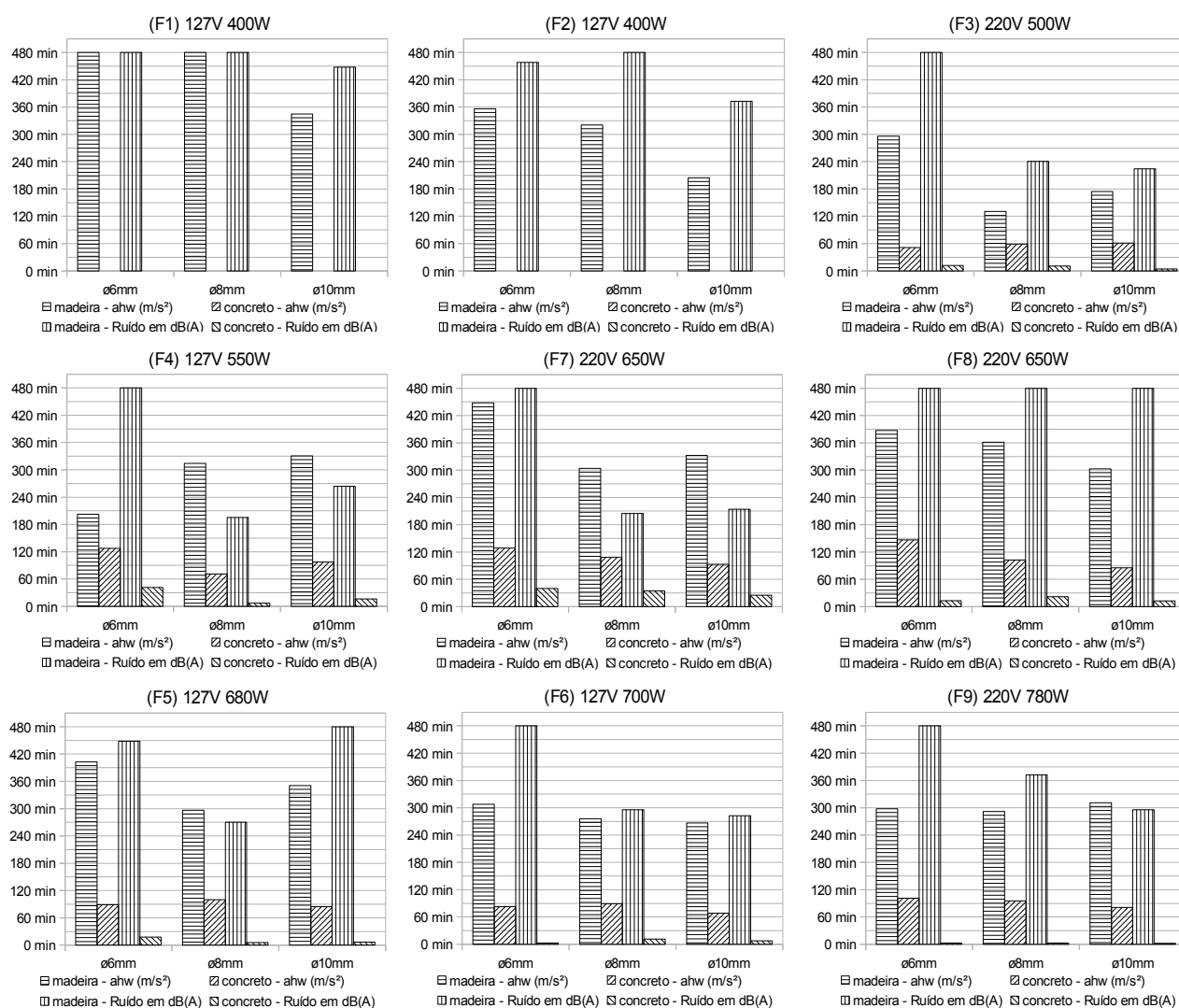


Figura 41 – Gráficos dos limites de tempo de operação por furadeira
Fonte: Autora (2017).

Na Figura 42, que apresenta o ordenamento absoluto dos valores de vibração, considerando como critério independente, cada máquina com dada bitola de broca e furando determinado material. Tem-se a linha pontilhada vermelha que delimita o limite normativo para exposição à vibração de 5m/s^2 , sendo à esquerda os valores inferiores e que portanto, podem ser operados ao longo de uma jornada de trabalho, atendendo o limite máximo extipulado, e aqueles à direita da linha, extrapolando o mesmo.

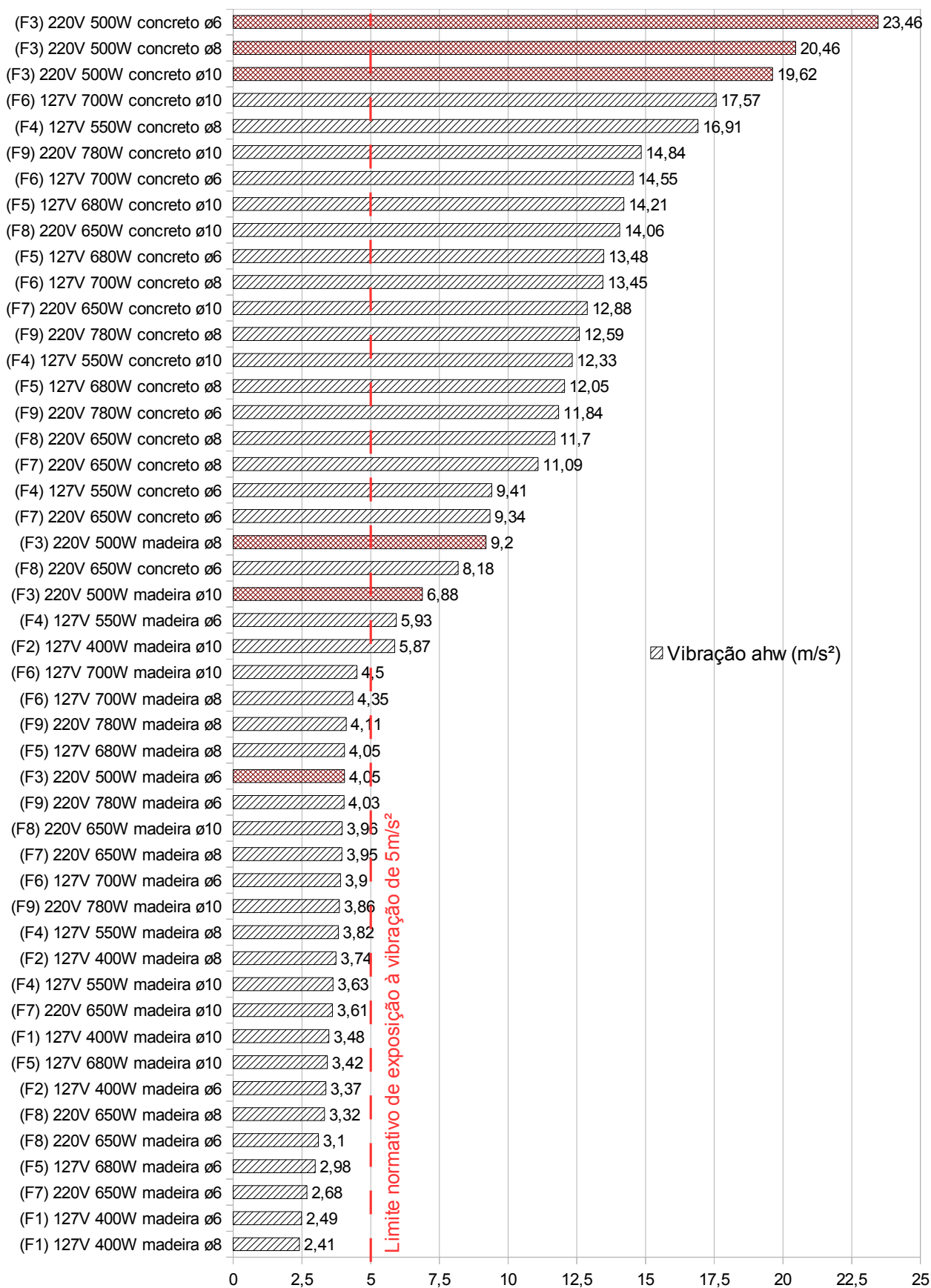


Figura 42 – Gráfico do ordenamento absoluto dos valores de vibração
 Fonte: Autora (2017).

Ainda na Figura 42, percebe-se que os valores de vibração perfurando em concreto, são visivelmente maiores do que em madeira (MDF). Com única exceção da furadeira F3, com broca de 8mm furando em madeira (MDF); furadeira esta que foi destacada das demais, com hachura de menor grade e na cor vermelha, para ressaltar o fato de que seus valores, quando da utilização de qualquer broca, tenderam a valores de vibração dentre os maiores, quando comparadas as demais furadeiras e em um mesmo material. A atipicidade desta máquina corrobora com a hipótese de por muitas vezes o projeto e construção do equipamento serem mais importantes que a potência efetiva do mesmo.

4.3.4 Análise pela razão VMBP

Tabela 20, é possível visualizar a razão da vibração em mãos e braços, por potência, relativa a furadeiras e diâmetros de brocas. Por exemplo, na linha 8, para (F4) e broca $\varnothing 8\text{mm}$ em concreto, divide-se a vibração encontrada a partir da aceleração (ahw) de $16,91\text{m.s}^{-2}$ pela potência $0,550\text{kW}$ e obtêm-se o resultado de $30,7\text{m.s}^{-2}.\text{kW}^{-1}$.

Tabela 20 – Razão da vibração em mãos e braços por potência (VMBP)

Máq.	Potência (W)	Aceleração	Material	Broca de $\varnothing 6\text{ mm}$	VMBP _{$\varnothing 6\text{mm}$} ($\text{m.s}^{-2}.\text{kW}^{-1}$)	Broca de $\varnothing 8\text{ mm}$	VMBP _{$\varnothing 8\text{mm}$} ($\text{m.s}^{-2}.\text{kW}^{-1}$)	Broca de $\varnothing 10\text{ mm}$	VMBP _{$\varnothing 10\text{mm}$} ($\text{m.s}^{-2}.\text{kW}^{-1}$)
(F1)	400	ahw (m/s^2)	madeira	2,49	6,2	2,41	6,0	3,48	8,7
	400	ahw (m/s^2)	concreto	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
(F2)	400	ahw (m/s^2)	madeira	3,37	8,4	3,74	9,4	5,87	14,7
	400	ahw (m/s^2)	concreto	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
(F3)	500	ahw (m/s^2)	madeira	4,05	8,1	9,20	18,4	6,88	13,8
	500	ahw (m/s^2)	concreto	23,46	46,9	20,46	40,9	19,62	39,2
(F4)	550	ahw (m/s^2)	madeira	5,93	10,8	3,82	6,9	3,63	6,6
	550	ahw (m/s^2)	concreto	9,41	17,1	16,91	30,7	12,33	22,4
(F7)	650	ahw (m/s^2)	madeira	2,68	4,1	3,95	6,1	3,61	5,6
	650	ahw (m/s^2)	concreto	9,34	14,4	11,09	17,1	12,88	19,8
(F8)	650	ahw (m/s^2)	madeira	3,10	4,8	3,32	5,1	3,96	6,1
	650	ahw (m/s^2)	concreto	8,18	12,6	11,70	18,0	14,06	21,6
(F5)	680	ahw (m/s^2)	madeira	2,98	4,4	4,05	6,0	3,42	5,0
	680	ahw (m/s^2)	concreto	13,48	19,8	12,05	17,7	14,21	20,9
(F6)	700	ahw (m/s^2)	madeira	3,90	5,6	4,35	6,2	4,50	6,4
	700	ahw (m/s^2)	concreto	14,55	20,8	13,45	19,2	17,57	25,1
(F9)	780	ahw (m/s^2)	madeira	4,03	5,2	4,11	5,3	3,86	4,9
	780	ahw (m/s^2)	concreto	11,84	15,2	12,59	16,1	14,84	19,0

Fonte: Autora (2017).

Na Figura 43, apresenta-se o gráfico da (VMBP) em madeira (MDF), com base na Tabela 20, no qual não estão representados os dados referentes a F1 e F2, pois o intuito é o de ressaltar o perfil daquelas que também foram testadas em concreto.

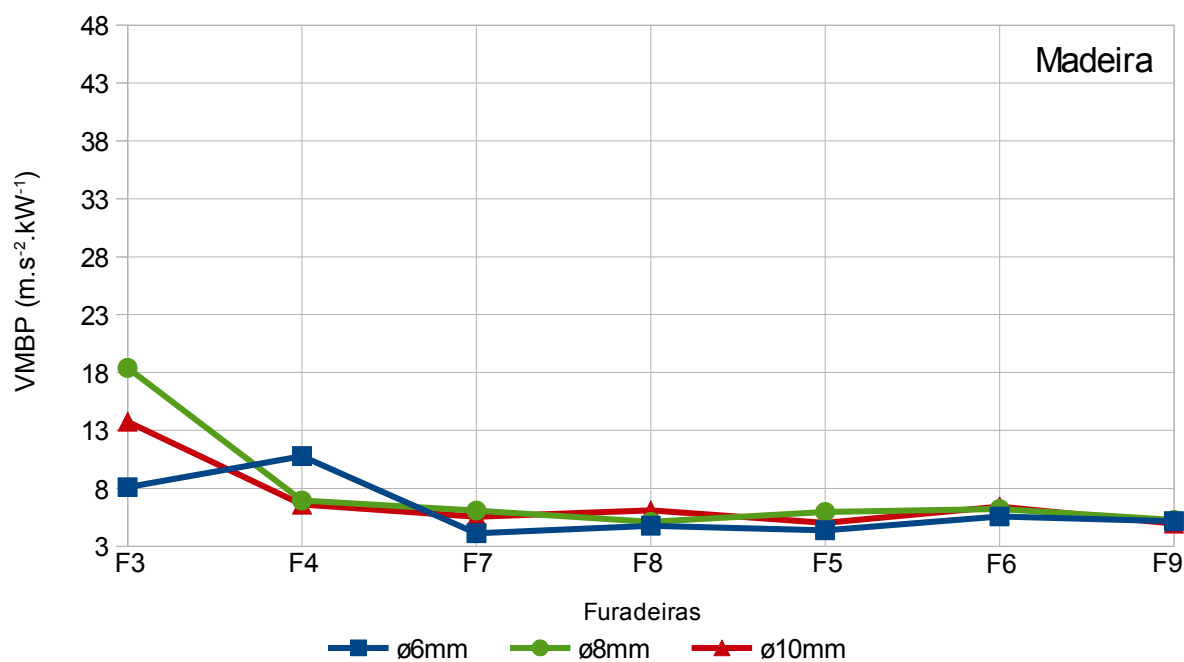


Figura 43 – Gráfico da razão da vibração em mãos e braços por potência em madeira (MDF) (VMBP)
Fonte: Autora (2017).

Na Figura 44, apresenta-se o gráfico da (VMBP) em concreto, com base na Tabela 20, onde é possível perceber a similaridade, quando comparados, representada nas faixas, dos dois gráficos (madeira e concreto) para os três diâmetros de broca e os dois materiais, principalmente nas potências de 650 a 780W relativas a F7, F8, F5, F6 e F9.

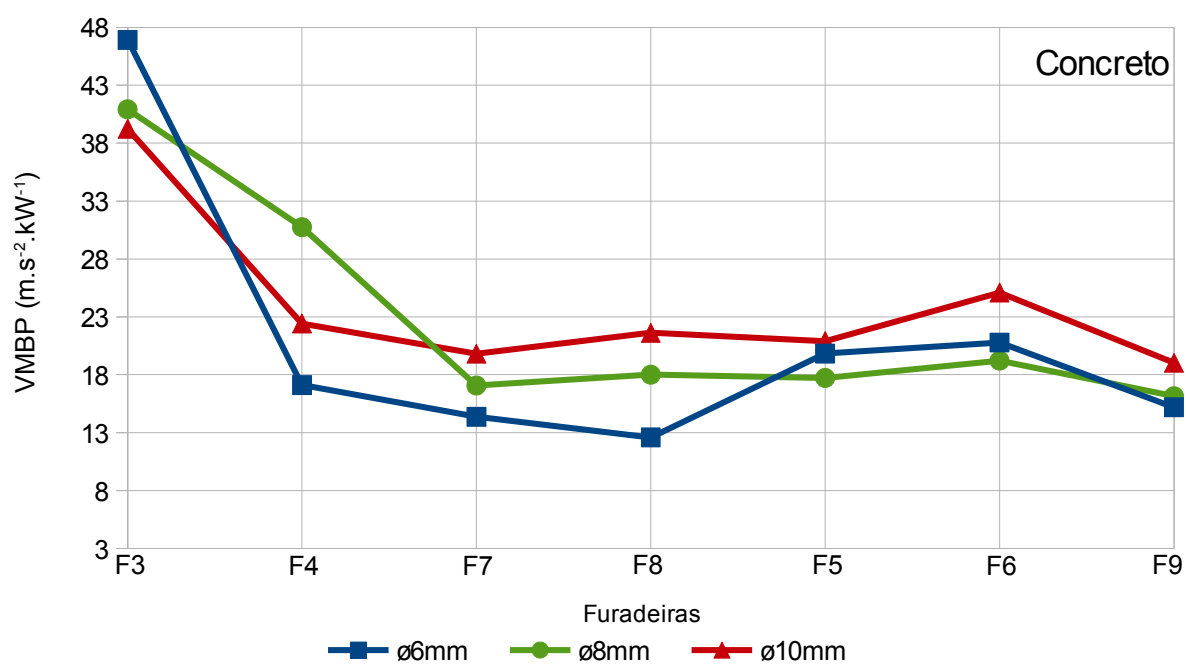


Figura 44 – Gráfico da razão da vibração em mãos e braços por potência em concreto (VMBP)
Fonte: Autora (2017).

Na tarefa de furação em madeira (MDF), a broca de $\varnothing 6\text{mm}$, tende a gerar menos ruído, apresenta menor tempo de operação e menor vibração para qualquer máquina. Enquanto que com a broca de $\varnothing 10\text{mm}$, percebe-se que há uma tendência a gastar maior tempo em cada furo. Já as brocas de diâmetro $\varnothing 8$ e $\varnothing 10\text{mm}$ foram identificadas como geradoras de maior nível de ruído e de vibração sem a constatação de uma das duas com maiores níveis em todos os cenários.

Identificou-se uma tendência de equipamentos com maior potência gerarem menor vibração, fato ocorrido com as F7 (650W), F8 (650W), F5 (680W), F6 (700W) e F9 (780W), sendo em madeira (MDF) para os três diâmetros de broca e em concreto, ainda que com níveis de vibração maiores como um todo, comparando-se com madeira (MDF), mas principalmente para as bitolas de $\varnothing 6$ e $\varnothing 10\text{mm}$, e para estas mesmas máquinas, apresentaram vibração menor que as menos potentes. Destas, apenas a F6, apresentou índice um pouco elevado com a broca de $\varnothing 8\text{mm}$, em relação a outras máquinas citadas.

Portanto, em madeira (MDF), furadeiras com maior potência se comparadas com outras de menor potência e brocas de mesmo diâmetro, tendem a não gerar maior vibração que as de menor potência, dado este, também constatado em concreto.

Observou-se também, que os níveis de vibração são mais altos em concreto, quando comparados a madeira (MDF), alcançando níveis maiores que até 5 vezes, mas, em geral, na ordem de 3 vezes maior.

A fim de linearizar os dados e facilitar a observação da importância efetiva do incremento da potência e direto incremento da vibração, foi concebida uma razão da vibração em mãos e braços (VMB), pela potência (P) em kilowatts em cada cenário (material e broca), razão esta denominada tão somente VMBP ($\text{m.s}^{-2}.\text{k.W}^{-1}$).

Pela relação VMBP, foi possível constatar com maior segurança que há sim, uma relação linear de que quanto maior a potência do equipamento, menor VMBP como pode ser observado nos gráficos das Figuras 43 e 44. Outro detalhe importante e que se manifestou em todos os dados monitorados, e em especial na vibração, é a discrepância da furadeira F3, a qual não é de uma marca muito tradicional ou conceituada no mercado; dados estes que podem sugerir que neste caso em particular, a vibração transmitida pode ser maior, em função da ausência ou ineficiência de dispositivos

intrínsecos da redução da VMB efetiva, ou seja, a vibração que é transmitida para o operador.

4.4 Considerações finais

Em uma análise preliminar poder-se-ia concluir que, uma das premissas de que, quanto mais potente uma furadeira, maior a vibração sentida pelo operador, mostrou-se falsa. Na realidade, apesar de não haver uma relação linear direta, avaliando-se tão somente o parâmetro vibração. Porém, algumas das maiores vibrações foram encontradas em máquinas de baixa potência, já as de maior potência tenderam a gerar vibrações menores, tanto em madeira (MDF), quanto em concreto.

No entanto, quanto a premissa do diâmetro da broca, a de maior diâmetro (10mm) de fato apresentou tendência de maior vibração, como era esperado, tanto em madeira (MDF), quanto em concreto.

Bem como a hipótese de que brocas de diâmetros menores gerariam menor vibração, e quanto a isto pode-se afirmar que a menor broca testada, de diâmetro (6mm) de fato apresentou menor vibração em praticamente todos os testes, comparando com as duas maiores. Contudo, nem sempre pode-se observar grande variação entre as brocas de 8 e 10mm, quando comparadas entre si, o que responde plenamente a pergunta de que em brocas de maior diâmetro observar-se-ia maior vibração.

Cabe ainda ressaltar, que se poderia imaginar uma maior vibração na empunhadura dianteira, por estar mais próxima do motor da furadeira, no entanto, esta hipótese também se mostrou falsa, sendo no gatilho a maior vibração percebida para os ensaios de descarte de empunhadura em madeira (MDF).

Contudo, ao realizar-se os ensaios de descarte de empunhadura em concreto, o esperado era que a empunhadura de gatilho também apresentasse os maiores níveis de vibração. Porém, apurou-se a maior ocorrência na empunhadura dianteira, onde foram obtidas as maiores diferenças significativas, assim como para os resultados máximos absolutos.

Já ao comparar os dois materiais, os valores de vibração e ruído na perfuração do corpo de prova de concreto, foram de fato, bastante superiores aos encontrados ao perfurar o painel de MDF, como imaginava-se inicialmente.

De forma geral, os níveis de ruído obtidos de cada operação de furo, se mostraram maiores em concreto com valores de 92,4dB(A) mínimo, encontrado com a F4 e a broca de \varnothing 6mm a 106,3dB(A) máximo, com a F9 e a broca de \varnothing 10mm, visualizados na Tabela 16. Em madeira (MDF) os níveis de ruído obtidos foram de 75,1dB(A) mínimo, com a F8 e a broca de \varnothing 6mm a 86,5dB(A) máximo, com a F7 e a broca \varnothing 8mm, encontrados na Tabela 13.

Quanto à análise de desgaste das brocas, não foram percebidas pelo operador ou pela analista quaisquer variações ao longo dos testes, em análise a olho nu, considerando ainda a coerência nos dados das triplicatas, mais testes com essas brocas devem ser realizados para desgastá-las ainda mais, a fim de justificar a análise microscópica das mesmas.

5. CONCLUSÕES

Ao término deste estudo e após analisar os principais dados obtidos e avaliados, pode-se rever as proposições e hipóteses inicialmente levantadas a fim de uma efetiva análise crítica deste trabalho e as conclusões finais desta, seguem no decorrer deste capítulo.

5.1 Das considerações quanto às premissas iniciais

Comparando-se os níveis de vibração obtidos com a utilização de furadeiras de diferentes potências, conclui-se que os níveis são diferentes, mas não significa que as menos potentes produzam níveis menores de vibração.

Em relação à análise comparativa dos níveis de vibração obtidos na furação de madeiras com a de concreto, conclui-se que em concreto os níveis podem ser até 5 vezes maiores que os níveis encontrados na furação em madeira (MDF).

Ao realizar uma análise final da vibração medida através da média global dos ensaios definitivos, observa-se que para concreto, tem-se uma vibração média em m/s^2 de 12,89 para a broca $\varnothing 6mm$, o que é 238,43% maior do que a broca de mesmo diâmetro para madeira, que é de 3,81. De 14,04 para a broca $\varnothing 8mm$, o que equivale a 199,54% maior do que a broca de mesmo diâmetro para madeira, que é de 4,69. E de 15,07 para a broca $\varnothing 10mm$, o que significa 253,35% maior do que a broca de mesmo diâmetro para madeira, que é de 4,27. Por fim, ao se analisar a vibração ocasionada pela furação em concreto, independentemente da bitola de broca, percebe-se que a mesma é em média 3,30 vezes maior do que em madeira (MDF).

Já em relação ao parâmetro ruído, quando se analisa a média global dos ensaios definitivos observa-se que, para concreto tem-se um ruído médio em dB(A) de 97,97 para a broca $\varnothing 6mm$, o que é 269,14% maior do que a broca de mesmo diâmetro para madeira, que é de 79,51. De 98,03 para a broca $\varnothing 8mm$, equivalente a 198,29% maior do que a broca de mesmo diâmetro para madeira, que é de 84,01. E de 99,79 para a broca $\varnothing 10mm$, o que representa 228,29% maior do que a broca de mesmo diâmetro para madeira, que é de 83,37. Por fim, ao se analisar o ruído promovido por furação em concreto, independentemente da bitola de broca, percebe-se que o mesmo é em média 3,32 vezes maior do que em madeira (MDF). Cabe ressaltar, que um ruído de 90dB(A)

tem a intensidade sonora dobrada em relação a 85dB(A), pois esta não é uma escala linear, mas sim logarítmica.

A partir da análise da influência do diâmetro da broca no valor de vibração obtido, para ambos os materiais testados (MDF e concreto), conclui-se que existe uma tendência de diâmetros menores gerarem menor nível de vibração, e entre os diâmetros maiores, a broca de $\varnothing 10\text{mm}$ tende a produzir maior vibração mais vezes do que as demais, porém sem apresentar diferença tão discrepante da broca de $\varnothing 8\text{mm}$.

Com base na análise do nível máximo de ruído associado a cada operação de furos realizada para cada uma das furadeiras selecionadas, comparando aos valores das normas pertinentes, conclui-se que as brocas de diâmetro 8 e 10mm, tendem a gerar maior nível de ruído, tanto na operação em madeira (MDF), quanto em concreto. E em relação aos valores normativos, foram contemplados na Tabela 19 "Referencial para limites de tempo em operação de furadeira", os tempos relativos a cada operação, de forma preventiva.

Utilizando-se os dados encontrados nos testes, foi possível desenvolver e elaborar uma tabela de referência com os níveis de vibração associados ao tempo limite de exposição, inclusive incluindo os tempos associados aos níveis máximos de ruído por operação realizada, a Tabela 19. Ressalta-se ainda, que a escolha do tempo efetivo de operação e não da dose de exposição aos agentes físicos investigados neste trabalho, ocorreu pelo fato da grande variedade de interferentes desnecessários, tais como ruído de fundo, outras atividades no canteiro e não correlatas à operação de furadeira, operação de outros equipamentos e uso de ferramentas manuais, dentre outras; e que não contribuiria com a operação do equipamento em si, caracterizando-se como uma dosimetria normal, como já prevista no Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) da NR 09.

Em resposta a hipóteses aventadas anteriormente na Introdução desta dissertação, no item 1.4, apresenta-se a seguir as conclusões percebidas.

Conclui-se que furadeiras de diferentes potências geram níveis de vibrações diferentes, para os dois materiais testados.

Foi possível concluir, que furadeiras mais potentes tendem a não produzir maior vibração, apesar de não haver uma relação linear direta, avaliando-se tão somente o

parâmetro vibração. Foi ainda percebida uma leve tendência de ocorrência de maior nível de vibração nas furadeiras de menor potência.

Observou-se que brocas de diâmetros menores tendem a gerar menores níveis de vibração, e quanto a isto, pode-se afirmar que a menor broca testada, de diâmetro de 6 mm, de fato apresentou menor vibração em praticamente todos os testes, comparando-se com as duas maiores.

Percebeu-se também, que as brocas de maior diâmetro, tendem a gerar maiores níveis de vibração. E que a broca de maior diâmetro (10mm) apresentou tendência a gerar maior vibração.

Notou-se ainda, que ao furar madeira (MDF), tanto os tempos de operação tendem a ser menores, quanto os níveis de vibração e os níveis máximos de ruído, em relação ao concreto.

Cabe ainda ressaltar, que para os ensaios de descarte de empunhadura em madeira (MDF), foi percebida maior vibração na empunhadura de gatilho. Contudo, para os ensaios de descarte de empunhadura em concreto, apurou-se que os maiores níveis de vibração, com maiores diferenças significativas, ocorreram na empunhadura dianteira.

5.2 Sugestões para novas pesquisas

Há indícios de uma relação linear e direta entre o aumento de ruído paralelamente ao aumento da vibração, pois as mesmas, em análise final, foram em média muito similares, na ordem de 3,3 vezes, quando observado o incremento entre suas respectivas intensidades (vibração e ruído) de concreto em relação à madeira (MDF), para quaisquer das bitolas empregadas. Mais testes precisariam ser realizados para confirmar tal relação.

Aumentar o número de testes e monitorar os níveis de vibração, ruído e tempo demandado, em função de um desgaste continuado das brocas, bem como a realização de monitoramento por microscopia do desgaste das brocas, a fim de uma análise investigativa do efetivo impacto do desgaste destas no aumento dos agentes físicos monitorados.

Aumentar o número de furadeiras testadas e preferencialmente obtendo furadeiras iguais, no tocante ao mesmo modelo e de mesmo fabricante, ano de produção, porém de

diferentes lotes, a fim de averiguar a consistência e repetibilidade da performance das mesmas.

Investigar melhor a consistência da razão VMBP em furadeiras e ainda monitorar sua consistência para outros equipamentos elétricos manuais.

Promover a continuidade dos testes para outros materiais, também de uso frequente na construção civil, como a alvenaria e o aço.

REFERÊNCIAS

ACGIH. *American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Limites de exposição ocupacional (TLVs) para substâncias químicas e agentes químicos e índices biológicos de exposição (BEIs)*. Tradução: ABHO (Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais), p. 4–5. São Paulo: ABHO, 2012.

Agência Europeia para Saúde e Segurança no Trabalho. *European Agency for Safety and Health at Work. Workplace exposure to vibration in Europe: an expert review, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2008.*

ADAMO, Diane E.; MARTIN, Bernard J. e JOHNSON, Peter W. ***Vibration-induced muscle fatigue, a possible contribution to musculoskeletal injury.*** *Eur J Appl Physiol*, 88, p. 134–140, 2002.

AHN, Ryeok; YOO, Cheoo-In; LEE, Hun; SIM, Chang-Sun; SUNG, Joo Hyun; YOON, Jae-Kook; e SHIN, Song-Woo. ***Normative data for neuromuscular assessment of the hand-vibration syndrome and its retrospective applications in Korean male workers.*** *Int Arch Occup Environ Health*, 86, p. 837-844, 2013.

ALI, Salim Amed. ***Dermatoses Ocupacionais***, Fundacentro, 2.ed, São Paulo, 2009.

ANDRÉU, José Luis; OTÓN, Teresa; FERNÁNDEZ, Lucía Silva e SANZ, Jesus. ***Hand pain other than carpal tunnel syndrome (CTS): The role of occupational factors.*** *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, Madrid, 25, p. 31–42, 2011.

BALBINOT, Alexandre. ***Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: um enfoque no conforto e na saúde.*** 2001.311 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 2001.

BOVENZI, Massimo; WELSH, Alexandra J. L.; GRIFFIN, Michael. ***Acute effects of continuos and intermittent vibration on finger circulation.*** *Int Arch Occup Environ Health*, 77, p. 255–263, 2004.

BOVENZI, Massimo. ***A follow up study of vascular disorders in vibration-exposed forestry workers.*** *Int Arch Occup Environ Health*, 81, p. 401–408, 2008.

BOVENZI, Massimo; D'AGOSTIN, Flavia; RUI, Francesca; e NEGRO, Corrado. ***A longitudinal study of finger systolic blood pressure and exposure to hand-transmitted vibration.*** *Int Arch Occup Environ Health*, 81, p. 613–623, 2008.

BOVENZI, Massimo. ***A longitudinal study of vibration white finger, cold response of digital arteries, and measures of daily vibration exposure.*** *Int Arch Occup Environ Health*, 83, p. 259–272, 2010.

BOVENZI, Massimo; RONCHESE, Federico e MAURO, Marcella. ***A longitudinal study of peripheral sensory function in vibration-exposed workers.*** *Int Arch Occup Environ Health*, 84, p. 325–334, 2011.

BRAGA, C. A. da C., **Exposição ocupacional a vibrações no sistema mão-braço no sector da construção.** 2007. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2007.

BURSTRÖM, Lage; LUNDSTRÖM, Ronnie; SJÖDIN, Fredrik; LINMARK, Asta; LINDKVIST, Markus; HAGBERG, Mats; NILSSON, Tohr. ***Acute effects of vibration on thermal perception thresholds.*** *Int Arch Occup Environ Helth*, 81, p.603–611, 2008.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego – MTE. NR 9 – **Programa de Prevenção de Riscos Ambientais.** Manual de Legislação Atlas. São Paulo: Atlas, 75ª Edição, 2015a.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego NR 15 – **Atividades e Operações Insalubres.** Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego, 2015b.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego NR 17– **Ergonomia.** Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego, 2015c.

COGGINS, Marie A.; VAN LENTE, Eric; MCCALLIG Margaret; PADDAN, Gurmail; MOORE Ken. ***Evaluation of hand-arm and whole-body vibrations in construction and***

property management. Published by Oxford University Press on behalf of the British Occupational Hygiene Society. *Ann. Occup. Hyg.* Vol. 54, N. 8, p. 904–914, 2010.

CUNHA, Irlon de A., **Níveis de vibração e ruído gerados por motosserras e sua utilização na avaliação da exposição ocupacional do operador à vibração**. 2000.162 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2000.

CUNHA, Irlon de A., **Exposição ocupacional à vibração em mãos e braços em marmorarias no município de São Paulo: proposição de procedimento alternativo de medição**. 2006.153f. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, São Paulo, 2006.

ELSEVIER, **About Scopus** 2017. Disponível em <<https://www.elsevier.com/solutions/scopus>>, acesso em 06 de junho de 2017.

FANTINI NETO, R. **Apostila de Higiene do Trabalho**. Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho, CEEST. Universidade Tecnológica do Paraná, UTFPR. Curitiba, 2011.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo Dicionário da Língua Portuguesa** – Editora Nova Fronteira S.A., 1ª edição – 5ª impressão, 1975.

FERREIRA, Célia M.O. **Relação entre variáveis ocupacionais e do processo produtivo – Indústria extrativa a céu aberto**. 2011. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

FUNDACENTRO. NHO 01. Norma de Higiene Ocupacional, NHO **Avaliação da exposição ocupacional ao ruído: procedimento técnico**, Fundacentro; Eduardo Giampaoli; Irene Ferreira de Souza Duarte Saad; Irlon de Ângelo da Cunha; colaboração: Marcos Domingos da Silva. São Paulo, 2001.

FUNDACENTRO. NHO 09. Norma de Higiene Ocupacional, NHO **Avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro: procedimento técnico**, Fundacentro; Irlon de Ângelo da Cunha, Eduardo Giampaoli. São Paulo, 2012a.

FUNDACENTRO. NHO 10. Norma de Higiene Ocupacional, NHO VIB/VMB: **Avaliação da exposição ocupacional à vibrações em mãos e braços: procedimento técnico**, Fundacentro; Irlon de Ângelo da Cunha, Eduardo Giampaoli. São Paulo, 2012b.

GERHARDT, Tatiana E.; SILVEIRA, Denise T. (Organizado). **Métodos de pesquisa**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Universidade Aberta do Brasil – UAB – UFRGS Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GRIFFIN, Michael J. **Measurement, evaluation, and assessment of occupational exposures to hand-transmitted vibration**. *Human Factors Research Unit, Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton. Occupational and Environmental Medicine*, 1997; 54: p. 73-89.

GRIFFIN, Michael J. **Frequency-dependence of Psychophysical and Physiological Responses to Hand-transmitted Vibration**, *Review Article, Industrial Health*, 50, p. 354–369, 2012.

IIDA, I. *Ergonomia Projeto e Produção*. 2ª Edição revisada e ampliada. Editora Edgard Blücher, 2005.

INSS, AEAT, **Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho**. Disponível em <http://www.previdencia.gov.br/wp-content/uploads/2015/08/AEAT_2010.pdf> acesso em 02/06/2017.

INSS, AEAT, **Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho**. Disponível em <<http://www.previdencia.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/AEAT-2012.pdf>> 02/06/2017.

INSS, AEAT, **Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho**. Disponível em <<http://www.previdencia.gov.br/dados-abertos/aeps-2013-anuario-estatistico-da-previdencia-social-2013/aeps-2013-secao-iv-acidentes-do-trabalho/>> acesso em 15/09/2015.

INSS, AEPS, **Anuário Estatístico da Previdência Social**. Disponível em <<http://www.previdencia.gov.br/wp-content/uploads/2015/08/AEPS-2015-FINAL.pdf>> 02/06/2017.

International Occupational Hygiene Association (IOHA), Associação Internacional de Higiene Ocupacional, 2012. Disponível em <<http://ioha.net/faqs.html#on>> acesso em 20/12/2016.

International Organization for Standardization. ISO 2631-1: ***Mechanical vibration—and shock—Evaluation of human exposure to whole body vibration—Part 1: general requirements***. Geneva, Switzerland, 1997.

International Organization for Standardization. ISO 5349-1: ***Mechanical vibration—measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration—Part 1: general requirements***. Geneva, Switzerland, 2001.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, FUPEF, p. 199, 2005.

KANG, Seong-Kyu. Editorial. ***New concept for occupational health development: 3 phases***. Korea Occupational Safety and Health Agency, Republic of Korea. *Industrial Health*, 53, p.109–111, 2015.

LAKATOS, E. M. de A.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos da metodologia científica**. 6. ed. 5 reimp. São Paulo: Atlas, 2007.

LILJELIND, I.; WAHLSTRÖM, J.; NILSSON, L.; TOOMINGAS, A. e BURSTRÖM, L. ***Variability in Hand-Arm Vibration During Grinding Operations***, *British Occupational Hygiene Society, Ann. Occup. Hyg.*, V.55, N.3, p. 296–304, 2011.

LILJELIND, I.; PETTERSSON, H.; NILSSON, L.; WAHLSTRÖM, J.; TOOMINGAS, A.; LUNDSTRÖM, R. e BURSTRÖM, L. ***Determinants Explaining the Variability of Hand-Transmitted Vibration Emissions From Two Different Work Tasks: Grinding and Cutting Using Angle Grinders.*** *Ann. Occup. Hyg.*, V.57, N.8, p. 1065–1067, 2013.

LUNDSTRÖM, R. ***Neurological diagnosis - aspects of quantitative sensory testing methodology in relation to hand - arm vibration syndrome.*** *Int Arch Occup Environ Health* 75(1 – 2): p.68-77, 2002.

MAIA, Paulo A. **Estimativa de exposições não contínuas a ruído: Desenvolvimento de um método e validação na construção civil.** 2001. 215 f. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP – Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, 2001.

MAIA, Paulo A. **O Ruído nas Obras da Construção Civil e o Risco de Surdez Ocupacional.** 2005. 145 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP – Faculdade de Engenharia Civil. Originalmente apresentada como tese do autor (doutorado – Universidade Estadual de Campinas) sob o título: Metodologia de avaliação de perdas auditivas por exposição a ruídos não contínuos. São Paulo: FUNDACENTRO, 2008.

McPHEE, Barbara; FOSTER Gary; LONG Airdrie. ***A Handbook on whole-body vibration exposure in mining. Essential Guide to identify, assess and control vibration risks.*** *Coal Services Health & Safety Trust.* Kurri Kurri, Australia, março de 2009.

MELO, L.E.A. **A Previdência Social e a Luta Contra os Acidentes e Doenças do Trabalho no Brasil.** Informe de Previdência Social, Volume 23, Número 7, Julho de 2011. p. 3-5.

MPT, Vários colaboradores. **Segurança e saúde do trabalhador na indústria da construção civil.** Coordenador Flávio de Oliveira Nunes, chefe do setor de Segurança e Saúde do Trabalho do Ministério do Trabalho e Emprego na Bahia (Segur – SRTE/BA), Bahia, Ministério Público do Trabalho, outubro de 2011.

OMS, Organização Mundial da Saúde. *World Health Organization, Occupational health – A manual for primary health care workers. Regional Office for the Eastern Mediterranean*, Cairo, 2001.

OSHA, *Occupational Safety and Health Administration*, Agência Europeia para a segurança e Saúde no Trabalho. **Worker Safety Series. Protecting Yourself from Noise in Construction.** 2011. Disponível em <<https://www.osha.gov/Publications/3498noise-in-construction-pocket-guide.pdf>> acesso em 16/09/2016.

OSHA, *Occupational Safety and Health Administration*, Agência Europeia para a segurança e Saúde no Trabalho. *Department of Labor Occupational Safety and Health Administration, United States*, 2012. Disponível em <https://www.osha.gov/dte/library/industrial_hygiene/industrial_hygiene.html> acesso em 26/05/2015.

OSHA, *Occupational Safety and Health Administration*, Agência Europeia para a segurança e Saúde no Trabalho. E-Facts 54. **Manutenção segura de ferramentas portáteis na construção**, 2012. Disponível em <<https://osha.europa.eu/pt/publications/e-facts/efact54>> acesso em 26/05/2015.

PALMER, S. T.; MARTIN, D. J. **Thermal perception thresholds recorded using method of limits change over brief time intervals.** *Somatosens Mot Res* 22 (4): p. 327- 334, 2005.

PALMER, K.T., GRIFFIN, M.J., SYDALL, H.E., PANNETT, B., COOPER, C. e COGGON, D. **Exposure to hand-transmitted vibration and pain in the neck and upper limbs.** *Society of Occupational Medicine, Occupational Medicine*, V.51, N.7 p. 464–467, 2001.

PEIXOTO, Neverton H.; FERREIRA, Leandro S. **Higiene Ocupacional 1.** UFSM, CTISM. Rede e-Tec Brasil. Santa Maria, 2012.

REGAZZI, Rogério D.; XIMENES, Gilmar M. **A importância da avaliação da vibração no corpo humano.** INMETRO. 3R Brasil Ambiental. Rio de Janeiro, 2005.

SALIBA, Tuffi. M. **Manual Prático de Avaliação e Controle da Vibração**. 3ª Ed., LTr Editora, 2004.

SALIBA, Tuffi. M. **Manual Prático de Avaliação e Controle da Vibração**. 7ª Ed., LTr Editora, 2013.

SCOPUS, **Document Search** 2017. Disponível em <<https://www.scopus.com/home.uri>>, acesso em 06 de junho de 2017.

SESI, Serviço Social da Indústria. **Técnicas de Avaliação de Agentes Ambientais: Manual SESI**, Brasília, 2007.

SILVA, Luiz Felipe; MENDES, René. **Exposição combinada entre ruído e vibração e seus efeitos sobre a audição de trabalhadores**. Revista de Saúde Pública, 39 (1), p.9–17, 2005.

SOEIRO, N.S. **Vibrações e o Corpo Humano: uma avaliação ocupacional**. 1º Workshop de Vibração e Acústica da Região Norte, Tucuruí, 2011.

THOMPSON Alexandra J. L.; GRIFFIN, Michael J. **Effect of the magnitude and frequency of hand-transmitted vibration on finger blood flow and after exposure to vibration**. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, Southampton, 82: p. 115–1162, março 2009.

TROTTO, Sarah. **Hand-arm vibration syndrome: Workers who use power tools may be at risk**. 25 de outubro de 2015. Disponível em <<http://www.safetyandhealthmagazine.com/articles/print/13117-hand-arm-vibration>> acesso em 07/10/2016.

VENDRAME, Antonio C. **Vibrações ocupacionais**, 2005. Disponível em <http://www.higieneocupacional.com.br/download/vibracoes_vendrame.pdf>, acesso em 15 de janeiro de 2015.

XIMENES, Gilmar M. **Gestão ocupacional da vibração no corpo humano, aspectos técnicos e legais relacionados à saúde e segurança**, Dissertação de Mestrado, Curso de Sistemas de Gestão da Universidade Federal Fluminense, Niterói: 2006, 311p.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Trad. Daniel Grassi. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YE, Yng; GRIFFIN, Michael J. **Reductions in finger blood flow induced by 125 Hz vibration: effect of area of contact with vibration**. *Eur J Appl Physiol*, 113, p. 1017–1026, 2013.

YE, Yng; GRIFFIN, Michael J. **Relation between vibrotactile perception thresholds and reductions in finger blood flow induced by vibration of the hand at frequencies in the range 8-250 Hz**. *Eur J Appl Physiol*, 114, p. 1591–1603, 2014.

YE, Yng; MAURO, Marcela; BOVENZI, Massimo; GRIFFIN, Michael J. **Association between vasoconstriction during and following exposure to hand-transmitted vibration**. *Int Arch Occup Environ Health* 87: p. 41–49 2014.

YOUAKIM, S. **The compensation experience of hand–arm vibration syndrome in British Columbia**. *Occupational Medicine*, 62, p. 444–447, junho 2012.

APÊNDICE A

Ficha de testes - descarte de empunhadura		Temp.Amb.:()/()°C	%UR:()/()%
Furadeira		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45	
F1			
F2			
F3			
F4			
F5			
F6			
F7			
F8			
F9			
Material			
Con			
Mad			
Empunhadura			
D			
G			
Bitola			
6			
8			
10			
U			
Dia			
Inicio			
Voltagem			

Obs:

APÊNDICE B

Ficha de testes definitivo		Temp.Amb.: ()/() ()°C		%UR: ()/() ()%	
Furadeira	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45				
F1					
F2					
F3					
F4					
F5					
F6					
F7					
F8					
F9					
Material					
Con					
Mad					
Empunhadura					
D					
G					
Bitola					
6					
8					
10					
R,S,T					
Dia					
Início					
Voltagem					
Ruído					
Obs:					